

WS 2016/17

Einführung in die Informatik 1

Harald Räcke

Fakultät für Informatik
TU München

<http://www>

Wintersemester 2016/17

EIDI 1

Einführung in die Informatik 1

PGdP

**Praktikum Grundlagen der
Programmierung**

Wie löst man Probleme mithilfe von Computern?

Inhalte: EIDI 1

1. Was ist das Problem?

(↑Modellierung, ↑Spezifikation)

2. Entwicklung eines automatischen Lösungsverfahrens

genaue Beschreibung des Ablaufs in einzelnen Schritten (Algorithmus (Algorithmik))

Organisation von Daten

(Datenstrukturen, Datenmodellierung)

Wie ist ein Rechner aufgebaut (Rechnerarchitektur)

Was kann ein Rechner gut/weniger gut/garnicht?

(Skalierbarkeit, Komplexitätswachstum)

3. Umsetzung in Code einer Programmiersprache (Java)

Was macht ein Compiler (Compilerbau)

Fehlerrückmeldung etc. (Softwaretechnik)

Inhalte: EIDI 1

1. Was ist das Problem?

(↑Modellierung, ↑Spezifikation)

2. Entwicklung eines automatischen Lösungsverfahrens

- ▶ genaue Beschreibung des Ablaufs in einzelnen Schritten: Algorithmus (↑Algorithmik)
- ▶ Organisation von Daten (↑Datenstrukturen, ↑Datenmodellierung)
- ▶ Wie ist ein Rechner aufgebaut (↑Rechnerarchitektur)
- ▶ Was kann ein Rechner gut/weniger gut/garnicht? (↑Berechenbarkeit, ↑Komplexitätstheorie)

3. Umsetzung in Code einer Programmiersprache (Java)

- ▶ Was macht ein Compiler (↑Compilerbau)
- ▶ Fehlermeldungen etc. (↑Softwaretechnik)

Inhalte: EIDI 1

1. Was ist das Problem?

(↑Modellierung, ↑Spezifikation)

2. Entwicklung eines automatischen Lösungsverfahrens

- ▶ genaue Beschreibung des Ablaufs in einzelnen Schritten: Algorithmus (↑Algorithmik)
- ▶ Organisation von Daten (↑Datenstrukturen, ↑Datenmodellierung)
- ▶ Wie ist ein Rechner aufgebaut (↑Rechnerarchitektur)
- ▶ Was kann ein Rechner gut/weniger gut/garnicht? (↑Berechenbarkeit, ↑Komplexitätstheorie)

3. Umsetzung in Code einer Programmiersprache (Java)

- ▶ Was macht ein Compiler (Compilerbau)
- ▶ Compiler für Java (Compilerbau)

Inhalte: EIDI 1

1. Was ist das Problem?

(↑Modellierung, ↑Spezifikation)

2. Entwicklung eines automatischen Lösungsverfahrens

- ▶ genaue Beschreibung des Ablaufs in einzelnen Schritten: Algorithmus (↑Algorithmik)
- ▶ Organisation von Daten (↑Datenstrukturen, ↑Datenmodellierung)
- ▶ Wie ist ein Rechner aufgebaut (↑Rechnerarchitektur)
- ▶ Was kann ein Rechner gut/weniger gut/garnicht? (↑Berechenbarkeit, ↑Komplexitätstheorie)

3. Umsetzung in Code einer Programmiersprache (Java)

(↑Implementierung, ↑Code-Optimierung)

(↑Testen, ↑Debugging, ↑Performance)

Inhalte: EIDI 1

1. Was ist das Problem?

(↑Modellierung, ↑Spezifikation)

2. Entwicklung eines automatischen Lösungsverfahrens

- ▶ genaue Beschreibung des Ablaufs in einzelnen Schritten: Algorithmus (↑Algorithmik)
- ▶ Organisation von Daten (↑Datenstrukturen, ↑Datenmodellierung)
- ▶ Wie ist ein Rechner aufgebaut (↑Rechnerarchitektur)
- ▶ Was kann ein Rechner gut/weniger gut/garnicht? (↑Berechenbarkeit, ↑Komplexitätstheorie)

3. Umsetzung in Code einer Programmiersprache (Java)

Inhalte: EIDI 1

1. Was ist das Problem?

(↑Modellierung, ↑Spezifikation)

2. Entwicklung eines automatischen Lösungsverfahrens

- ▶ genaue Beschreibung des Ablaufs in einzelnen Schritten: Algorithmus (↑Algorithmik)
- ▶ Organisation von Daten (↑Datenstrukturen, ↑Datenmodellierung)
- ▶ Wie ist ein Rechner aufgebaut (↑Rechnerarchitektur)
- ▶ Was kann ein Rechner gut/weniger gut/garnicht? (↑Berechenbarkeit, ↑Komplexitätstheorie)

3. Umsetzung in Code einer Programmiersprache (Java)

Inhalte: EIDI 1

1. Was ist das Problem?

(↑Modellierung, ↑Spezifikation)

2. Entwicklung eines automatischen Lösungsverfahrens

- ▶ genaue Beschreibung des Ablaufs in einzelnen Schritten: Algorithmus (↑Algorithmik)
- ▶ Organisation von Daten (↑Datenstrukturen, ↑Datenmodellierung)
- ▶ Wie ist ein Rechner aufgebaut (↑Rechnerarchitektur)
- ▶ Was kann ein Rechner gut/weniger gut/garnicht? (↑Berechenbarkeit, ↑Komplexitätstheorie)

3. Umsetzung in Code einer Programmiersprache (Java)

- ▶ Was macht ein Compiler (↑Compilerbau)
- ▶ Fehlersuche etc. (↑Softwaretechnik)

Inhalte: EIDI 1

1. Was ist das Problem?

(↑Modellierung, ↑Spezifikation)

2. Entwicklung eines automatischen Lösungsverfahrens

- ▶ genaue Beschreibung des Ablaufs in einzelnen Schritten: Algorithmus (↑Algorithmik)
- ▶ Organisation von Daten (↑Datenstrukturen, ↑Datenmodellierung)
- ▶ Wie ist ein Rechner aufgebaut (↑Rechnerarchitektur)
- ▶ Was kann ein Rechner gut/weniger gut/garnicht? (↑Berechenbarkeit, ↑Komplexitätstheorie)

3. Umsetzung in Code einer Programmiersprache (Java)

- ▶ Was macht ein Compiler (↑Compilerbau)
- ▶ Fehlersuche etc. (↑Softwaretechnik)

Inhalte: EIDI 1

1. Was ist das Problem?

(↑Modellierung, ↑Spezifikation)

2. Entwicklung eines automatischen Lösungsverfahrens

- ▶ genaue Beschreibung des Ablaufs in einzelnen Schritten: Algorithmus (↑Algorithmik)
- ▶ Organisation von Daten (↑Datenstrukturen, ↑Datenmodellierung)
- ▶ Wie ist ein Rechner aufgebaut (↑Rechnerarchitektur)
- ▶ Was kann ein Rechner gut/weniger gut/garnicht? (↑Berechenbarkeit, ↑Komplexitätstheorie)

3. Umsetzung in Code einer Programmiersprache (Java)

- ▶ Was macht ein Compiler (↑Compilerbau)
- ▶ Fehlersuche etc. (↑Softwaretechnik)

Inhalte: PGdP

Praxis des Programmierens (in Java)

- ▶ zuerst kleine wöchentliche Aufgaben
- ▶ später größere Projekte

- ▶ Entwurf, Kodierung, Debuggen, Testen
- ▶ Werkzeuge, Entwicklungsumgebungen
- ▶ Bibliotheken

Inhalte: PGdP

Praxis des Programmierens (in Java)

- ▶ zuerst kleine wöchentliche Aufgaben
- ▶ später größere Projekte

- ▶ Entwurf, Kodierung, Debuggen, Testen
- ▶ Werkzeuge, Entwicklungsumgebungen
- ▶ Bibliotheken

Inhalte: PGdP

Praxis des Programmierens (in Java)

- ▶ zuerst kleine wöchentliche Aufgaben
- ▶ später größere Projekte

- ▶ Entwurf, Kodierung, Debuggen, Testen

- ▶ Werkzeuge, Entwicklungsumgebungen

- ▶ Bibliotheken

Vorkenntnisse

Programmiererfahrung?

Keine formalen Voraussetzungen, aber

• Interesse

• Abstraktionsfähigkeit

• Kreativität

• Mathematische Kenntnisse (Algebra)

• Lernfähigkeit und Einsatzbereitschaft

Vorkenntnisse

Programmiererfahrung?

Keine formalen Voraussetzungen, aber

- ▶ **Interesse**
- ▶ Abstraktionsfähigkeit
- ▶ Kreativität
- ▶ mathematische Kenntnisse (Abitur)
- ▶ Lernfähigkeit und Einsatzbereitschaft

12 von 30 ECTS

Vorkenntnisse

Programmiererfahrung?

Keine formalen Voraussetzungen, aber

- ▶ Interesse
- ▶ Abstraktionsfähigkeit
- ▶ Kreativität
- ▶ mathematische Kenntnisse (Abitur)
- ▶ Lernfähigkeit und Einsatzbereitschaft

12 von 30 PPTs

Vorkenntnisse

Programmiererfahrung?

Keine formalen Voraussetzungen, aber

- ▶ Interesse
- ▶ Abstraktionsfähigkeit
- ▶ Kreativität
- ▶ mathematische Kenntnisse (Abitur)
- ▶ Lernfähigkeit und Einsatzbereitschaft

12 von 30 ECTS

Vorkenntnisse

Programmiererfahrung?

Keine formalen Voraussetzungen, aber

- ▶ Interesse
- ▶ Abstraktionsfähigkeit
- ▶ Kreativität
- ▶ mathematische Kenntnisse (Abitur)
- ▶ Lernfähigkeit und Einsatzbereitschaft

© WS 20/21

Vorkenntnisse

Programmiererfahrung?

Keine formalen Voraussetzungen, aber

- ▶ Interesse
- ▶ Abstraktionsfähigkeit
- ▶ Kreativität
- ▶ mathematische Kenntnisse (Abitur)
- ▶ Lernfähigkeit und Einsatzbereitschaft
 - ▶ 12 von 30 ECTS

Vorkenntnisse

Programmiererfahrung?

Keine formalen Voraussetzungen, aber

- ▶ Interesse
- ▶ Abstraktionsfähigkeit
- ▶ Kreativität
- ▶ mathematische Kenntnisse (Abitur)
- ▶ Lernfähigkeit und Einsatzbereitschaft
 - ▶ 12 von 30 ECTS

Überblick

1. Einführung

- ▶ Grundlegende Begriffe: Problem - Algorithmus - Programm
- ▶ Imperative Programmkonstrukte

2. Syntax und Semantik

- ▶ Syntax von Programmiersprachen: Grammatiken
- ▶ Semantik von Programmen: Kontrollfluss-Diagramme

3. Grundlegende Datenstrukturen I:

- ▶ Zahlen, Strings, Felder
- ▶ Sortieren durch Einfügen

4. Rekursion

- ▶ Binäre Suche
- ▶ Rekursionsarten

Überblick

5 Grundlegende Datenstrukturen II:

- ▶ Objekte, Klassen, Methoden
- ▶ Listen, Keller und Schlangen

6 Objektorientierte Programmierung

- ▶ Vererbung
- ▶ abstrakte Klassen und Interfaces
- ▶ Polymorphie

7 Programmieren im Großen (Ausblick)

8 Nebenläufige Programmierung und Threads

9 GUI-Programmierung

0 Allgemeines

organisatorisches

1 Vom Problem zum Program

Ein **Problem** besteht darin, aus einer Menge von Informationen eine weitere (unbekannte) Information zu bestimmen.

mathematisch:

Ein Problem beschreibt eine Funktion $f : E \rightarrow A$, mit $E =$ zulässige Eingaben und $A =$ mögliche Ausgaben.

Beispiele:

- ▶ Addition: $f : \mathbb{Q} \times \mathbb{Q} \rightarrow \mathbb{Q}$
- ▶ Primzahltest: $f : \mathbb{N} \rightarrow \{\text{yes, no}\}$
- ▶ Schach: $f : \mathcal{P} \rightarrow \mathcal{Z}$, wobei \mathcal{P} die Menge aller Schachpositionen ist, und $f(P)$, der beste Zug in Position P .

Algorithmus

Ein **Algorithmus** ist ein **exaktes Verfahren** zur Lösung eines Problems, d.h. zur Bestimmung der gewünschten Resultate.

Man sagt auch ein Algorithmus **berechnet** eine Funktion f .



Abu Abdallah
Muhamed ibn Musa
al-Khwaritzmi, ca.
780–835

Beobachtung:

Nicht jedes Problem läßt sich durch einen Algorithmus lösen (↑**Berechenbarkeitstheorie**).

Beweisidee: (↑**Diskrete Strukturen**)

- ▶ es gibt **überabzählbar unendlich** viele Probleme
- ▶ es gibt **abzählbar unendlich** viele Algorithmen

Algorithmus

Das **exakte Verfahren** besteht i.a. darin, eine Abfolge von **elementaren Einzelschritten** der Verarbeitung festzulegen.

Beispiel: Alltagsalgorithmen

<i>Resultat</i>	<i>Algorithmus</i>	<i>Einzelschritte</i>
Pullover	Strickmuster	eine links, eine rechts, eine fallen lassen
Kuchen	Rezept	nimm 3 Eier ...
Konzert	Partitur	Noten

Beispiel: Euklidischer Algorithmus

Problem: geg. $a, b \in \mathbb{N}, a, b \neq 0$. Bestimme $\text{ggT}(a, b)$.

Algorithmus:

1. Falls $a = b$ brich Berechnung ab. Es gilt $\text{ggT}(a, b) = a$.
Ansonsten gehe zu Schritt 2.
2. Falls $a > b$, ersetze a durch $a - b$ und setze Berechnung in Schritt 1 fort. Ansonsten gehe zu Schritt 3.
3. Es gilt $a < b$. Ersetze b durch $b - a$ und setze Berechnung in Schritt 1 fort.

Beispiel: Euklidischer Algorithmus

Hier sind $q_a, q_b, q'_{a-b}, q'_b \in \mathbb{Z}$.

Warum geht das?

Wir zeigen, für $a > b$: $\text{ggT}(a, b) = \text{ggT}(a - b, b)$.

Seien $g = \text{ggT}(a, b)$, $g' = \text{ggT}(a - b, b)$.

Dann gilt:

$$\begin{array}{l} a = q_a \cdot g \\ b = q_b \cdot g \end{array} \quad \text{und} \quad \begin{array}{l} a - b = q'_{a-b} \cdot g' \\ b = q'_b \cdot g' \end{array}$$

$$\begin{array}{l} a - b = (q_a - q_b) \cdot g \\ b = q_b \cdot g \end{array} \quad \text{und} \quad \begin{array}{l} a = (q'_{a-b} + q'_b) \cdot g' \\ b = q'_b \cdot g' \end{array}$$

Das heißt g ist Teiler von $a - b, b$ und g' ist Teiler von a, b .

Daraus folgt $g \leq g'$ und $g' \leq g$, also $g = g'$.

Eigenschaften

Ein klassischer Algorithmus erfüllt alle Eigenschaften.
Häufig spricht man aber auch von Algorithmen wenn einige dieser Eigenschaften verletzt sind.

(statische) Finitheit. Die Beschreibung des Algorithmus besitzt endliche Länge. (↑**nichtuniforme Algorithmen**)

(dynamische) Finitheit. Die bei Abarbeitung entstehenden Zwischenergebnisse sind endlich.

Terminiertheit. Algorithmen, die nach endlich vielen Schritten ein Resultat liefern, heißen **terminierend**. (↑**Betriebssysteme**, ↑**reaktive Systeme**)

Determiniertheit. Bei gleichen Eingabedaten gibt ein Algorithmus das gleiche Ergebnis aus. (↑**randomisierte Algorithmen**, ↑**nicht-deterministische Algorithmen**)

Determinismus. Der nächste anzuwendende Schritt im Verfahren ist stets eindeutig definiert. (↑**randomisierte Algorithmen**, ↑**nicht-deterministische Algorithmen**)

Programm

Ein **Programm** ist die **Formulierung** eines Algorithmus in einer **Programmiersprache**.

Die Formulierung gestattet (hoffentlich) eine maschinelle Ausführung.

- ▶ Ein **Programmsystem** berechnet i.a. nicht nur eine Funktion, sondern **immer wieder** Funktionen in Interaktion mit Benutzerinnen und/oder der Umgebung.
- ▶ Es gibt viele Programmiersprachen: **Java**, **C**, **Prolog**, **Fortran**, **TeX**, **PostScript**, ...

Programm

Ein Programm ist **gut**, wenn

- ▶ **die Programmiererin** in ihr algorithmische Ideen **natürlich** beschreiben kann, insbesondere später noch versteht was das Programm tut (oder nicht tut);
- ▶ **ein Computer** das Programm leicht verstehen und **effizient** ausführen kann.

2 Eine einfache Programmiersprache

Eine Programmiersprache soll

- ▶ Datenstrukturen anbieten
- ▶ Operationen auf Daten erlauben
- ▶ **Kontrollstrukturen** zur Ablaufsteuerung bereitstellen

Als Beispiel betrachten wir **MiniJava**.

Variablen

Variablen dienen zur Speicherung von Daten.

Um Variablen in **MiniJava** zu nutzen müssen sie zunächst eingeführt, d.h. **deklariert** werden.

Variablen

Beispiel:

```
int x, result;
```

Diese Deklaration führt die beiden Variablen mit den Namen `x` und `result` ein.

- ▶ Das Schlüsselwort `int` besagt, dass diese Variablen ganze Zahlen („Integers“) speichern sollen.

`int` heißt auch **Typ** der Variablen `x` und `result`.

- ▶ Variablen können dann benutzt werden, um anzugeben, auf welche Daten Operationen angewendet werden sollen.
- ▶ Die Variablen in der Aufzählung sind durch Kommas „`,`“ getrennt.
- ▶ Am Ende steht ein Semikolon „`;`“.

Variablen

Beispiel:

```
int x, result;
```

Diese Deklaration führt die beiden Variablen mit den Namen `x` und `result` ein.

- ▶ Das Schlüsselwort `int` besagt, dass diese Variablen ganze Zahlen („Integers“) speichern sollen.

`int` heißt auch **Typ** der Variablen `x` und `result`.

- ▶ Variablen können dann benutzt werden, um anzugeben, auf welche Daten Operationen angewendet werden sollen.
- ▶ Die Variablen in der Aufzählung sind durch Kommas „`,`“ getrennt.
- ▶ Am Ende steht ein Semikolon „`;`“.

Variablen

Beispiel:

```
int x, result;
```

Diese Deklaration führt die beiden Variablen mit den Namen `x` und `result` ein.

- ▶ Das Schlüsselwort `int` besagt, dass diese Variablen ganze Zahlen („Integers“) speichern sollen.

`int` heißt auch **Typ** der Variablen `x` und `result`.

- ▶ Variablen können dann benutzt werden, um anzugeben, auf welche Daten Operationen angewendet werden sollen.
- ▶ Die Variablen in der Aufzählung sind durch Kommas „`,`“ getrennt.
- ▶ Am Ende steht ein Semikolon „`;`“.

Variablen

Beispiel:

```
int x, result;
```

Diese Deklaration führt die beiden Variablen mit den Namen `x` und `result` ein.

- ▶ Das Schlüsselwort `int` besagt, dass diese Variablen ganze Zahlen („Integers“) speichern sollen.

`int` heißt auch **Typ** der Variablen `x` und `result`.

- ▶ Variablen können dann benutzt werden, um anzugeben, auf welche Daten Operationen angewendet werden sollen.
- ▶ Die Variablen in der Aufzählung sind durch Kommas „`,`“ getrennt.
- ▶ Am Ende steht ein Semikolon „`;`“.

Operationen – Zuweisung

Operationen gestatten es, Werte von Variablen zu ändern. Die wichtigste Operation ist die **Zuweisung**.

Beispiele:

▶ `x = 7;`

Die Variable `x` erhält den Wert `7`.

▶ `result = x;`

Der Wert der Variablen `x` wird ermittelt und der Variablen `result` zugewiesen.

▶ `result = x + 19;`

Der Wert der Variablen `x` wird ermittelt, `19` dazu gezählt und dann das Ergebnis der Variablen `result` zugewiesen.

Achtung:

- ▶ **Java** bezeichnet die Zuweisung mit „**=**“ anstatt „**:=**“ (Erbschaft von **C...**)
- ▶ Eine Zuweisung wird mit „**;**“ beendet.
- ▶ In der Zuweisung **x = x + 1;** greift das **x** auf der rechten Seite auf den Wert **vor** der Zuweisung zu.

Operationen – Input/Output

Minijava enthält Operationen um Daten (Zahlen) einlesen bzw. ausgeben zu können.

Beispiele:

- ▶ `x = read();`
Liest eine Folge von Zeichen ein und interpretiert sie als ganze Zahl, deren Wert sie der Variablen `x` als Wert zuweist.
- ▶ `write(42);`
Schreibt `42` auf die Ausgabe.
- ▶ `write(result);`
Bestimmt den Wert der Variablen `result` und schreibt dann diesen auf die Ausgabe.
- ▶ `write(x-14);`
Bestimmt den Wert der Variablen `x`, subtrahiert `14` und schreibt das Ergebnis auf die Ausgabe.

Operationen – Input/Output

Achtung:

- ▶ Das argument der `write`-Operation in den Beispielen ist ein `int`.
- ▶ Um es ausgeben zu können muss es erst in ein `Zeichenfolge` umgewandelt werden, d.h. einen `String`

In `Minijava` könne auch direkt Strings ausgegeben werden:

Beispiel:

- ▶ `write("Hello World!!!");`
Schreibt `Hello World!!!` auf die Ausgabe.

Kontrollstrukturen – Sequenz

Sequenz:

```
1 int x, y, result;  
2 x = read();  
3 y = read();  
4 result = x + y;  
5 write(result);
```

- ▶ Zu jedem Zeitpunkt wird nur eine Operation ausgeführt.
- ▶ Jede Operation wird genau einmal ausgeführt.
- ▶ Die Reihenfolge, in der die Operationen ausgeführt werden, ist die gleiche, in der sie im Programm stehen.
- ▶ Mit Beendigung der letzten Operation endet die Programm-Ausführung.

Sequenz alleine erlaubt nur sehr einfache Programme.

Kontrollstrukturen – Selektion

Selektion (bedingte Auswahl):

```
1 int x, y, result;  
2 x = read();  
3 y = read();  
4 if (x > y)  
5     result = x - y;  
6 else  
7     result = y - x;  
8 write(result);
```

- ▶ Zuerst wird die Bedingung ausgewertet
- ▶ Ist sie erfüllt, wird die nächste Operation ausgeführt.
- ▶ Ist sie nicht erfüllt, wird die nächste Operation nach dem `else`-Zweig ausgeführt.

Kontrollstrukturen – Selektion

Beispiel:

- ▶ Statt einer einzelnen Operation können die Alternativen auch aus **Statements** bestehen:

```
1 int x;  
2 x = read();  
3 if (x == 0)  
4     write(0);  
5 else if (x < 0)  
6     write(-1);  
7 else  
8     write(+1);
```

Kontrollstrukturen – Selektion

Beispiel:

- ▶ ...oder aus (geklammerten) Folgen von Operationen und Statements:

```
1 int x, y;  
2 x = read();  
3 if (x != 0) {  
4     y = read();  
5     if (x > y)  
6         write(x);  
7     else  
8         write(y);  
9 } else  
10    write(0);
```


Kontrollstrukturen – Selektion

Beispiel:

- ▶ ...eventuell fehlt auch der `else`-Teil:

```
1 int x, y;  
2 x = read();  
3 if (x != 0) {  
4     y = read();  
5     if (x > y)  
6         write(x);  
7     else  
8         write(y);  
9 }
```

Auch mit Sequenz und Selektion kann noch nicht viel berechnet werden...

Kontrollstrukturen – Iteration

Iteration (wiederholte Ausführung)

```
1 int x, y;  
2 x = read(); y = read();  
3 while (x != y) {  
4     if (x < y)  
5         y = y - x;  
6     else  
7         x = x - y;  
8 }  
9 write(x);
```

- ▶ Zuerst wird die Bedingung ausgewertet.
- ▶ Ist sie erfüllt, wird der **Rumpf** des **while**-statements ausgeführt.
- ▶ Nach Ausführung des Rumpfs wird das gesamte **while**-statement erneut ausgeführt.
- ▶ Ist die Bedingung nicht erfüllt fährt die Programmausführung hinter dem **while**-statement fort.

2 Eine einfache Programmiersprache

Theorem (↑Berechenbarkeitstheorie)

Jede (partielle) Funktion auf ganzen Zahlen, die überhaupt berechenbar ist, läßt sich mit Selektion, Sequenz, und Iteration, d.h., mithilfe eines MiniJava-Programms berechnen.

Beweisidee

- ▶ Was heißt berechenbar?
Eine Funktion heißt berechenbar wenn man sie mithilfe einer Turingmaschine berechnen kann.
- ▶ Schreibe ein **MiniJava**-Programm, das eine Turingmaschine simuliert.

2 Eine einfache Programmiersprache

Minijava-Programme sind ausführbares Java. Man muss sie nur geeignet **dekoriieren**.

Beispiel: das GGT-Programm.

```
1 int x, y;
2 x = read();
3 y = read();
4 while (x != y) {
5     if (x < y)
6         y = y - x;
7     else
8         x = x - y;
9 }
10 write(x);
```

```
1 public class GGT extends MiniJava {
2     public static void main (String[] args) {
3         int x, y;
4         x = read();
5         y = read();
6         while (x != y) {
7             if (x < y)
8                 y = y - x;
9             else
10                x = x - y;
11        }
12        write(x);
13    } // Ende der Definition von main();
14 } // Ende der Definition der Klasse GGT;
```

Datei "GGT.java"

Erläuterungen:

- ▶ Jedes Programm hat einen **Namen** (hier **GGT**)
- ▶ Der Name steht hinter dem Schlüsselwort **class** (was eine Klasse ist, was **public** ist lernen wir später)
- ▶ Der Dateiname muss zum Programmnamen „passen“, d.h. in diesem Fall **GGT.java** heißen.
- ▶ Das **MiniJava**-Programm ist der Rumpf des **Hauptprogramms**, d.h. der Funktion **main()**.
- ▶ Die Programmausführung eines **Java**-Programms startet stets mit einem Aufruf dieser Funktion **main()**.
- ▶ Die Operationen **write()** und **read()** werden in der Klasse **MiniJava** definiert.
- ▶ Durch **GGT extends MiniJava** machen wir diese Operationen innerhalb des **GGT**-Programms verfügbar.

```
1 import javax.swing.JOptionPane;
2 import javax.swing.JFrame;
3 public class MiniJava {
4     public static int read () {
5         JFrame f = new JFrame ();
6         String s = JOptionPane.showInputDialog (f, "Eingabe:");
7         int x = 0; f.dispose ();
8         if (s == null) System.exit (0);
9         try { x = Integer.parseInt (s.trim ());
10        } catch (NumberFormatException e) { x = read (); }
11        return x;
12    }
13    public static void write (String x) {
14        JFrame f = new JFrame ();
15        JOptionPane.showMessageDialog (f, x, "Ausgabe",
16        JOptionPane.PLAIN_MESSAGE);
17        f.dispose ();
18    }
19    public static void write (int x) { write (""+x); }
20 }
```

Datei: "MiniJava.java"

Weitere Erläuterungen:

- ▶ Jedes Programm sollte Kommentare enthalten, damit man sich selbst später noch darin zurecht findet!
- ▶ Ein Kommentar in **Java** hat etwa die Form:
`// Das ist ein Kommentar!!!`
- ▶ Wenn er sich über mehrere Zeilen erstrecken soll dann
`/* Dieser Kommentar ist verdammt
laaaaaaaaaaang
*/`

Erläuterungen:

- ▶ Jedes Programm sollte Kommentare enthalten, damit man sich selbst später noch darin zurecht findet!
- ▶ Ein Kommentar in Java hat etwa die Form:
`// Das ist ein Kommentar!!!`
- ▶ Wenn er sich über mehrere Zeilen erstrecken soll dann
`/* Dieser Kommentar ist verdammt
laaaaaaaaaaaaang
*/`

Erläuterungen:

- ▶ Jedes Programm sollte Kommentare enthalten, damit man sich selbst später noch darin zurecht findet!
- ▶ Ein Kommentar in Java hat etwa die Form:
`// Das ist ein Kommentar!!!`
- ▶ Wenn er sich über mehrere Zeilen erstrecken soll dann
`/* Dieser Kommentar ist verdammt
laaaaaaaaaaang
*/`

Erläuterungen:

- ▶ Jedes Programm sollte Kommentare enthalten, damit man sich selbst später noch darin zurecht findet!
- ▶ Ein Kommentar in **Java** hat etwa die Form:
`// Das ist ein Kommentar!!!`

- ▶ Wenn er sich über mehrere Zeilen erstrecken soll dann
`/* Dieser Kommentar ist verdammt
laaaaaaaaaaang
*/`

Erläuterungen:

- ▶ Jedes Programm sollte Kommentare enthalten, damit man sich selbst später noch darin zurecht findet!
- ▶ Ein Kommentar in **Java** hat etwa die Form:

```
// Das ist ein Kommentar!!!
```

- ▶ Wenn er sich über mehrere Zeilen erstrecken soll dann

```
/* Dieser Kommentar ist verdammt  
   laaaaaaaaaaang  
   */
```

2 Eine einfache Programmiersprache

Das Programm GGT kann nun übersetzt und dann ausgeführt werden:

```
raecke> javac GGT.java
```

```
raecke> java GGT
```

- ▶ Der Compiler `javac` liest das Programm aus den Dateien `GGT.java` und `MiniJava.java` ein und erzeugt für sie JVM-Code, den er in den Dateien `GGT.class` und `MiniJava.class` ablegt.
- ▶ Das Laufzeitsystem `java` list die Dateien `GGT.class` und `MiniJava.class` ein und führt sie aus.

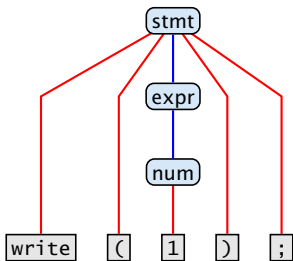
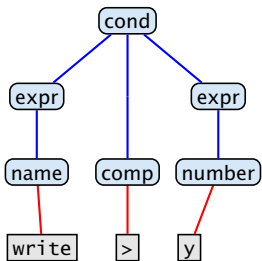
Minijava ist sehr primitiv

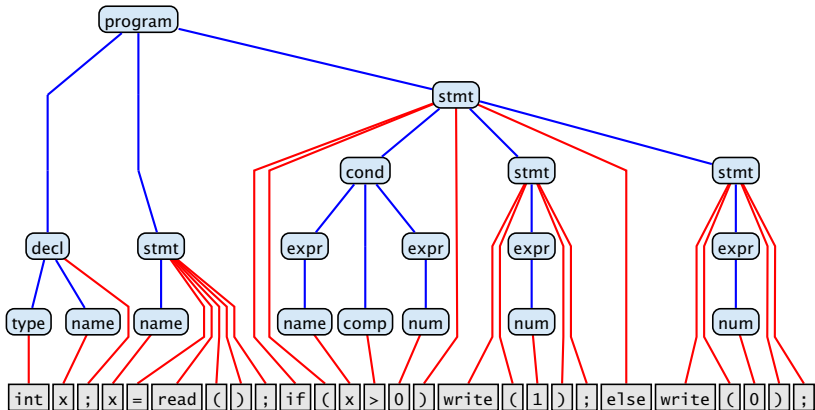
Die Programmiersprache Java bietet noch eine Fülle von Hilfsmitteln an, die das Programmieren erleichtern sollen.

Insbesondere gibt es

- ▶ viele weitere Datentypen (nicht nur `int`) und
- ▶ viele weitere Kontrollstrukturen

... kommt später in der Vorlesung!





4 Kontrollflussdiagramme

In welcher Weise, Programmteile nacheinander ausgeführt werden kann anschaulich durch **Kontrollflussdiagramme** dargestellt werden.

Zutaten:

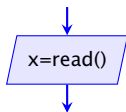


Startknoten

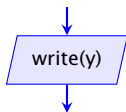


Endknoten

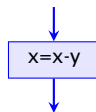
4 Kontrollflussdiagramme



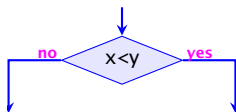
Eingabe



Ausgabe



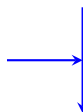
Zuweisung



bedingte
Verzweigung



Kante



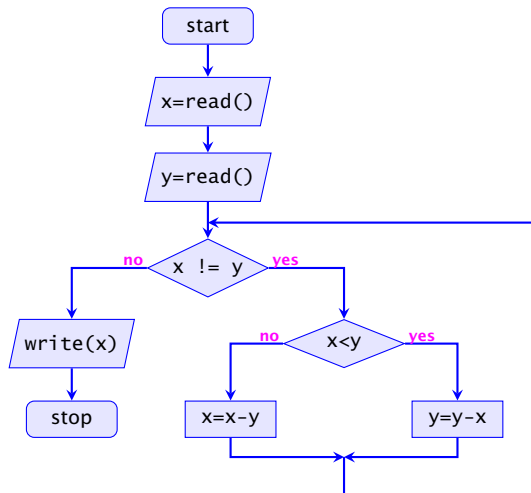
Zusammenlauf

4 Kontrollflussdiagramme

Beispiel:

```
int x, y;  
x = read();  
y = read();  
while (x != y) {  
    if (x < y)  
        y = y - x;  
    else  
        x = x - y;  
}  
write(x);
```

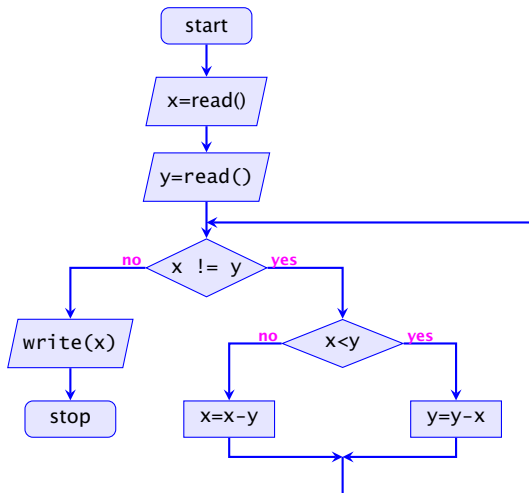
GGT



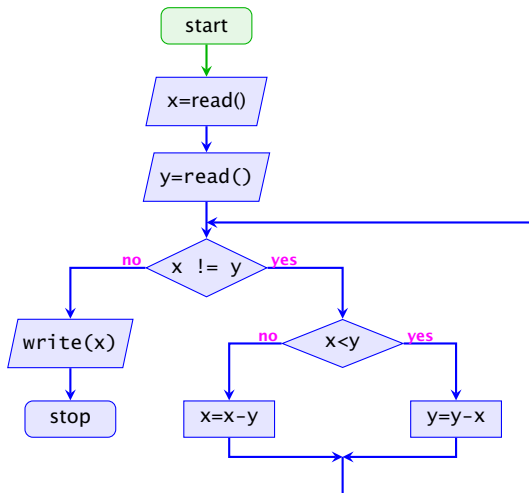
4 Kontrollflussdiagramme

- ▶ Die Ausführung des Programms entspricht einem **Pfad** durch das Kontrollflussdiagramm vom Startknoten zum Endknoten.
- ▶ Die Deklaration von Variablen muss man sich am Startknoten vorstellen.
- ▶ Die auf dem Pfad liegenden Knoten (außer Start- und Endknoten) sind Operationen bzw. auszuwertende Bedingungen.
- ▶ Um den Nachfolger an einem Verzweigungsknoten zu bestimmen, muss die Bedingung mit den aktuellen Werten der Variablen ausgewertet werden. (↑**operationelle Semantik**)

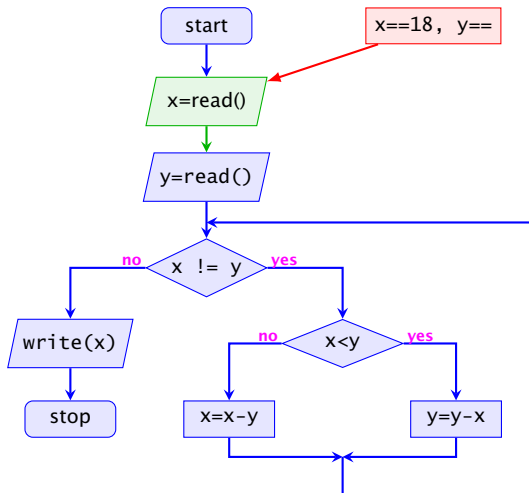
4 Kontrollflussdiagramme



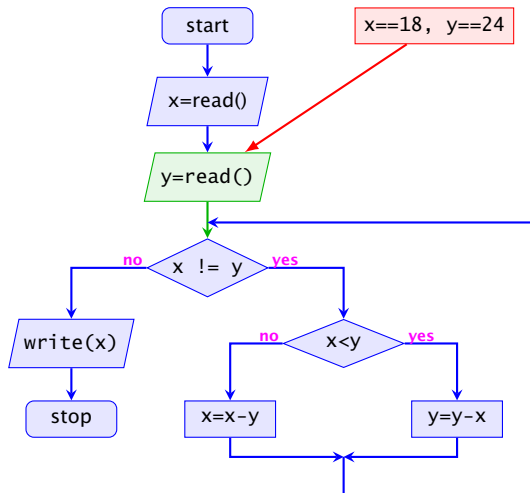
4 Kontrollflussdiagramme



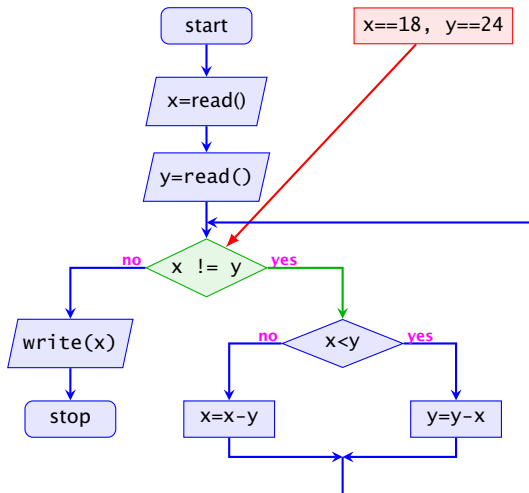
4 Kontrollflussdiagramme



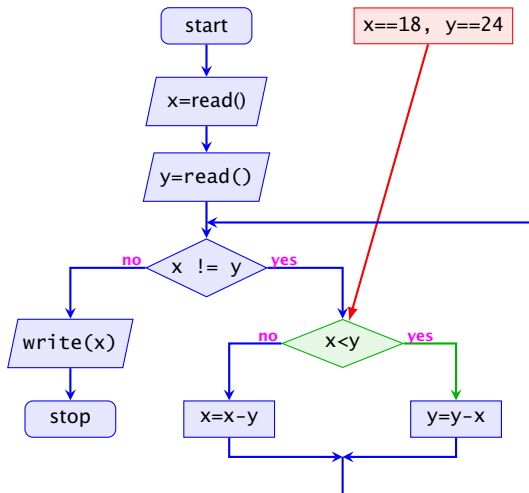
4 Kontrollflussdiagramme



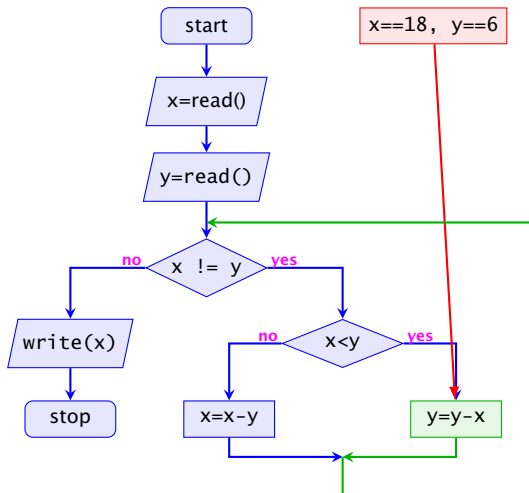
4 Kontrollflussdiagramme



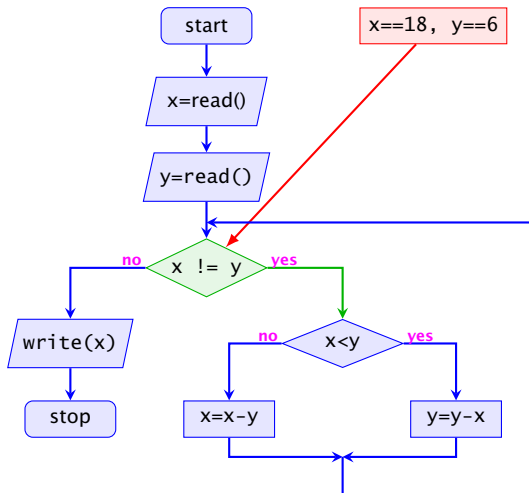
4 Kontrollflussdiagramme



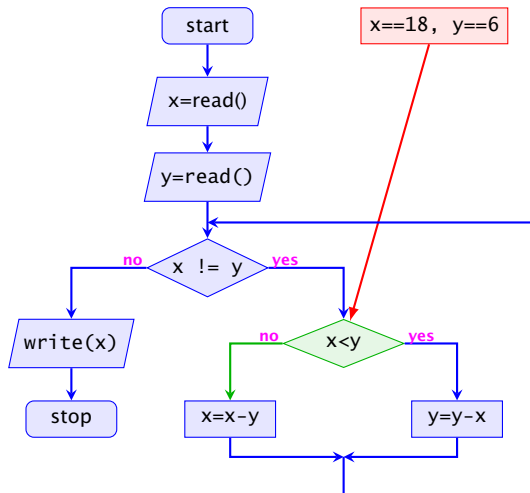
4 Kontrollflussdiagramme



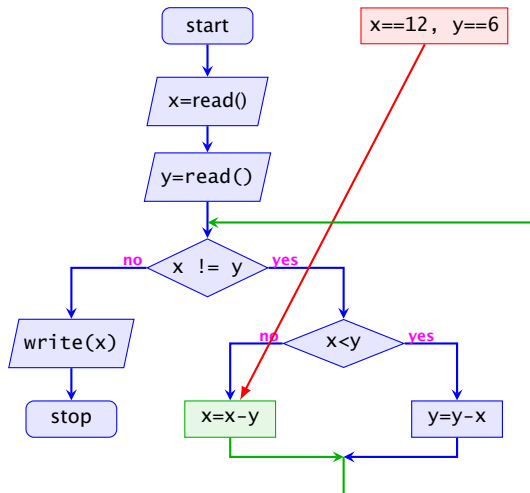
4 Kontrollflussdiagramme



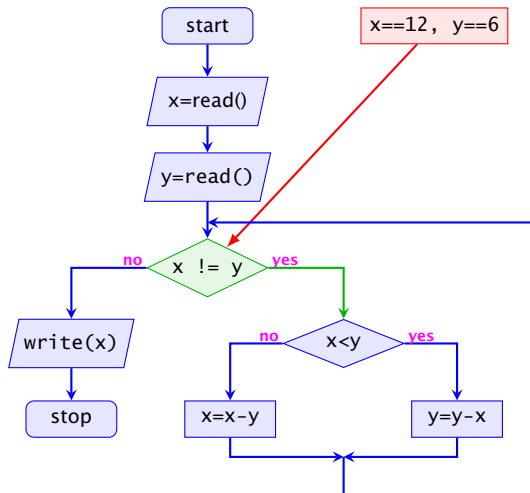
4 Kontrollflussdiagramme



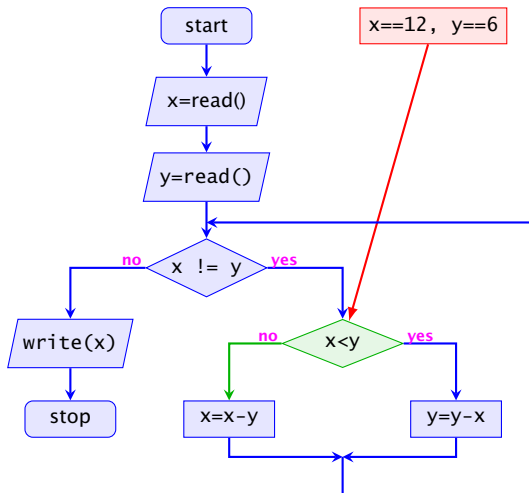
4 Kontrollflussdiagramme



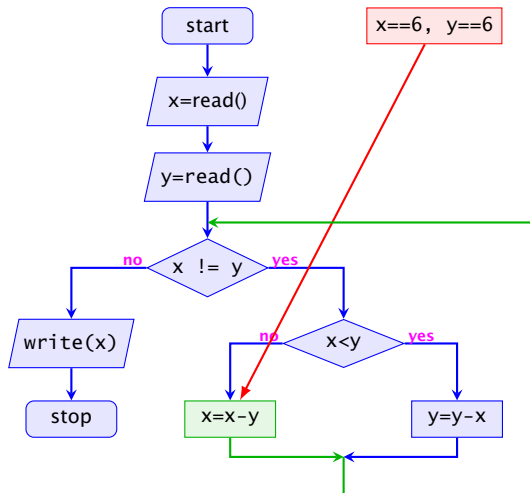
4 Kontrollflussdiagramme



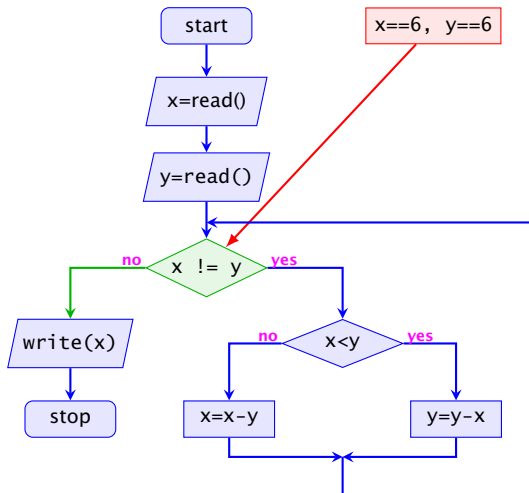
4 Kontrollflussdiagramme



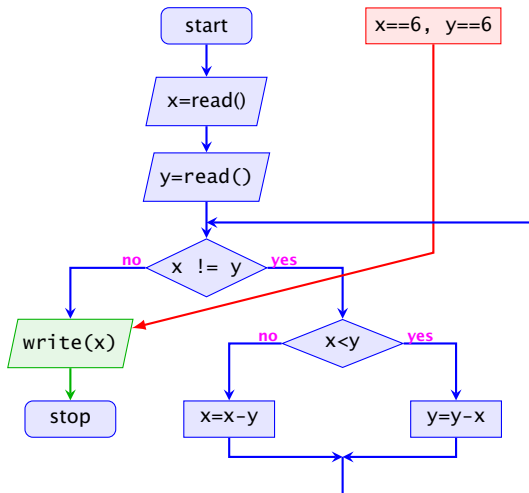
4 Kontrollflussdiagramme



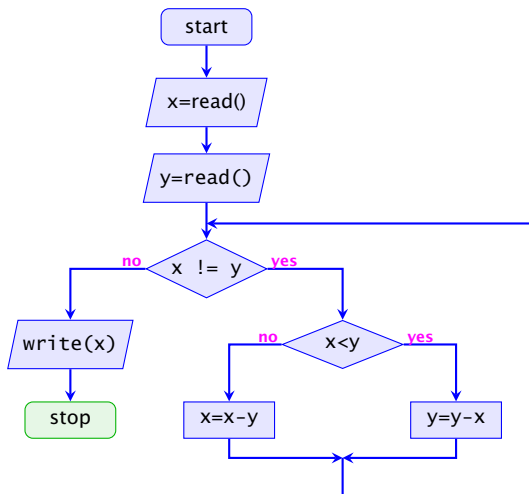
4 Kontrollflussdiagramme



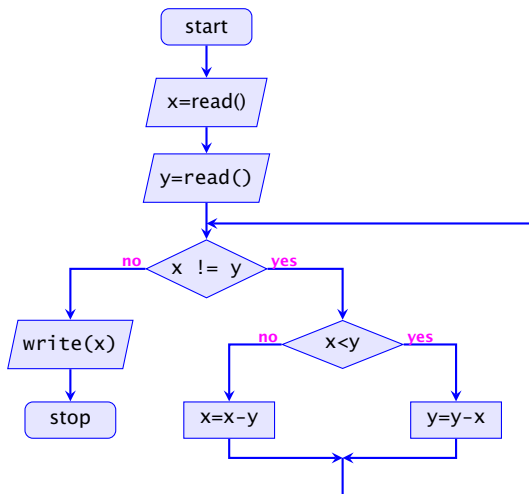
4 Kontrollflussdiagramme



4 Kontrollflussdiagramme



4 Kontrollflussdiagramme



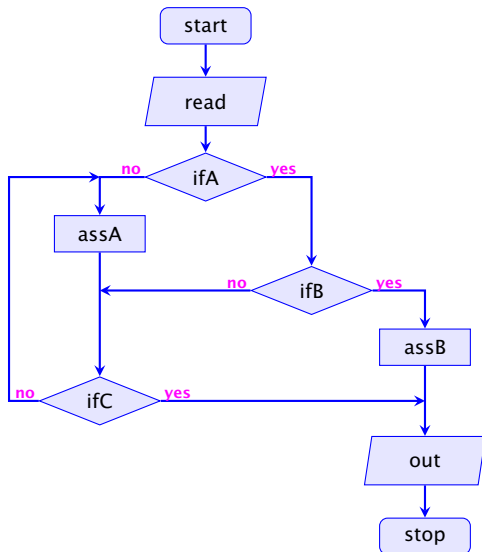
4 Kontrollflussdiagramme

- ▶ zu jedem **MiniJava**-Programm lässt sich ein Kontrollflussdiagramm konstruieren;
- ▶ die Umkehrung gilt auch, liegt aber nicht sofort auf der Hand

Die Umkehrung wäre sehr einfach zu bewerkstelligen, wenn wir in einem MiniJava-Programm **goto**-Befehle benutzen dürften, d.h. wenn wir von jedem Punkt zu jedem anderen innerhalb des Programms springen könnten.

Die obige Aussage bedeutet im Prinzip, dass man **goto**-Befehle immer durch geeignete Schleifen ersetzen kann.

4 Kontrollflussdiagramme



5 Mehr Java

Java ist **statisch typisiert**, d.h., **Variablen**, **Ergebnisse von Ausdrücken**, etc. haben ein **Datentyp**, der schon bei der Kompilierung festgelegt wird.

Java unterscheidet zwei Arten von Typen:

- ▶ Basistypen / Primitive Datentypen
`byte`, `char`, `short`, `int`, `long`, `float`, `double`, `boolean`
- ▶ Referenzdatentypen
kann man auch selber definieren

Beispiel – Statische Typisierung

```
a = 5  
a = a + 1  
a = "Hello World." # a is now a string  
a = a + 1           # runtime error
```

Python

```
int a;  
a = 5;  
a = "Hello World." // will not compile
```

Java

5.1 Basistypen

Primitive Datentypen

- ▶ Zu jedem Basistypen gibt es eine Menge möglicher **Werte**.
- ▶ Jeder Wert eines Basistyps benötigt den gleichen **Platz**, um ihn im Rechner zu repräsentieren.
- ▶ Der Platz wird in **Bit** gemessen.

Wie viele Werte kann man mit n Bit darstellen?

Primitive Datentypen – Ganze Zahlen

Es give **vier** Sorten ganzer Zahlen:

<i>Typ</i>	<i>Platz</i>	<i>kleinster Wert</i>	<i>größter Wert</i>
byte	8	-128	127
short	16	-32 768	32 767
int	32	-2 147 483 648	2 147 483 647
long	64	-9 223 372 036 854 775 808	9 223 372 036 854 775 807

Die Benutzung kleinerer Typen wie **byte** oder **short** spart Platz.

Primitive Datentypen – Ganze Zahlen

Verwenden Sie niemals `l` als `long`-Suffix, da dieses leicht mit `1` verwechselt werden kann.

`_` darf nur **zwischen** Ziffern stehen, d.h. weder am Anfang noch am Ende.

Übung:

Geben Sie eine reguläre Grammatik an, die diese Regeln abbildet

Literale:

- ▶ dezimale Notation
- ▶ hexadezimale Notation (Präfix `0x` oder `0X`)
- ▶ oktale Notation (Präfix `0`)
- ▶ binäre Notation (Präfix `0b` oder `0B`)
- ▶ Suffix `l` ☹ oder `L` für `long`
- ▶ `'_'` um Ziffern zu gruppieren

Beispiele

- ▶ `192`, `0b11000000`, `0xC0`, `0600` sind alle gleich
- ▶ `20_000L`, `0xABFF_0078L`
- ▶ `09`, `0xFF` sind ungültig

Primitive Datentypen – Ganze Zahlen

Achtung: `Java` warnt nicht vor Überlauf/Unterlauf!!!

Beispiel:

```
1 int x = 2147483647; // groesstes int
2 x = x + 1;
3 write(x);
```

liefert: `-2147483648`

- In realem `Java` kann man bei der Deklaration einer Variablen ihr direkt einen ersten Wert zuweisen (**Initialisierung**).
- Man kann sie sogar (statt am Anfang des Programms) erst an der Stelle deklarieren, an der man sie braucht!

Primitive Datentypen – Gleitkommazahlen

Es gibt **zwei** Sorten von Gleitkommazahlen:

<i>Typ</i>	<i>Platz</i>	<i>kleinster Wert</i>	<i>größter Wert</i>	<i>signifikante Stellen</i>
float	32	ca. $-3.4 \cdot 10^{38}$	ca. $3.4 \cdot 10^{38}$	ca. 7
double	64	ca. $-1.7 \cdot 10^{308}$	ca. $1.7 \cdot 10^{308}$	ca. 15

$$x = s \cdot m \cdot 2^e \quad \text{mit } 1 \leq m < 2$$

- ▶ Vorzeichen s : 1 bit
- ▶ reduzierte Mantisse $m - 1$: 23 bit (float), 52 bit (double)
- ▶ Exponent e : 8 bit (float), 11 bit (double)

Primitive Datentypen – Gleitkommazahlen

Literale:

- ▶ dezimale Notation.
- ▶ dezimale Exponentialschreibweise (**e**, **E** für Exponenten)
- ▶ hexadeximale Exponentialschreibweise. (Präfix **0x** oder **0X**, **p** oder **P** für Exponent, Exponent ist dezimal!!!)
- ▶ Suffix **f** oder **F** für **float**, Suffix **d** oder **D** für **double**

Beispiele

- ▶ **640.5 == 0x50.1p3f**
- ▶ **3.1415 == 314.15E-2**
- ▶ **0x1e3_dp0, 1e3d**
- ▶ **0x1e3d, 1e3_d**

In der hexadezimalen Notation, gibt der Exponent die Anzahl der **Bitpositionen** an, um die das Komma verschoben wird.

Wenn der Exponent in der hexadeximalen Notation, hexadezimal wäre, wüßten wir nicht, ob ein finales 'f' zum Exponenten gehört, oder ein **float**-Suffix sein soll.

0x1e3d ist ein **int** und keine Gleitkommazahl

1e3_d ist ungültig, da '_' nicht zwischen 2 Ziffern steht (**d** ist keine Ziffer sondern das **double**-Suffix)

Primitive Datentypen – Gleitkommazahlen

- ▶ Überlauf/Unterlauf bei Berechnungen liefert *Infinity*, bzw. *-Infinity*
- ▶ Division Null durch Null, Wurzel aus einer negativen Zahl etc. liefert *NaN*

Weitere Basistypen

<i>Typ</i>	<i>Platz</i>	<i>Werte</i>
boolean	1	true, false
char	16	all Unicode-Zeichen

Unicode ist ein Zeichensatz, der alle irgendwo auf der Welt gängigen Alphabete umfasst, also zum Beispiel:

- ▶ die Zeichen unserer Tastatur (inklusive Umlaute);
- ▶ die chinesischen Schriftzeichen;
- ▶ die ägyptischen Hieroglyphen ...

Literale:

- ▶ char-Literale schreibt man in Hochkommas: 'A', '\u00ED', ';' , '\n'.
- ▶ boolean-Literale sind true und false.

5.2 Strings

Der Datentyp `String` für Wörter ist ein Referenzdatentyp (genauer eine `Klasse` (dazu kommen wir später)).

Hier nur drei Eigenschaften:

- ▶ Literale vom Typ `String` haben die Form `"Hello World!"`;
- ▶ Man kann Wörter in Variablen vom Typ `String` abspeichern;
- ▶ Man kann Wörter mithilfe des Operators `'+'` konkatenieren.

Beispiel

```
String s0 = "";  
String s1 = "Hel";  
String s2 = "lo Wo";  
String s3 = "rld!";  
  
write(s0 + s1 + s2 + s3);  
  
...liefert: Hello World!
```

5.3 Auswertung von Ausdrücken

Funktionen in **Java** bekommen **Parameter**/Argumente als Input, und liefern als Output den Wert eines vorbestimmten Typs. Zum Beispiel könnte man eine Funktion

```
int min(int a, int b)
```

implementieren, die das Minimum ihrer Argumente zurückliefert.

Operatoren sind spezielle vordefinierte Funktionen, die in **Infix**-Notation geschrieben werden (wenn sie binär sind):

```
a + b = +(a,b)
```

Funktionen, werden hier nur eingeführt, weil wir sie bei der Ausdrucksauswertung benutzen möchten. Eine detaillierte Einführung erfolgt später.

5.3 Auswertung von Ausdrücken

Ein **Ausdruck** ist eine Kombination von Literalen, Operatoren, Funktionen, Variablen und Klammern, die verwendet wird, um einen Wert zu berechnen.

Beispiele: (x z.B. vom Typ `int`)

- ▶ `7 + 4`
- ▶ `3 / 5 + 3`
- ▶ `min(3,x) + 20`
- ▶ `x = 7`
- ▶ `x *= 2`

Unäre Operatoren:

<i>symbol</i>	<i>name</i>	<i>types</i>	<i>L/R</i>	<i>level</i>
++	Post-increment	(var) zahl, char	links	0
--	Post-decrement	(var) zahl, char	links	0
++	Pre-increment	(var) zahl, char	rechts	1
--	Pre-decrement	(var) zahl, char	rechts	1
+	unäres Minus	zahl, char	rechts	1
-	unäres Plus	zahl, char	rechts	1
!	Negation	boolean	rechts	1

Die Spalte „L/R“ beschreibt die **Assoziativität** des Operators.

Die Spalte „level“ die Priorität.

Im Folgenden sind beide Operanden jeweils vom gleichen Typ.

Prefix- und Postfixoperator

- ▶ Die Operatoranwendungen `++x` und `x++` inkrementieren beide den Wert der Variablen `x`.
- ▶ `++x` tut das, **bevor** der Wert des Ausdrucks ermittelt wird (Pre-Increment).
- ▶ `x++` tut das, **nachdem** der Wert ermittelt wurde (Post-Increment).
- ▶ `b = x++;` entspricht:

```
b = x;  
x = x + 1;
```

- ▶ `b = ++x;` entspricht:

```
x = x + 1;  
b = x;
```

Die Entsprechung gilt z.B. für `ints`. Für `shorts` müßte es heißen:

```
b = x;  
x = (short) (x + 1);
```

da `x = x + 1` nicht kompiliert wenn `x` ein `short` ist.

`(short)` ist hier ein `Typcast`-Operator, den wir später kennenlernen.

Operatoren

Binäre arithmetische Operatoren:

byte, short, char werden nach int konvertiert

<i>symbol</i>	<i>name</i>	<i>types</i>	<i>L/R</i>	<i>level</i>
*	Multiplikation	zahl	links	3
/	Division	zahl	links	3
%	Modulo	zahl	links	3
+	Addition	zahl	links	4
-	Subtraktion	zahl	links	4

Konkatenation

<i>symbol</i>	<i>name</i>	<i>types</i>	<i>L/R</i>	<i>level</i>
+	Konkatenation	string	links	4

Vergleichsoperatoren:

<i>symbol</i>	<i>name</i>	<i>types</i>	<i>L/R</i>	<i>level</i>
>	größer	zahl, char	links?	6
>=	größergleich	zahl, char	links?	6
<	kleiner	zahl, char	links?	6
<=	kleinergleich	zahl, char	links?	6
==	gleich	primitiv	links	7
!=	ungleich	primitiv	links	7

Boolsche Operatoren:

<i>symbol</i>	<i>name</i>	<i>types</i>	<i>L/R</i>	<i>level</i>
&&	Und-Bedingung	boolean	links	11
	Oder-Bedingung	boolean	links	12

Zuweisungsoperatoren:

<i>symbol</i>	<i>name</i>	<i>types</i>	<i>L/R</i>	<i>level</i>
=	Zuweisung	var, wert	rechts	14
*=, /=, %=, +=, -=	Zuweisung	var, wert	rechts	14

Für die letzte Form gilt:

$$v \Leftarrow a \iff v = (\text{type}(v)) (v \circ a)$$

Operatoren

Ein Seiteneffekt sind Änderungen von Zuständen/Variablen, die durch die Auswertung des Ausdrucks entstehen.

Warnung:

- ▶ Eine Zuweisung $x = y$; ist in Wahrheit ein **Ausdruck**.
- ▶ Der Wert ist der Wert der rechten Seite.
- ▶ Die Modifizierung der Variablen x erfolgt als **Seiteneffekt**.
- ▶ Das Semikolon ';' hinter einem Ausdruck wirft nur den Wert weg.

Fatal für Fehler in Bedingungen:

```
boolean x = false;  
if (x = true)  
    write("Sorry! This must be an error ...");
```

In C ist diese Art des Fehlers noch wesentlich häufiger, da auch z.B. $x = 1$ (für `int x`) in der Bedingung vorkommen kann. Das Ergebnis des Ausdrucks (0) wird in den boolschen Wert `true` konvertiert. Letzteres ist in **Java** nicht möglich.

In **Java** kann man durch das ';' aus den meisten Ausdrücken eine Anweisung machen, die nur den Seiteneffekt des Ausdrucks durchführt.

5.3 Auswertung von Ausdrücken

Operatoren sind üblicherweise **überladen**, d.h. ein Symbol (+, -, ...) steht in Abhängigkeit der Parameter (Argumente) für unterschiedliche Funktionen.

+ : int → int

+ : long → long

+ : float → float

+ : double → double

+ : int × int → int

+ : long × long → long

+ : float × float → float

+ : double × double → double

+ : String × String → String

Es gibt keinen +-Operator für **short**, **byte**, **char**.

Der +-Operator für Strings macht Konkatination.

Der Compiler muss in der Lage sein **während der Compilierung** die richtige Funktion zu bestimmen.

5.3 Auswertung von Ausdrücken

Assoziativität

- ▶ Die Assoziativität entscheidet über die Reihenfolge bei Operatoren gleicher Priorität. (links = der linkeste Operator wird zuerst ausgeführt)
- ▶ Alle Operatoren einer Prioritätsgruppe haben dieselbe Assoziativität.
- ▶ Bis auf Zuweisungsoperatoren (=, +=, etc.) sind alle binären Operatoren linksassoziativ.
- ▶ unäre Operatoren, die ihr Argument rechts erwarten sind rechtsassoziativ
- ▶ unäre Operatoren, die ihr Argument links erwarten (postfix-Operatoren ++, --) sind linksassoziativ
- ▶ Der ternäre Bedingungsoperator (später) ist rechtsassoziativ

5.3 Auswertung von Ausdrücken

Die Auswertung eines Ausdrucks liefert

- ▶ eine Variable (**var**),
- ▶ einen reinen Wert (**val**) oder
- ▶ void (**void**)

In den ersten beiden Fällen hat der Ausdruck dann einen

- ▶ Typ, z.B.: **int**, und einen
- ▶ Wert, z.B.: **42**

Für z.B. Zuweisungen muss die Auswertung des Ausdrucks auf der linken Seite eine Variable ergeben!!!

5.3 Auswertung von Ausdrücken

In **Java** werden Unterausdrücke von links nach rechts ausgewertet. D.h. um den Wert einer Operation zu berechnen:

- ▶ werte (rekursiv) alle Operanden von links nach rechts aus
- ▶ führe die Operation auf den Resultaten aus

Ausnahmen: `||`, `&&`, und der ternäre Bedingungsoperator `?:`, werten nicht alle Operanden aus (**Kurzschlussauswertung**).

Man sollte nie Ausdrücke formulieren, deren Ergebnis von der Auswertungsreihenfolge abhängt!!!

Eine Kurzschlussauswertung ist natürlich ok. Dafür gibt es sehr nützliche Anwendungen.

In **C/C++**, ist die Auswertungsreihenfolge nicht definiert, d.h., sie ist compilerabhängig.

Den Bedingungsoperator lernen wir später kennen.

5.3 Auswertung von Ausdrücken

Im folgenden betrachten wir Klammern als einen Operator der nichts tut:

<i>symbol</i>	<i>name</i>	<i>types</i>	<i>L/R</i>	<i>level</i>
()	Klammerung	*	links	0

Beispiel: $2 + x * (z - d)$

Punkt geht vor Strichrechnung.

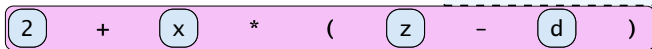
Ganzzahl-literale sind vom Typ `int`, wenn nicht z.B. ein `L` angehängt wird, um das Literal als `long` zu klassifizieren.

2 + x * (z - d)

Beispiel: $2 + x * (z - d)$

Punkt geht vor Strichrechnung.

Ganzzahl-literale sind vom Typ `int`, wenn nicht z.B. ein `L` angehängt wird, um das Literal als `long` zu klassifizieren.



Beispiel: $2 + x * (z - d)$

Punkt geht vor Strichrechnung.

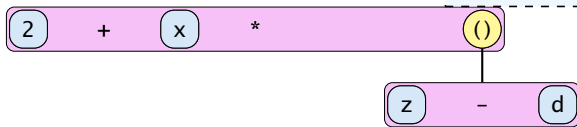
Ganzzahl-liternale sind vom Typ `int`, wenn nicht z.B. ein `L` angehängt wird, um das Literal als `long` zu klassifizieren.



Beispiel: $2 + x * (z - d)$

Punkt geht vor Strichrechnung.

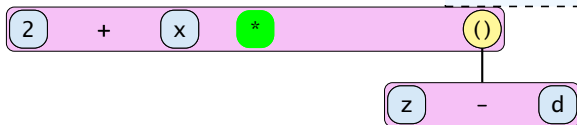
Ganzahliliterale sind vom Typ `int`, wenn nicht z.B. ein `L` angehängt wird, um das Literal als `long` zu klassifizieren.



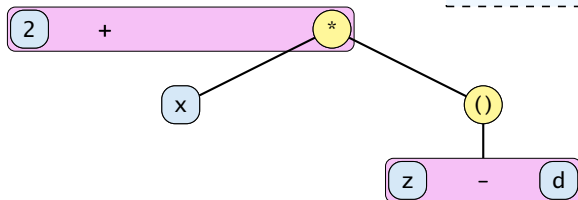
Beispiel: $2 + x * (z - d)$

Punkt geht vor Strichrechnung.

Ganzahliliterale sind vom Typ `int`, wenn nicht z.B. ein `L` angehängt wird, um das Literal als `long` zu klassifizieren.



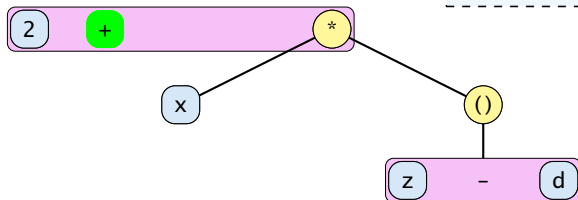
Beispiel: $2 + x * (z - d)$



Punkt geht vor Strichrechnung.

Ganzahliliterale sind vom Typ `int`, wenn nicht z.B. ein `L` angehängt wird, um das Literal als `long` zu klassifizieren.

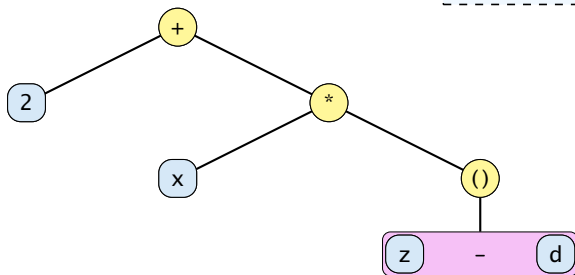
Beispiel: $2 + x * (z - d)$



Punkt geht vor Strichrechnung.

Ganzzahl-literale sind vom Typ `int`, wenn nicht z.B. ein `L` angehängt wird, um das Literal als `long` zu klassifizieren.

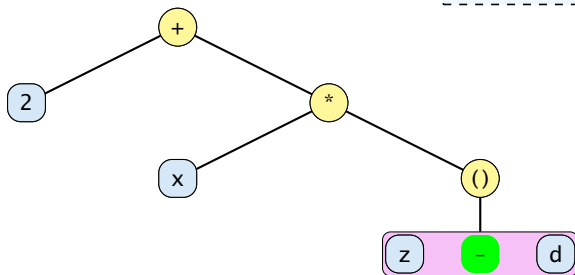
Beispiel: $2 + x * (z - d)$



Punkt geht vor Strichrechnung.

Ganzzahl-literale sind vom Typ `int`, wenn nicht z.B. ein `L` angehängt wird, um das Literal als `long` zu klassifizieren.

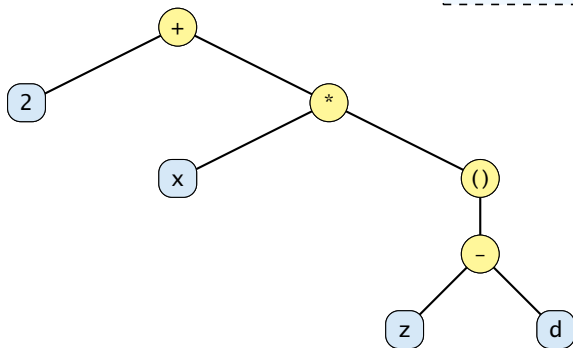
Beispiel: $2 + x * (z - d)$



Punkt geht vor Strichrechnung.

Ganzzahl-literale sind vom Typ `int`, wenn nicht z.B. ein `L` angehängt wird, um das Literal als `long` zu klassifizieren.

Beispiel: $2 + x * (z - d)$



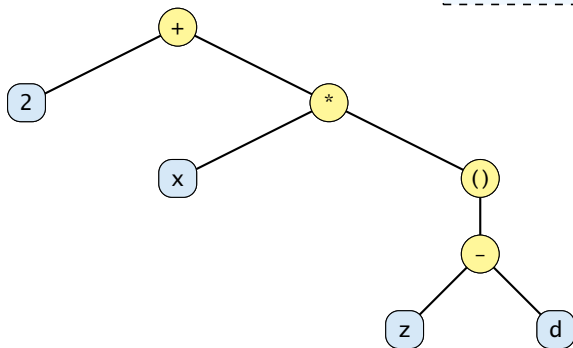
Punkt geht vor Strichrechnung.

Ganzzahl-literale sind vom Typ `int`, wenn nicht z.B. ein `L` angehängt wird, um das Literal als `long` zu klassifizieren.

Beispiel: $2 + x * (z - d)$

Punkt geht vor Strichrechnung.

Ganzahliliterale sind vom Typ `int`, wenn nicht z.B. ein `L` angehängt wird, um das Literal als `long` zu klassifizieren.



x

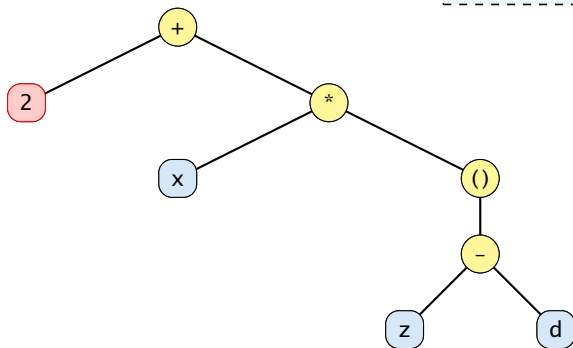
d

z

Beispiel: $2 + x * (z - d)$

Punkt geht vor Strichrechnung.

Ganzzahl-literale sind vom Typ `int`, wenn nicht z.B. ein `L` angehängt wird, um das Literal als `long` zu klassifizieren.



x

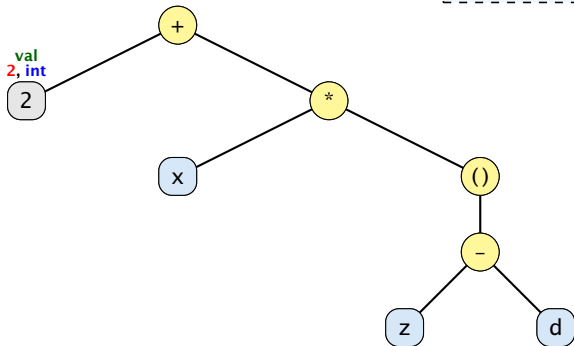
d

z

Beispiel: $2 + x * (z - d)$

Punkt geht vor Strichrechnung.

Ganzahliliterale sind vom Typ `int`, wenn nicht z.B. ein `L` angehängt wird, um das Literal als `long` zu klassifizieren.



x

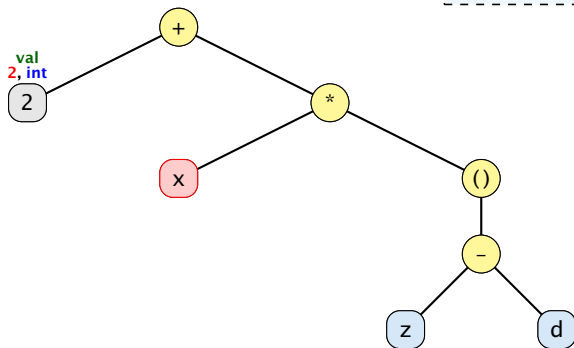
d

z

Beispiel: $2 + x * (z - d)$

Punkt geht vor Strichrechnung.

Ganzahliliterale sind vom Typ `int`, wenn nicht z.B. ein `L` angehängt wird, um das Literal als `long` zu klassifizieren.



x

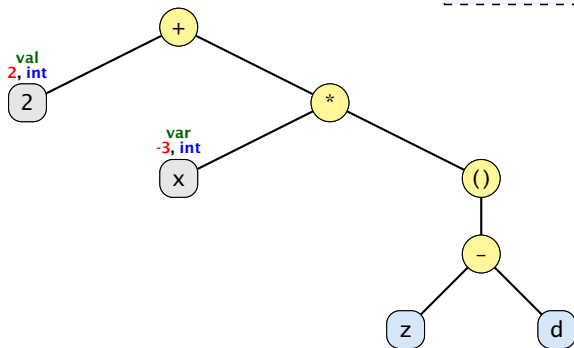
d

z

Beispiel: $2 + x * (z - d)$

Punkt geht vor Strichrechnung.

Ganzzahl-literale sind vom Typ `int`, wenn nicht z.B. ein `L` angehängt wird, um das Literal als `long` zu klassifizieren.



x

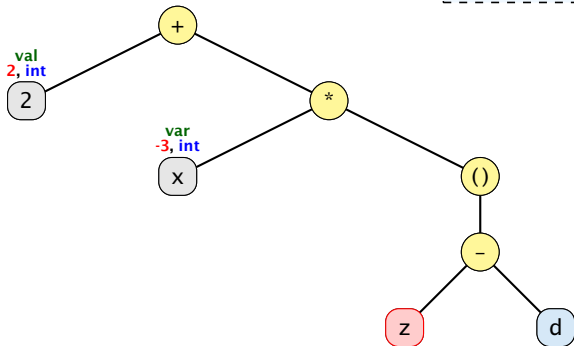
d

z

Beispiel: $2 + x * (z - d)$

Punkt geht vor Strichrechnung.

Ganzzahl-literale sind vom Typ `int`, wenn nicht z.B. ein `L` angehängt wird, um das Literal als `long` zu klassifizieren.



x

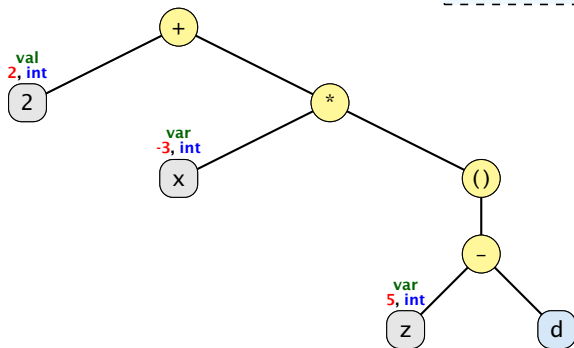
d

z

Beispiel: $2 + x * (z - d)$

Punkt geht vor Strichrechnung.

Ganzahliliterale sind vom Typ `int`, wenn nicht z.B. ein `L` angehängt wird, um das Literal als `long` zu klassifizieren.



x

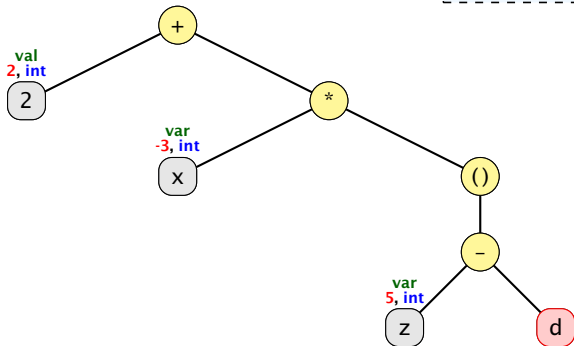
d

z

Beispiel: $2 + x * (z - d)$

Punkt geht vor Strichrechnung.

Ganzahliliterale sind vom Typ `int`, wenn nicht z.B. ein `L` angehängt wird, um das Literal als `long` zu klassifizieren.



x

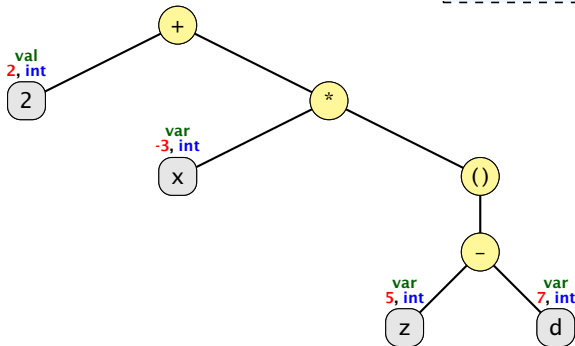
d

z

Beispiel: $2 + x * (z - d)$

Punkt geht vor Strichrechnung.

Ganzahliliterale sind vom Typ `int`, wenn nicht z.B. ein `L` angehängt wird, um das Literal als `long` zu klassifizieren.



x

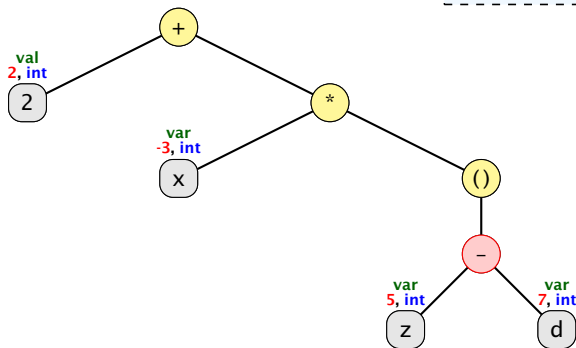
d

z

Beispiel: $2 + x * (z - d)$

Punkt geht vor Strichrechnung.

Ganzahliliterale sind vom Typ `int`, wenn nicht z.B. ein `L` angehängt wird, um das Literal als `long` zu klassifizieren.



x

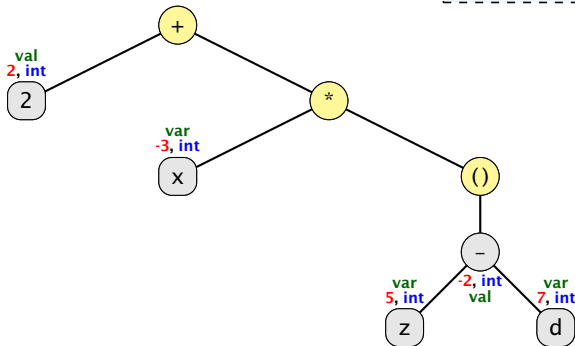
d

z

Beispiel: $2 + x * (z - d)$

Punkt geht vor Strichrechnung.

Ganzahliliterale sind vom Typ `int`, wenn nicht z.B. ein `L` angehängt wird, um das Literal als `long` zu klassifizieren.



x

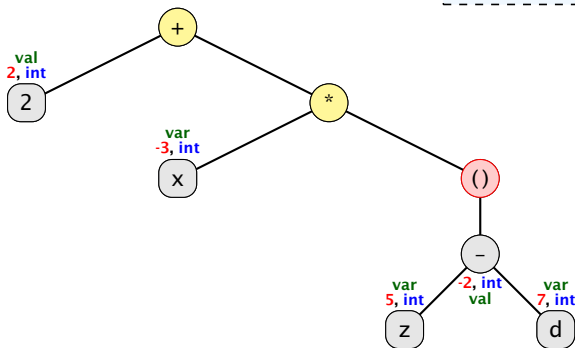
d

z

Beispiel: $2 + x * (z - d)$

Punkt geht vor Strichrechnung.

Ganzzahl-literale sind vom Typ `int`, wenn nicht z.B. ein `L` angehängt wird, um das Literal als `long` zu klassifizieren.



x

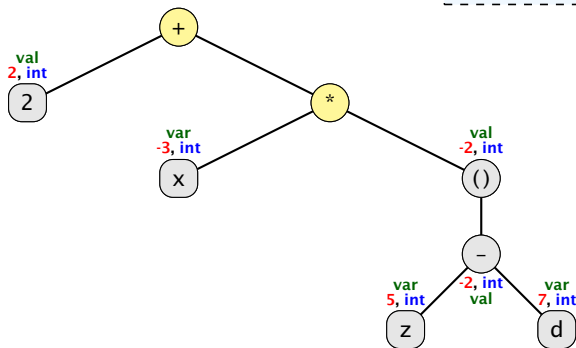
d

z

Beispiel: $2 + x * (z - d)$

Punkt geht vor Strichrechnung.

Ganzahliliterale sind vom Typ `int`, wenn nicht z.B. ein `L` angehängt wird, um das Literal als `long` zu klassifizieren.



x

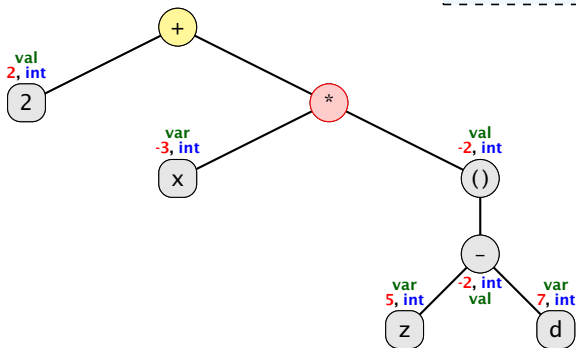
d

z

Beispiel: $2 + x * (z - d)$

Punkt geht vor Strichrechnung.

Ganzahliliterale sind vom Typ `int`, wenn nicht z.B. ein `L` angehängt wird, um das Literal als `long` zu klassifizieren.



x

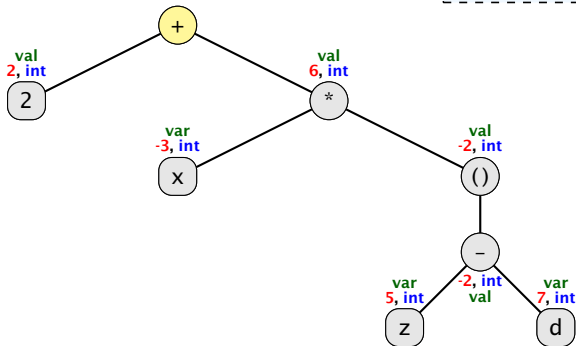
d

z

Beispiel: $2 + x * (z - d)$

Punkt geht vor Strichrechnung.

Ganzahliliterale sind vom Typ `int`, wenn nicht z.B. ein `L` angehängt wird, um das Literal als `long` zu klassifizieren.



x

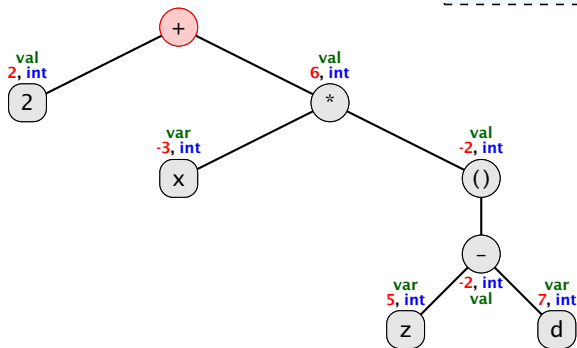
d

z

Beispiel: $2 + x * (z - d)$

Punkt geht vor Strichrechnung.

Ganzahliliterale sind vom Typ `int`, wenn nicht z.B. ein `L` angehängt wird, um das Literal als `long` zu klassifizieren.



x

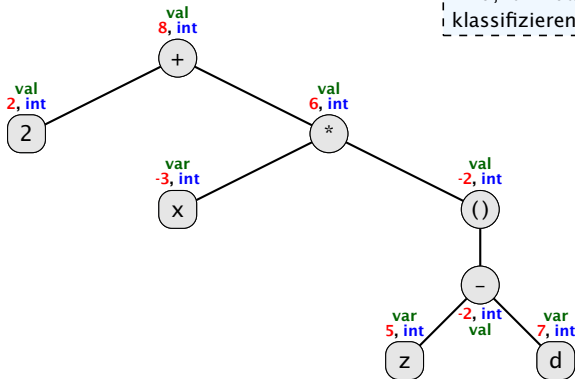
d

z

Beispiel: $2 + x * (z - d)$

Punkt geht vor Strichrechnung.

Ganzahliliterale sind vom Typ `int`, wenn nicht z.B. ein `L` angehängt wird, um das Literal als `long` zu klassifizieren.



x

d

z

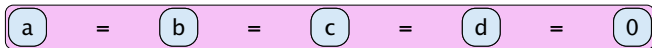
Beispiel: $a = b = c = d = 0$

Das funktioniert nur, da der Zuweisungsoperator rechtsassoziativ ist.

a = b = c = d = 0

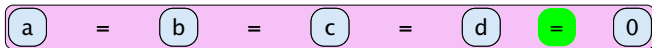
Beispiel: $a = b = c = d = 0$

Das funktioniert nur, da der Zuweisungsoperator rechtsassoziativ ist.



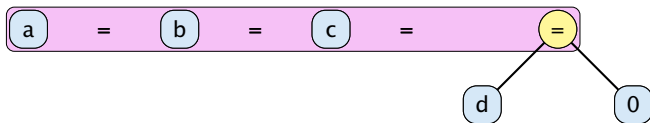
Beispiel: $a = b = c = d = 0$

Das funktioniert nur, da der Zuweisungsoperator rechtsassoziativ ist.



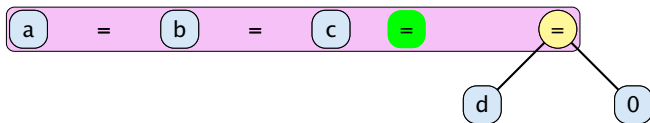
Beispiel: $a = b = c = d = 0$

Das funktioniert nur, da der Zuweisungsoperator rechtsassoziativ ist.



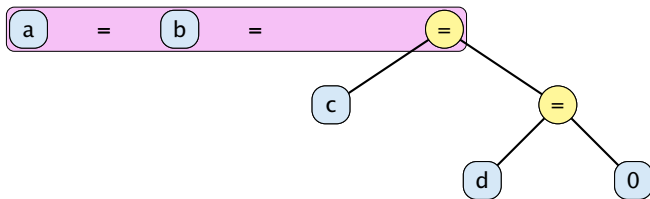
Beispiel: $a = b = c = d = 0$

Das funktioniert nur, da der Zuweisungsoperator rechtsassoziativ ist.



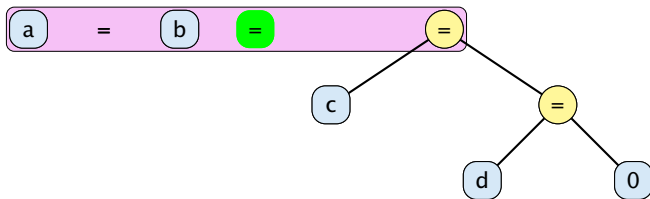
Beispiel: $a = b = c = d = 0$

Das funktioniert nur, da der Zuweisungsoperator rechtsassoziativ ist.



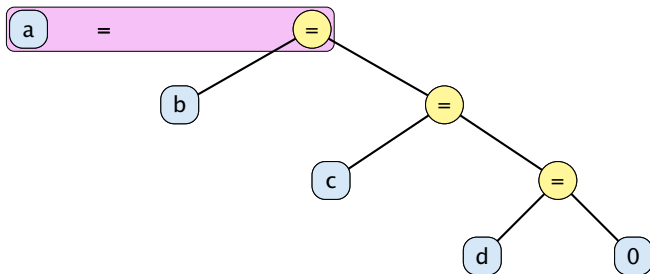
Beispiel: $a = b = c = d = 0$

Das funktioniert nur, da der Zuweisungsoperator rechtsassoziativ ist.



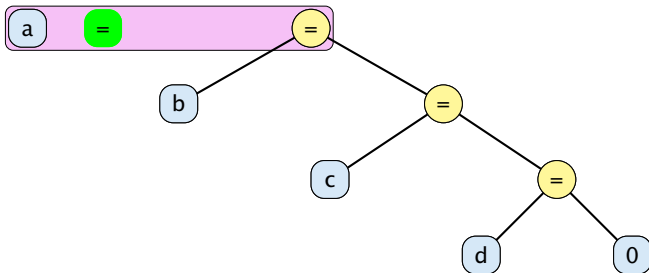
Beispiel: $a = b = c = d = 0$

Das funktioniert nur, da der Zuweisungsoperator rechtsassoziativ ist.



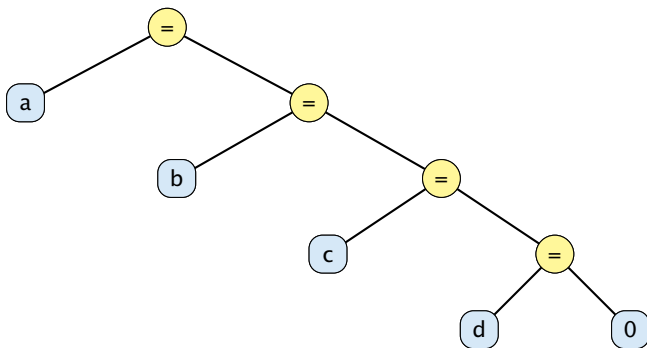
Beispiel: $a = b = c = d = 0$

Das funktioniert nur, da der Zuweisungsoperator rechtsassoziativ ist.



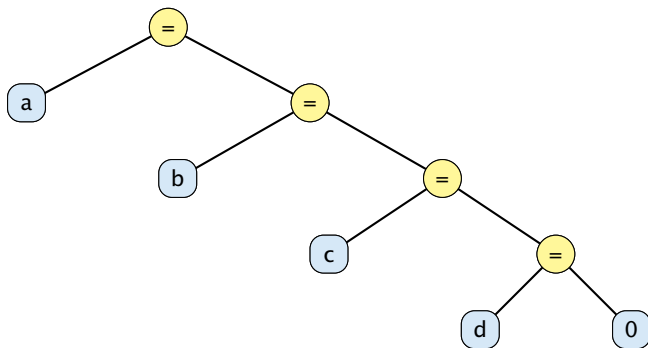
Beispiel: $a = b = c = d = 0$

Das funktioniert nur, da der Zuweisungsoperator rechtsassoziativ ist.



Beispiel: $a = b = c = d = 0$

Das funktioniert nur, da der Zuweisungsoperator rechtsassoziativ ist.



a [-3]

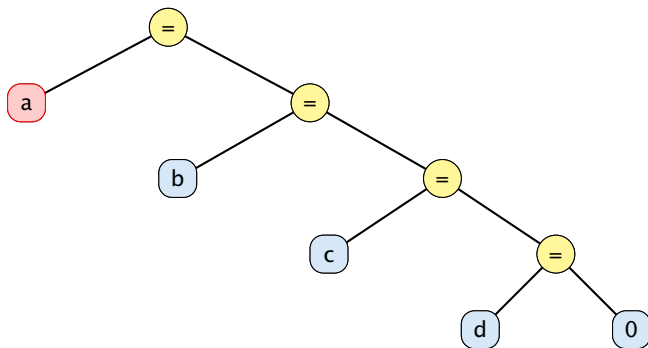
b [7]

c [5]

d [2]

Beispiel: $a = b = c = d = 0$

Das funktioniert nur, da der Zuweisungsoperator rechtsassoziativ ist.



a [-3]

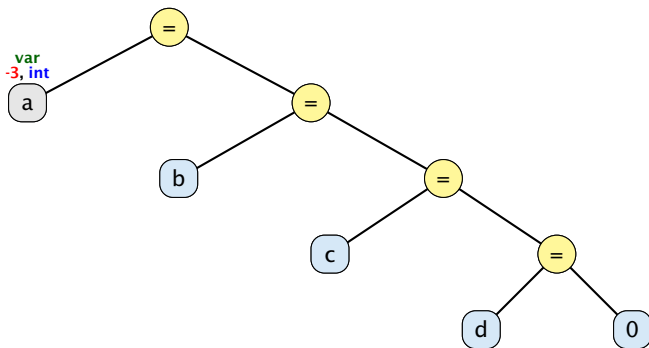
b [7]

c [5]

d [2]

Beispiel: $a = b = c = d = 0$

Das funktioniert nur, da der Zuweisungsoperator rechtsassoziativ ist.



a [-3]

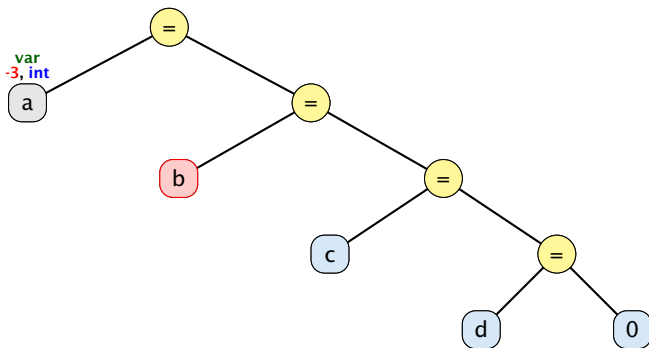
b [7]

c [5]

d [2]

Beispiel: $a = b = c = d = 0$

Das funktioniert nur, da der Zuweisungsoperator rechtsassoziativ ist.



a [-3]

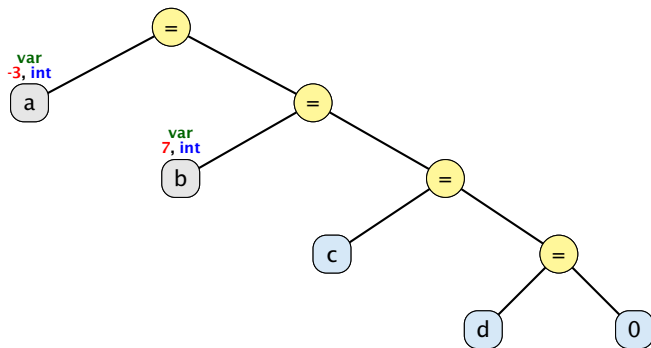
b [7]

c [5]

d [2]

Beispiel: $a = b = c = d = 0$

Das funktioniert nur, da der Zuweisungsoperator rechtsassoziativ ist.



`a`

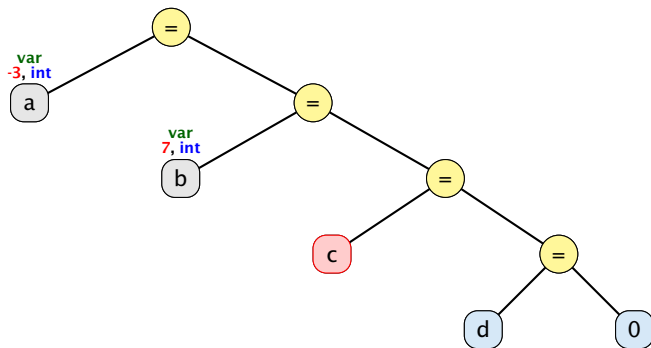
`b`

`c`

`d`

Beispiel: $a = b = c = d = 0$

Das funktioniert nur, da der Zuweisungsoperator rechtsassoziativ ist.



a [-3]

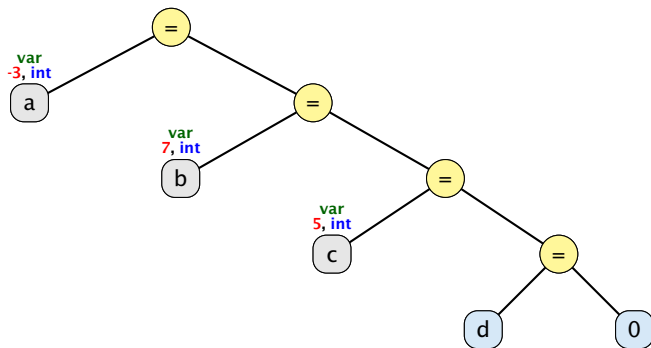
b [7]

c [5]

d [2]

Beispiel: $a = b = c = d = 0$

Das funktioniert nur, da der Zuweisungsoperator rechtsassoziativ ist.



`a`

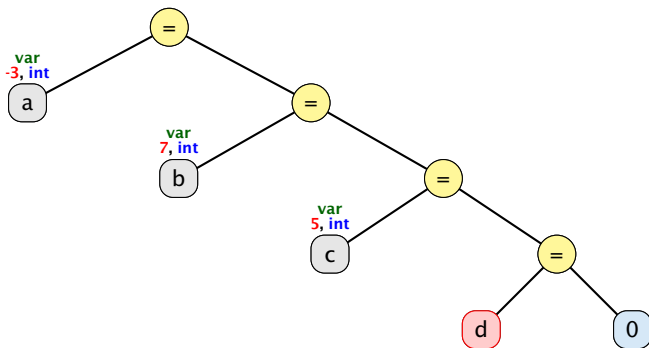
`b`

`c`

`d`

Beispiel: $a = b = c = d = 0$

Das funktioniert nur, da der Zuweisungsoperator rechtsassoziativ ist.



a [-3]

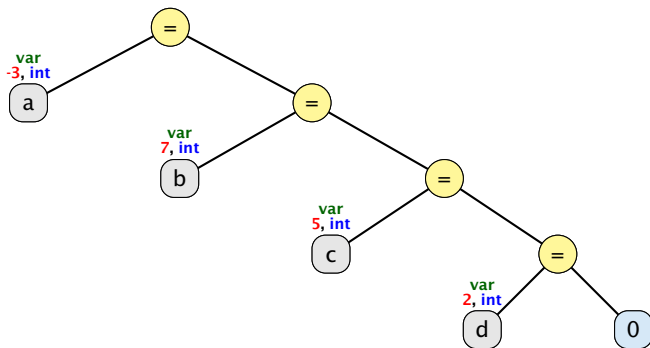
b [7]

c [5]

d [2]

Beispiel: $a = b = c = d = 0$

Das funktioniert nur, da der Zuweisungsoperator rechtsassoziativ ist.



`a` `-3`

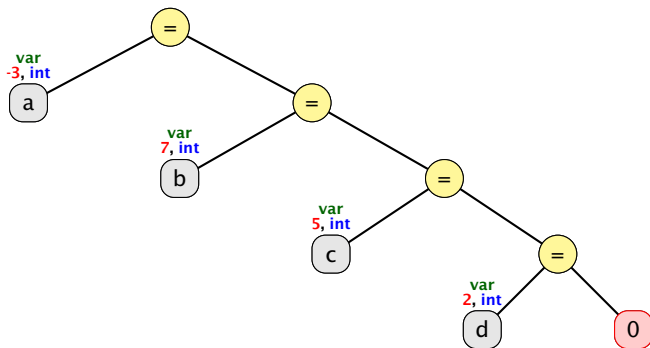
`b` `7`

`c` `5`

`d` `2`

Beispiel: $a = b = c = d = 0$

Das funktioniert nur, da der Zuweisungsoperator rechtsassoziativ ist.



a [-3]

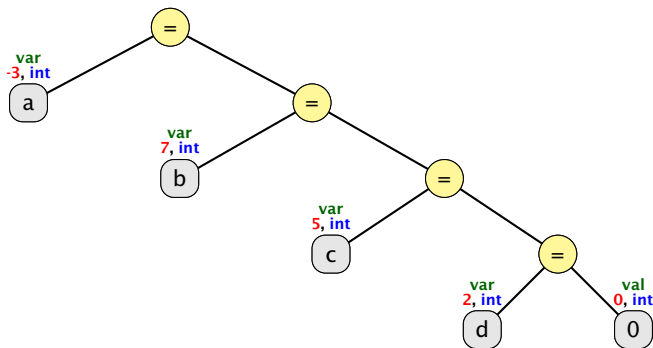
b [7]

c [5]

d [2]

Beispiel: $a = b = c = d = 0$

Das funktioniert nur, da der Zuweisungsoperator rechtsassoziativ ist.



`a`

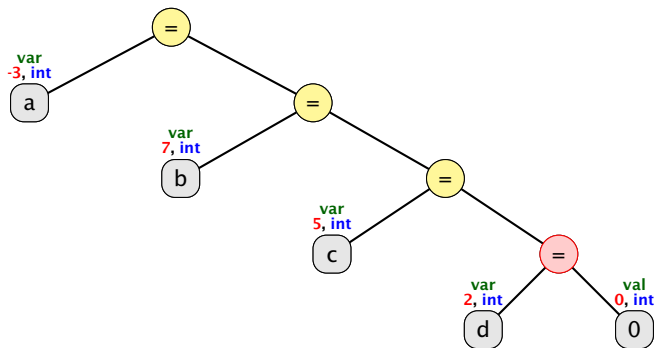
`b`

`c`

`d`

Beispiel: $a = b = c = d = 0$

Das funktioniert nur, da der Zuweisungsoperator rechtsassoziativ ist.



a [-3]

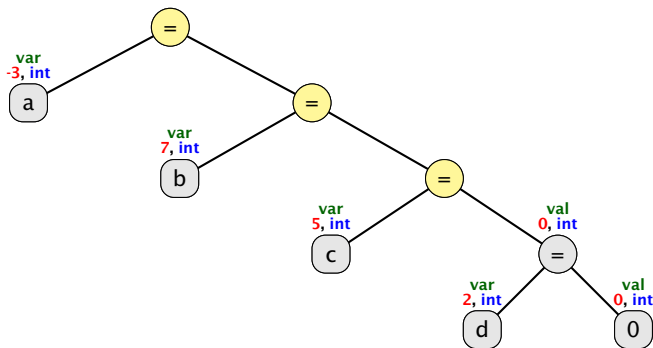
b [7]

c [5]

d [2]

Beispiel: $a = b = c = d = 0$

Das funktioniert nur, da der Zuweisungsoperator rechtsassoziativ ist.



a [-3]

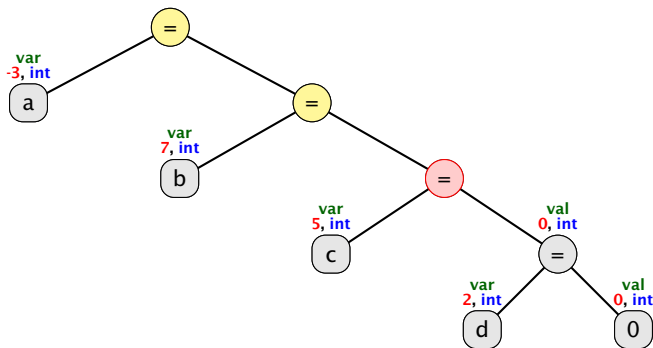
b [7]

c [5]

d [0]

Beispiel: $a = b = c = d = 0$

Das funktioniert nur, da der Zuweisungsoperator rechtsassoziativ ist.



a [-3]

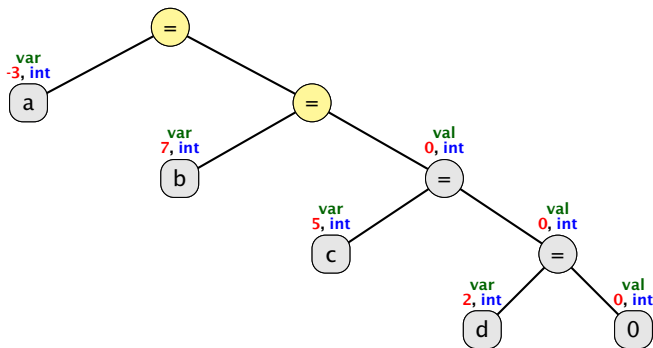
b [7]

c [5]

d [0]

Beispiel: $a = b = c = d = 0$

Das funktioniert nur, da der Zuweisungsoperator rechtsassoziativ ist.



a [-3]

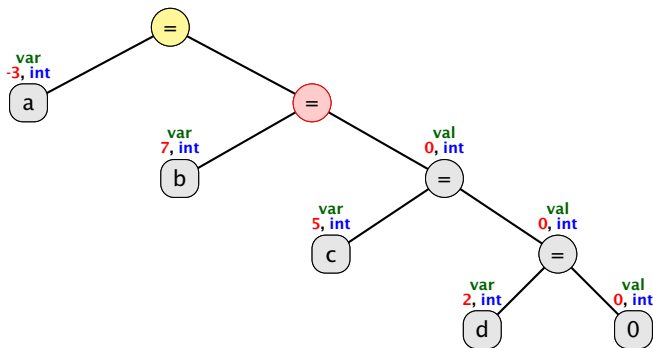
b [7]

c [0]

d [0]

Beispiel: $a = b = c = d = 0$

Das funktioniert nur, da der Zuweisungsoperator rechtsassoziativ ist.



a

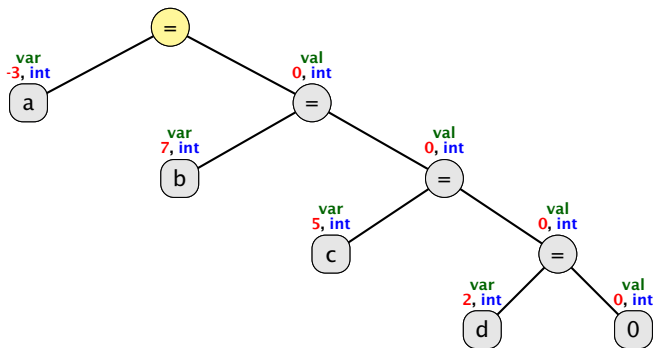
b

c

d

Beispiel: $a = b = c = d = 0$

Das funktioniert nur, da der Zuweisungsoperator rechtsassoziativ ist.



a [-3]

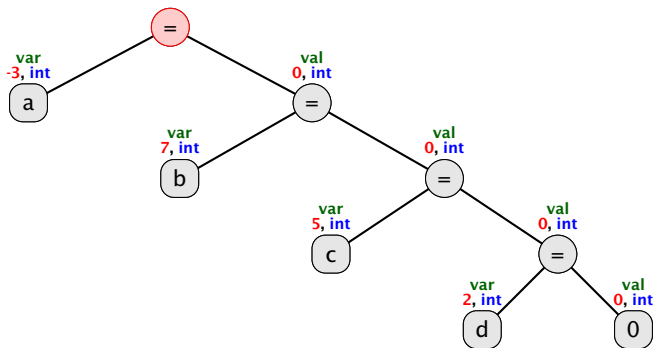
b [0]

c [0]

d [0]

Beispiel: $a = b = c = d = 0$

Das funktioniert nur, da der Zuweisungsoperator rechtsassoziativ ist.



a [-3]

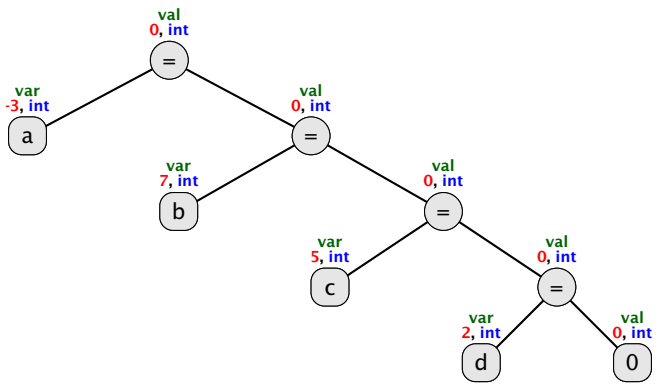
b [0]

c [0]

d [0]

Beispiel: $a = b = c = d = 0$

Das funktioniert nur, da der Zuweisungsoperator rechtsassoziativ ist.



Beispiel: a != 0 && b/a < 10

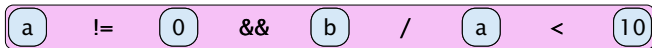
Die vollständige Auswertung der Operanden würde hier zu einem Laufzeitfehler führen (Division durch Null).
Mit Kurzschlussauswertung ist alles ok.

a != 0 && b / a < 10

Beispiel: $a \neq 0 \ \&\& \ b/a < 10$

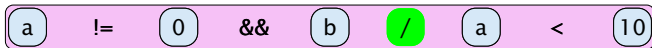
Die vollständige Auswertung der Operanden würde hier zu einem Laufzeitfehler führen (Division durch Null).

Mit Kurzschlussauswertung ist alles ok.



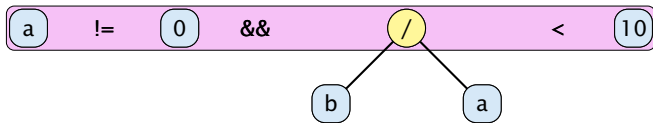
Beispiel: $a \neq 0 \ \&\& \ b/a < 10$

Die vollständige Auswertung der Operanden würde hier zu einem Laufzeitfehler führen (Division durch Null).
Mit Kurzschlussauswertung ist alles ok.



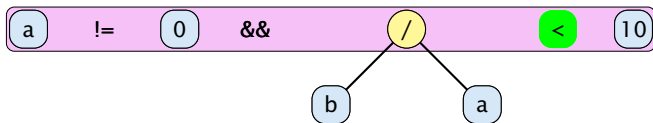
Beispiel: $a \neq 0 \ \&\& \ b/a < 10$

Die vollständige Auswertung der Operanden würde hier zu einem Laufzeitfehler führen (Division durch Null).
Mit Kurzschlussauswertung ist alles ok.



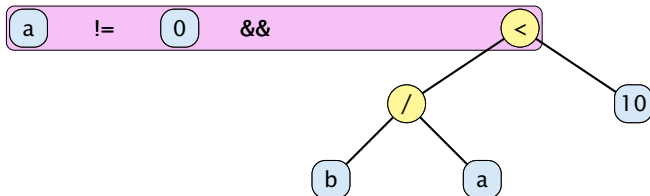
Beispiel: $a \neq 0 \ \&\& \ b/a < 10$

Die vollständige Auswertung der Operanden würde hier zu einem Laufzeitfehler führen (Division durch Null).
Mit Kurzschlussauswertung ist alles ok.



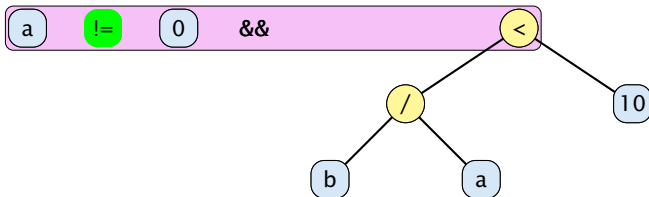
Beispiel: $a \neq 0 \ \&\& \ b/a < 10$

Die vollständige Auswertung der Operanden würde hier zu einem Laufzeitfehler führen (Division durch Null).
Mit Kurzschlussauswertung ist alles ok.



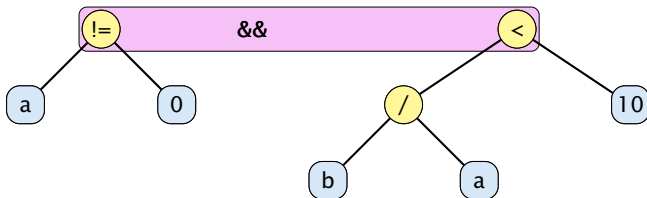
Beispiel: $a \neq 0 \ \&\& \ b/a < 10$

Die vollständige Auswertung der Operanden würde hier zu einem Laufzeitfehler führen (Division durch Null).
Mit Kurzschlussauswertung ist alles ok.



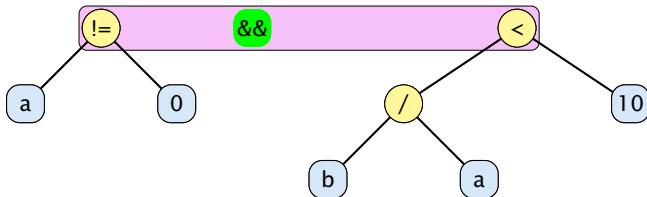
Beispiel: $a \neq 0 \ \&\& \ b/a < 10$

Die vollständige Auswertung der Operanden würde hier zu einem Laufzeitfehler führen (Division durch Null).
Mit Kurzschlussauswertung ist alles ok.



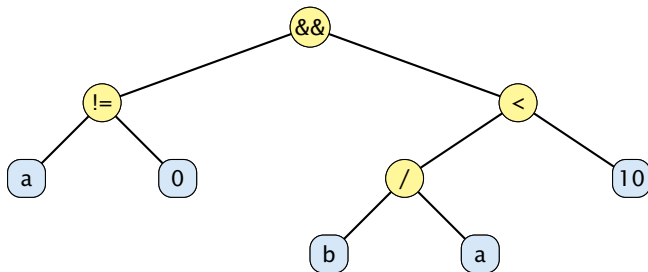
Beispiel: $a \neq 0 \ \&\& \ b/a < 10$

Die vollständige Auswertung der Operanden würde hier zu einem Laufzeitfehler führen (Division durch Null).
Mit Kurzschlussauswertung ist alles ok.



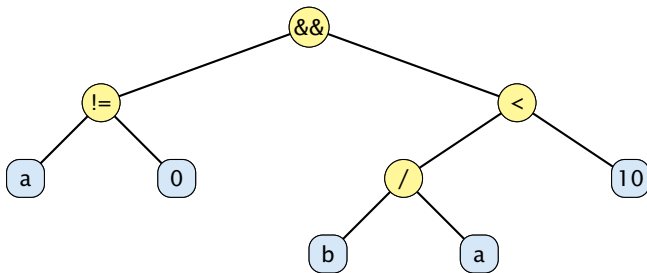
Beispiel: $a \neq 0 \ \&\& \ b/a < 10$

Die vollständige Auswertung der Operanden würde hier zu einem Laufzeitfehler führen (Division durch Null).
Mit Kurzschlussauswertung ist alles ok.



Beispiel: $a \neq 0 \ \&\& \ b/a < 10$

Die vollständige Auswertung der Operanden würde hier zu einem Laufzeitfehler führen (Division durch Null).
Mit Kurzschlussauswertung ist alles ok.

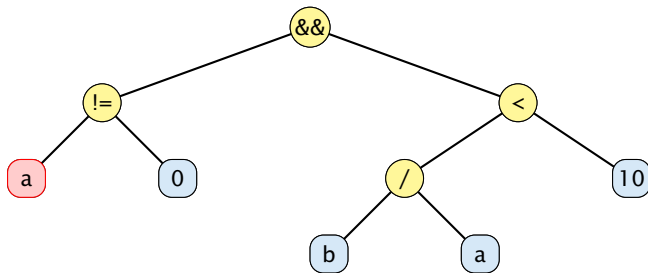


a

b

Beispiel: $a \neq 0 \ \&\& \ b/a < 10$

Die vollständige Auswertung der Operanden würde hier zu einem Laufzeitfehler führen (Division durch Null).
Mit Kurzschlussauswertung ist alles ok.

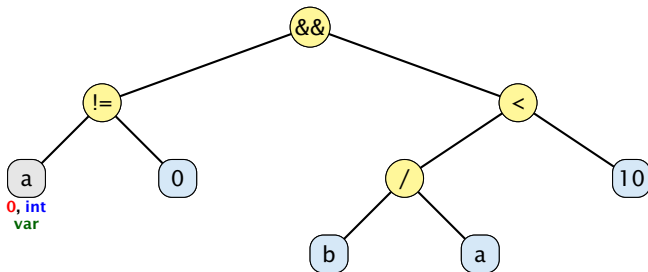


a

b

Beispiel: $a \neq 0 \ \&\& \ b/a < 10$

Die vollständige Auswertung der Operanden würde hier zu einem Laufzeitfehler führen (Division durch Null).
Mit Kurzschlussauswertung ist alles ok.

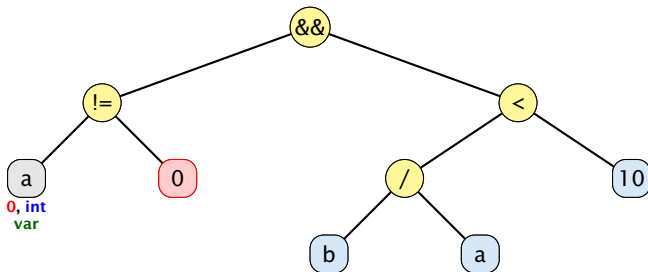


a 0

b 4

Beispiel: $a \neq 0 \ \&\& \ b/a < 10$

Die vollständige Auswertung der Operanden würde hier zu einem Laufzeitfehler führen (Division durch Null).
Mit Kurzschlussauswertung ist alles ok.

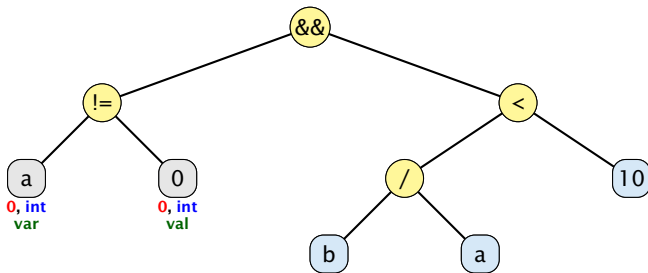


a 0

b 4

Beispiel: $a \neq 0 \ \&\& \ b/a < 10$

Die vollständige Auswertung der Operanden würde hier zu einem Laufzeitfehler führen (Division durch Null).
Mit Kurzschlussauswertung ist alles ok.

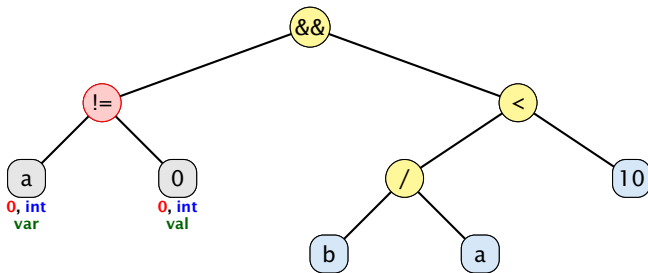


a 0

b 4

Beispiel: $a \neq 0 \ \&\& \ b/a < 10$

Die vollständige Auswertung der Operanden würde hier zu einem Laufzeitfehler führen (Division durch Null).
Mit Kurzschlussauswertung ist alles ok.

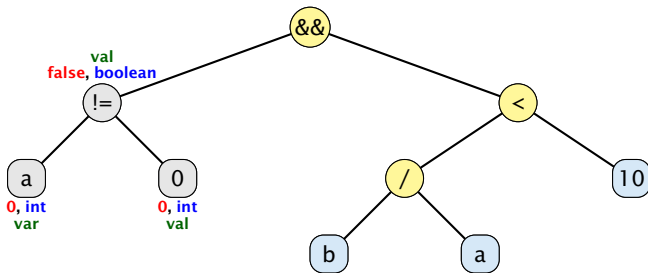


a 0

b 4

Beispiel: $a \neq 0 \ \&\& \ b/a < 10$

Die vollständige Auswertung der Operanden würde hier zu einem Laufzeitfehler führen (Division durch Null).
Mit Kurzschlussauswertung ist alles ok.

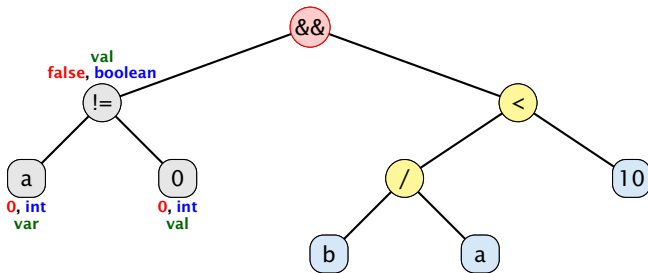


a

b

Beispiel: $a \neq 0 \ \&\& \ b/a < 10$

Die vollständige Auswertung der Operanden würde hier zu einem Laufzeitfehler führen (Division durch Null).
Mit Kurzschlussauswertung ist alles ok.

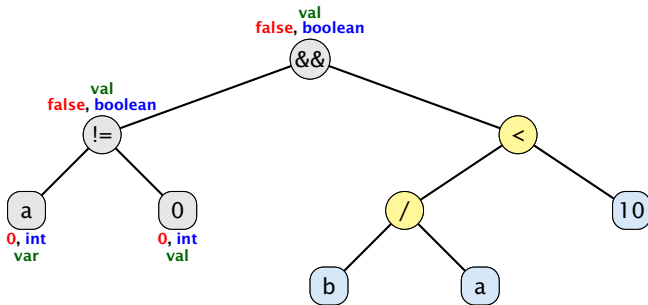


a 0

b 4

Beispiel: $a \neq 0 \ \&\& \ b/a < 10$

Die vollständige Auswertung der Operanden würde hier zu einem Laufzeitfehler führen (Division durch Null).
Mit Kurzschlussauswertung ist alles ok.

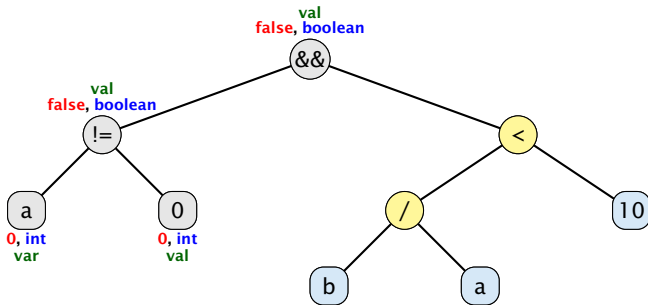


a 0

b 4

Beispiel: $a \neq 0 \ \&\& \ b/a < 10$

Die vollständige Auswertung der Operanden würde hier zu einem Laufzeitfehler führen (Division durch Null).
Mit Kurzschlussauswertung ist alles ok.



a 0

b 4

Beispiel: $y = x + ++x$

In C wäre das Resultat der Auswertung eines solchen Ausdrucks nicht definiert. Je nach Auswertungsreihenfolge könnte sich das Resultat 9 oder 10 ergeben.

$y = x + ++x$

Beispiel: $y = x + ++x$

In C wäre das Resultat der Auswertung eines solchen Ausdrucks nicht definiert. Je nach Auswertungsreihenfolge könnte sich das Resultat 9 oder 10 ergeben.

A diagram illustrating the expression $y = x + ++x$. The variables y , x , and x are each enclosed in a light blue rounded rectangular box. The equals sign, plus sign, and double plus sign are placed between these boxes. The entire expression is contained within a larger light pink rounded rectangular box.

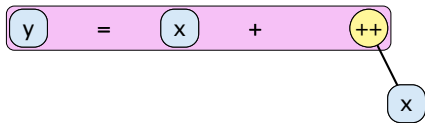
Beispiel: $y = x + ++x$

In C wäre das Resultat der Auswertung eines solchen Ausdrucks nicht definiert. Je nach Auswertungsreihenfolge könnte sich das Resultat 9 oder 10 ergeben.



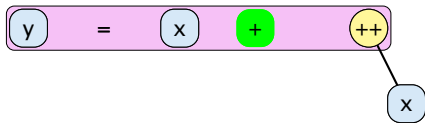
Beispiel: $y = x + ++x$

In C wäre das Resultat der Auswertung eines solchen Ausdrucks nicht definiert. Je nach Auswertungsreihenfolge könnte sich das Resultat 9 oder 10 ergeben.



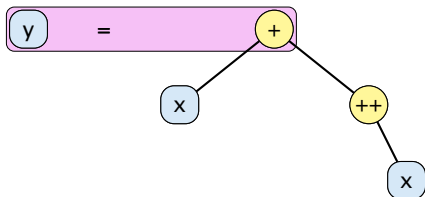
Beispiel: $y = x + ++x$

In C wäre das Resultat der Auswertung eines solchen Ausdrucks nicht definiert. Je nach Auswertungsreihenfolge könnte sich das Resultat 9 oder 10 ergeben.



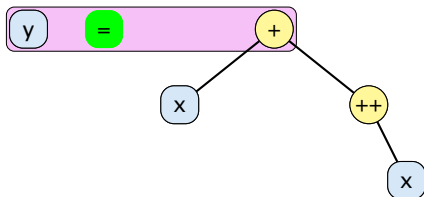
Beispiel: $y = x + ++x$

In C wäre das Resultat der Auswertung eines solchen Ausdrucks nicht definiert. Je nach Auswertungsreihenfolge könnte sich das Resultat 9 oder 10 ergeben.



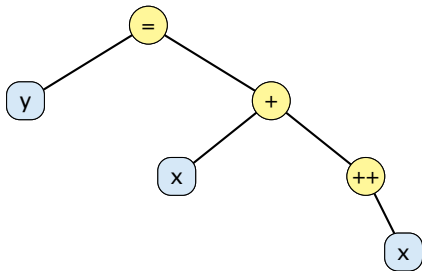
Beispiel: $y = x + ++x$

In C wäre das Resultat der Auswertung eines solchen Ausdrucks nicht definiert. Je nach Auswertungsreihenfolge könnte sich das Resultat 9 oder 10 ergeben.



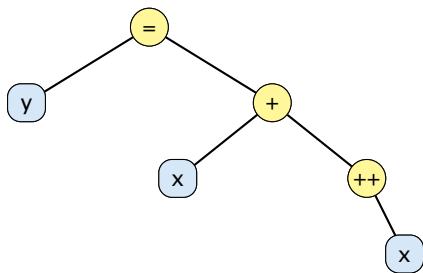
Beispiel: $y = x + ++x$

In C wäre das Resultat der Auswertung eines solchen Ausdrucks nicht definiert. Je nach Auswertungsreihenfolge könnte sich das Resultat 9 oder 10 ergeben.



Beispiel: $y = x + ++x$

In C wäre das Resultat der Auswertung eines solchen Ausdrucks nicht definiert. Je nach Auswertungsreihenfolge könnte sich das Resultat 9 oder 10 ergeben.

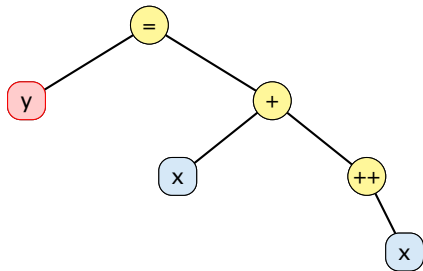


x

y

Beispiel: $y = x + ++x$

In C wäre das Resultat der Auswertung eines solchen Ausdrucks nicht definiert. Je nach Auswertungsreihenfolge könnte sich das Resultat 9 oder 10 ergeben.

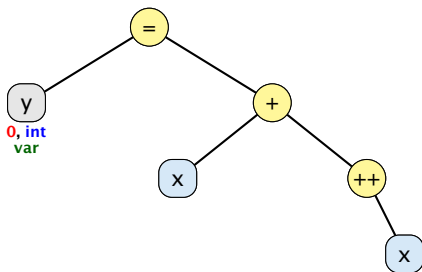


x 4

y 0

Beispiel: $y = x + ++x$

In C wäre das Resultat der Auswertung eines solchen Ausdrucks nicht definiert. Je nach Auswertungsreihenfolge könnte sich das Resultat 9 oder 10 ergeben.

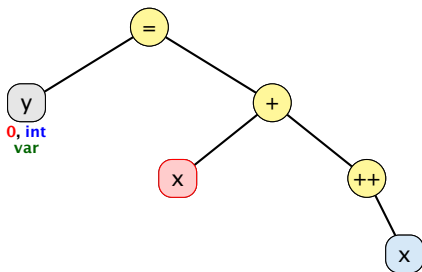


x 4

y 0

Beispiel: $y = x + ++x$

In C wäre das Resultat der Auswertung eines solchen Ausdrucks nicht definiert. Je nach Auswertungsreihenfolge könnte sich das Resultat 9 oder 10 ergeben.

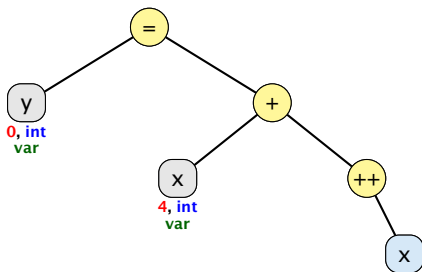


x

y

Beispiel: $y = x + ++x$

In C wäre das Resultat der Auswertung eines solchen Ausdrucks nicht definiert. Je nach Auswertungsreihenfolge könnte sich das Resultat 9 oder 10 ergeben.

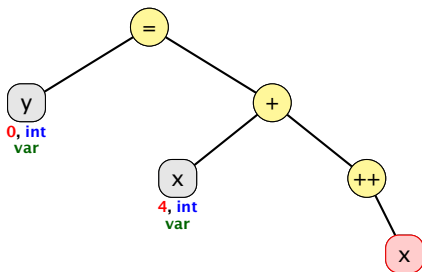


x 4

y 0

Beispiel: $y = x + ++x$

In C wäre das Resultat der Auswertung eines solchen Ausdrucks nicht definiert. Je nach Auswertungsreihenfolge könnte sich das Resultat 9 oder 10 ergeben.

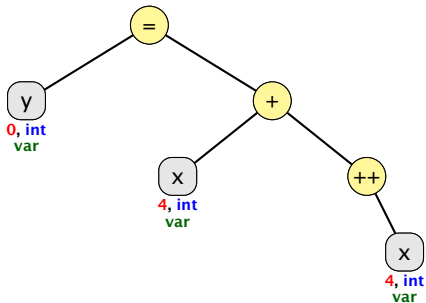


x 4

y 0

Beispiel: $y = x + ++x$

In C wäre das Resultat der Auswertung eines solchen Ausdrucks nicht definiert. Je nach Auswertungsreihenfolge könnte sich das Resultat 9 oder 10 ergeben.

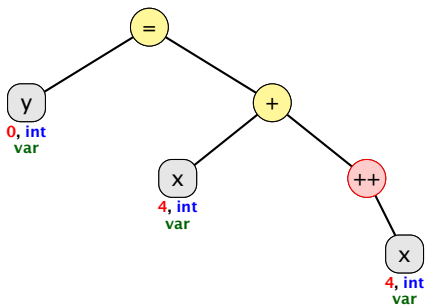


x 4

y 0

Beispiel: $y = x + ++x$

In C wäre das Resultat der Auswertung eines solchen Ausdrucks nicht definiert. Je nach Auswertungsreihenfolge könnte sich das Resultat 9 oder 10 ergeben.

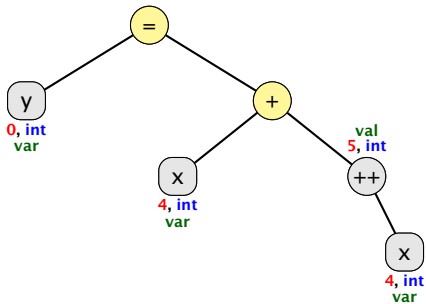


x 4

y 0

Beispiel: $y = x + ++x$

In C wäre das Resultat der Auswertung eines solchen Ausdrucks nicht definiert. Je nach Auswertungsreihenfolge könnte sich das Resultat 9 oder 10 ergeben.

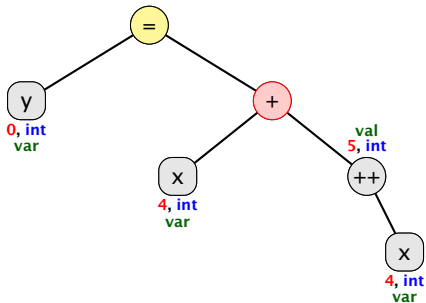


x 5

y 0

Beispiel: $y = x + ++x$

In C wäre das Resultat der Auswertung eines solchen Ausdrucks nicht definiert. Je nach Auswertungsreihenfolge könnte sich das Resultat 9 oder 10 ergeben.

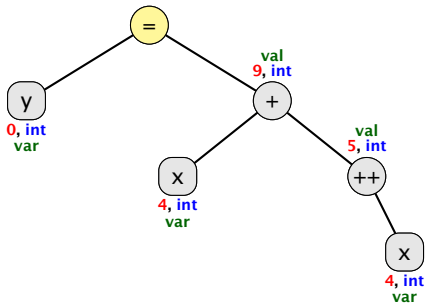


x

y

Beispiel: $y = x + ++x$

In C wäre das Resultat der Auswertung eines solchen Ausdrucks nicht definiert. Je nach Auswertungsreihenfolge könnte sich das Resultat 9 oder 10 ergeben.

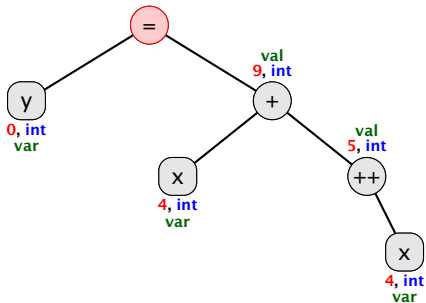


x 5

y 0

Beispiel: $y = x + ++x$

In C wäre das Resultat der Auswertung eines solchen Ausdrucks nicht definiert. Je nach Auswertungsreihenfolge könnte sich das Resultat 9 oder 10 ergeben.

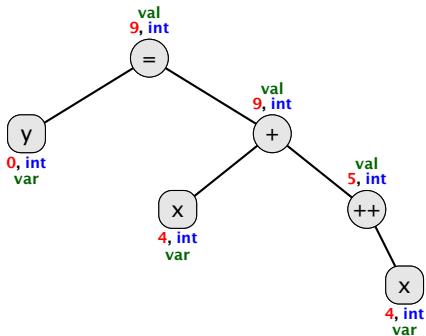


x

y

Beispiel: $y = x + ++x$

In C wäre das Resultat der Auswertung eines solchen Ausdrucks nicht definiert. Je nach Auswertungsreihenfolge könnte sich das Resultat 9 oder 10 ergeben.

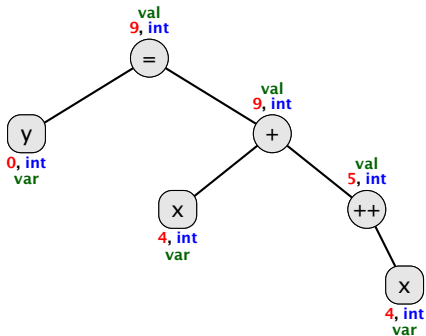


x 5

y 9

Beispiel: $y = x + ++x$

In C wäre das Resultat der Auswertung eines solchen Ausdrucks nicht definiert. Je nach Auswertungsreihenfolge könnte sich das Resultat 9 oder 10 ergeben.



x 5

y 9

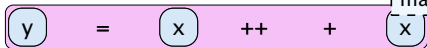
Beispiel: $y = x++ + x$

Der Postfix-Operator ändert die Variable nach dem der Wert des **Teilausdrucks** bestimmt wurde.

Wenn die Variable im Ausdruck später nochmal ausgewertet wird, bekommt man den neuen Wert.

y = x ++ + x

Beispiel: $y = x++ + x$



Der Postfix-Operator ändert die Variable nach dem der Wert des **Teilausdrucks** bestimmt wurde.

Wenn die Variable im Ausdruck später nochmal ausgewertet wird, bekommt man den neuen Wert.

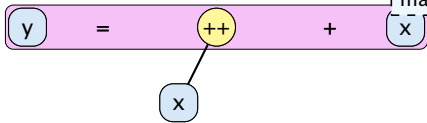
Beispiel: $y = x++ + x$



Der Postfix-Operator ändert die Variable nach dem der Wert des **Teilausdrucks** bestimmt wurde.

Wenn die Variable im Ausdruck später nochmal ausgewertet wird, bekommt man den neuen Wert.

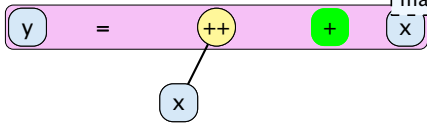
Beispiel: $y = x++ + x$



Der Postfix-Operator ändert die Variable nach dem der Wert des **Teilausdrucks** bestimmt wurde.

Wenn die Variable im Ausdruck später nochmal ausgewertet wird, bekommt man den neuen Wert.

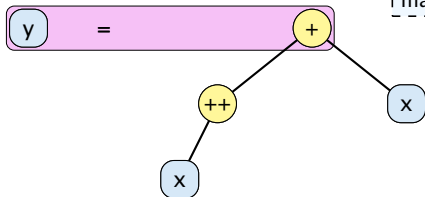
Beispiel: $y = x++ + x$



Der Postfix-Operator ändert die Variable nach dem der Wert des **Teilausdrucks** bestimmt wurde.

Wenn die Variable im Ausdruck später nochmal ausgewertet wird, bekommt man den neuen Wert.

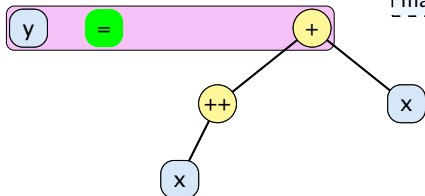
Beispiel: $y = x++ + x$



Der Postfix-Operator ändert die Variable nach dem der Wert des **Teilausdrucks** bestimmt wurde.

Wenn die Variable im Ausdruck später nochmal ausgewertet wird, bekommt man den neuen Wert.

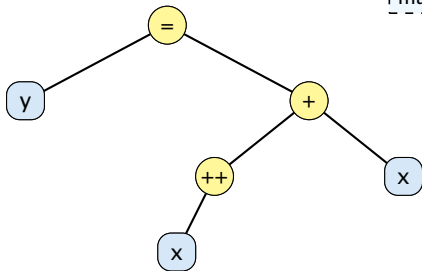
Beispiel: $y = x++ + x$



Der Postfix-Operator ändert die Variable nach dem der Wert des **Teilausdrucks** bestimmt wurde.

Wenn die Variable im Ausdruck später nochmal ausgewertet wird, bekommt man den neuen Wert.

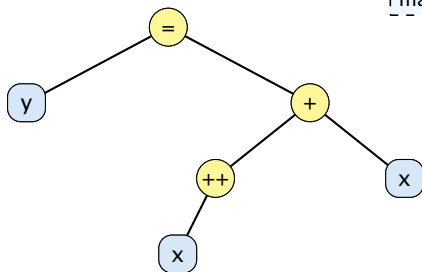
Beispiel: $y = x++ + x$



Der Postfix-Operator ändert die Variable nach dem der Wert des **Teilausdrucks** bestimmt wurde.

Wenn die Variable im Ausdruck später nochmal ausgewertet wird, bekommt man den neuen Wert.

Beispiel: $y = x++ + x$



Der Postfix-Operator ändert die Variable nach dem der Wert des **Teilausdrucks** bestimmt wurde.

Wenn die Variable im Ausdruck später nochmal ausgewertet wird, bekommt man den neuen Wert.

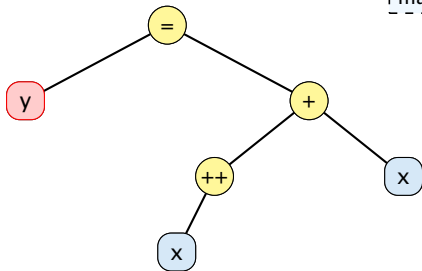
x

y

Beispiel: $y = x++ + x$

Der Postfix-Operator ändert die Variable nach dem der Wert des **Teilausdrucks** bestimmt wurde.

Wenn die Variable im Ausdruck später nochmal ausgewertet wird, bekommt man den neuen Wert.



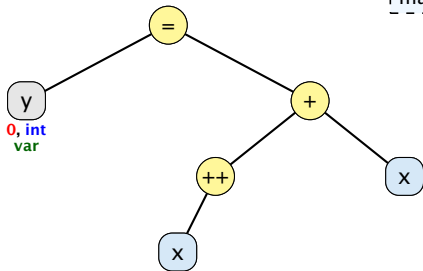
x

y

Beispiel: $y = x++ + x$

Der Postfix-Operator ändert die Variable nach dem der Wert des **Teilausdrucks** bestimmt wurde.

Wenn die Variable im Ausdruck später nochmal ausgewertet wird, bekommt man den neuen Wert.



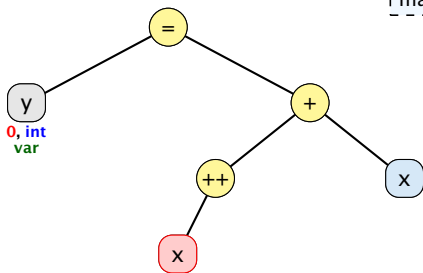
x

y

Beispiel: $y = x++ + x$

Der Postfix-Operator ändert die Variable nach dem der Wert des **Teilausdrucks** bestimmt wurde.

Wenn die Variable im Ausdruck später nochmal ausgewertet wird, bekommt man den neuen Wert.



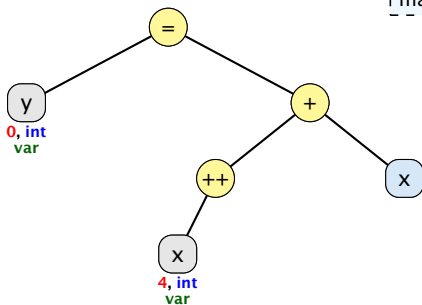
x

y

Beispiel: $y = x++ + x$

Der Postfix-Operator ändert die Variable nach dem der Wert des **Teilausdrucks** bestimmt wurde.

Wenn die Variable im Ausdruck später nochmal ausgewertet wird, bekommt man den neuen Wert.



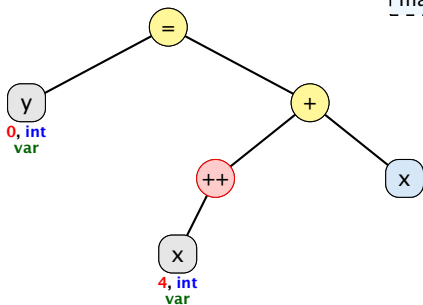
x 4

y 0

Beispiel: $y = x++ + x$

Der Postfix-Operator ändert die Variable nach dem der Wert des **Teilausdrucks** bestimmt wurde.

Wenn die Variable im Ausdruck später nochmal ausgewertet wird, bekommt man den neuen Wert.



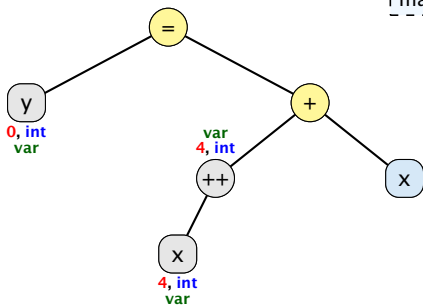
x 4

y 0

Beispiel: $y = x++ + x$

Der Postfix-Operator ändert die Variable nach dem der Wert des **Teilausdrucks** bestimmt wurde.

Wenn die Variable im Ausdruck später nochmal ausgewertet wird, bekommt man den neuen Wert.



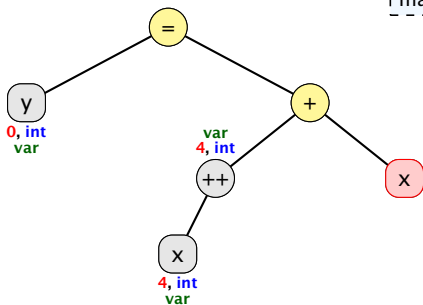
x

y

Beispiel: $y = x++ + x$

Der Postfix-Operator ändert die Variable nach dem der Wert des **Teilausdrucks** bestimmt wurde.

Wenn die Variable im Ausdruck später nochmal ausgewertet wird, bekommt man den neuen Wert.



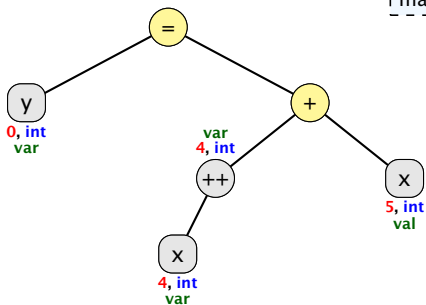
x

y

Beispiel: $y = x++ + x$

Der Postfix-Operator ändert die Variable nach dem der Wert des **Teilausdrucks** bestimmt wurde.

Wenn die Variable im Ausdruck später nochmal ausgewertet wird, bekommt man den neuen Wert.



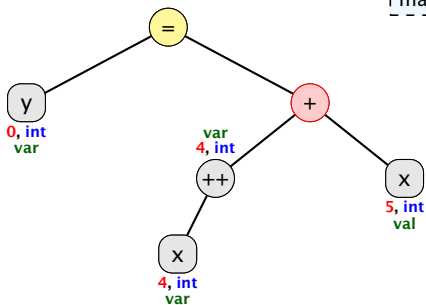
x 5

y 0

Beispiel: $y = x++ + x$

Der Postfix-Operator ändert die Variable nach dem der Wert des **Teilausdrucks** bestimmt wurde.

Wenn die Variable im Ausdruck später nochmal ausgewertet wird, bekommt man den neuen Wert.



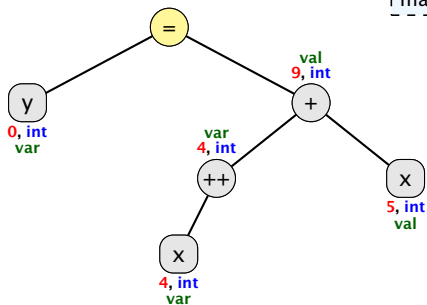
x 5

y 0

Beispiel: $y = x++ + x$

Der Postfix-Operator ändert die Variable nach dem der Wert des **Teilausdrucks** bestimmt wurde.

Wenn die Variable im Ausdruck später nochmal ausgewertet wird, bekommt man den neuen Wert.



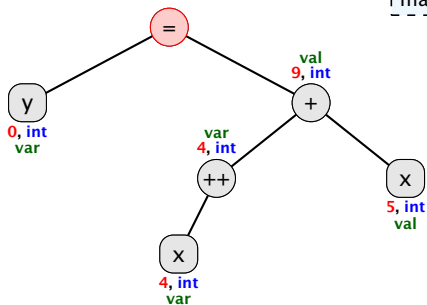
x 5

y 0

Beispiel: $y = x++ + x$

Der Postfix-Operator ändert die Variable nach dem der Wert des **Teilausdrucks** bestimmt wurde.

Wenn die Variable im Ausdruck später nochmal ausgewertet wird, bekommt man den neuen Wert.



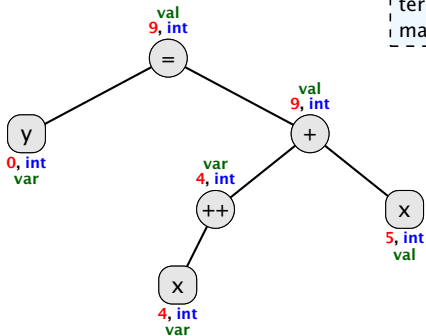
x 5

y 0

Beispiel: $y = x++ + x$

Der Postfix-Operator ändert die Variable nach dem der Wert des **Teilausdrucks** bestimmt wurde.

Wenn die Variable im Ausdruck später nochmal ausgewertet wird, bekommt man den neuen Wert.



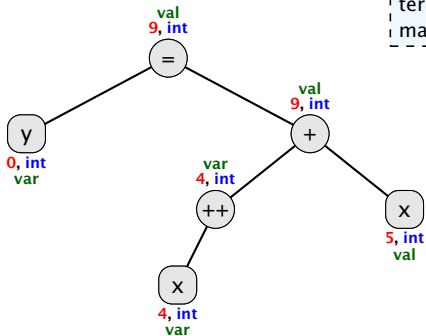
x 5

y 9

Beispiel: $y = x++ + x$

Der Postfix-Operator ändert die Variable nach dem der Wert des **Teilausdrucks** bestimmt wurde.

Wenn die Variable im Ausdruck später nochmal ausgewertet wird, bekommt man den neuen Wert.



x 5

y 9

Beispiel: $x = a[(a=b)[3]]$

Soll man das wirklich bringen.

$x = a [(a = b) [3]]$

Beispiel: $x = a[(a=b)[3]]$

Soll man das wirklich bringen.

$x = a[(a=b)[3]]$

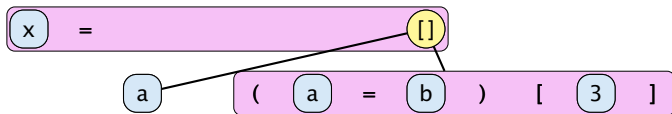
Beispiel: $x = a[(a=b)[3]]$

Soll man das wirklich bringen.

x = a [(a = b) [3]]

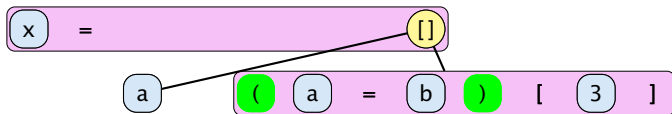
Beispiel: $x = a[(a=b)[3]]$

Soll man das wirklich bringen.



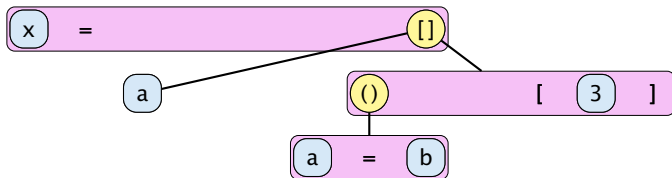
Beispiel: $x = a[(a=b)[3]]$

Soll man das wirklich bringen.



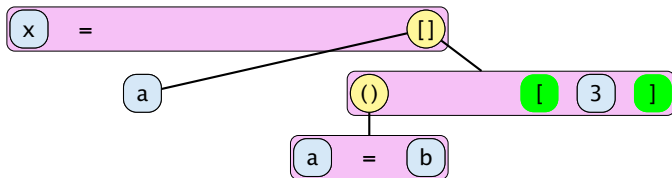
Beispiel: $x = a[(a=b)[3]]$

Soll man das wirklich bringen.



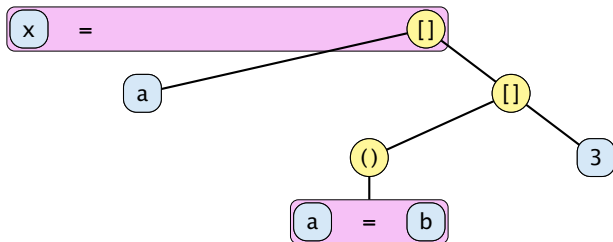
Beispiel: `x = a[(a=b)[3]]`

Soll man das wirklich bringen.



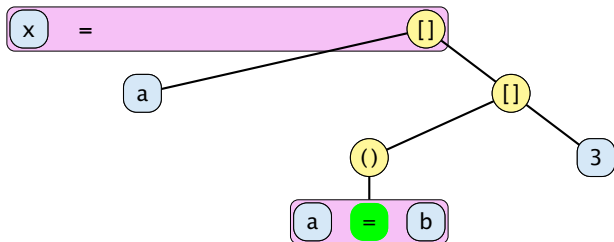
Beispiel: $x = a[(a=b)[3]]$

Soll man das wirklich bringen.



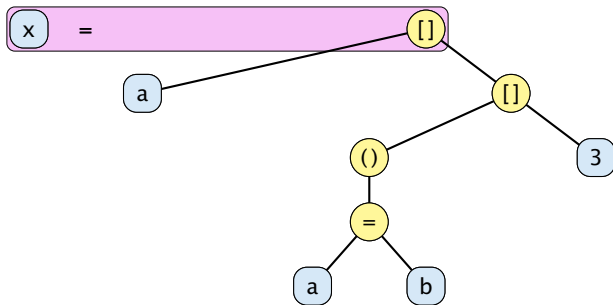
Beispiel: $x = a[(a=b)[3]]$

Soll man das wirklich bringen.



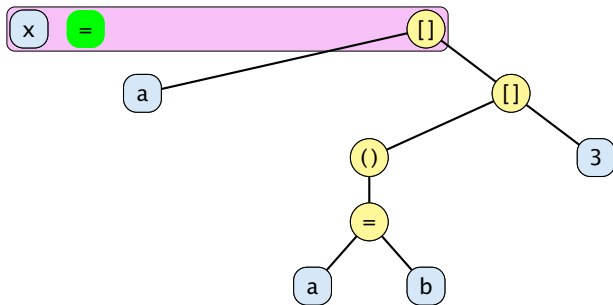
Beispiel: $x = a[(a=b)[3]]$

Soll man das wirklich bringen.



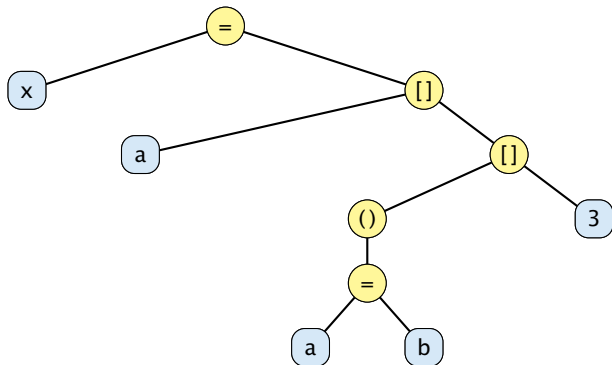
Beispiel: $x = a[(a=b)[3]]$

Soll man das wirklich bringen.



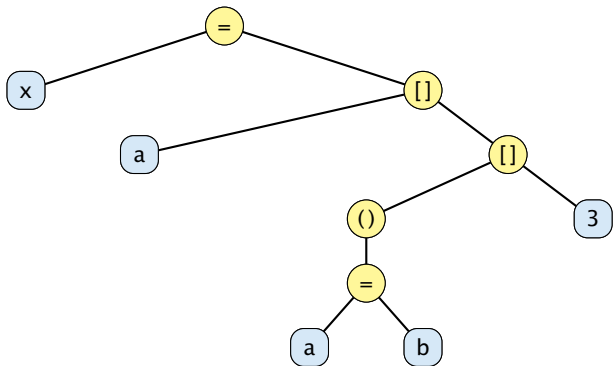
Beispiel: $x = a[(a=b)[3]]$

Soll man das wirklich bringen.



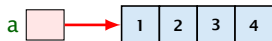
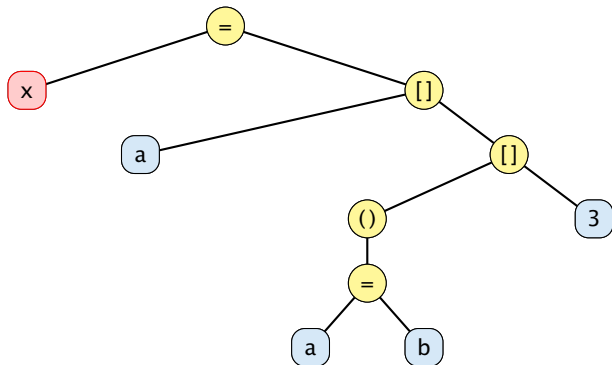
Beispiel: $x = a[(a=b)[3]]$

Soll man das wirklich bringen.



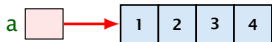
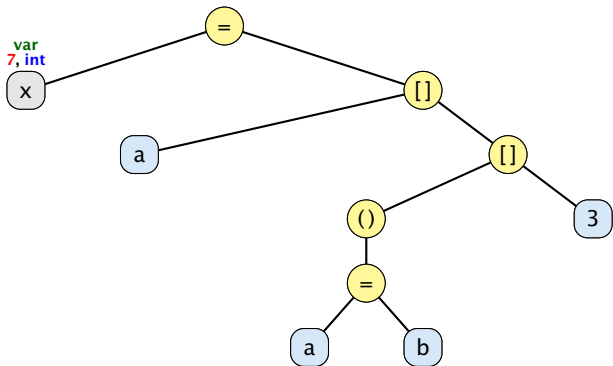
Beispiel: $x = a[(a=b)[3]]$

Soll man das wirklich bringen.



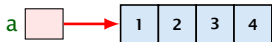
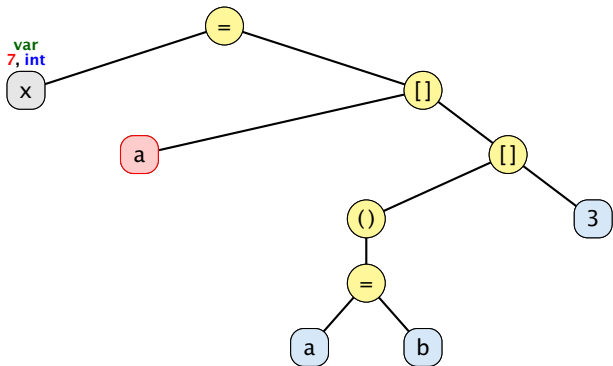
Beispiel: `x = a[(a=b)[3]]`

Soll man das wirklich bringen.



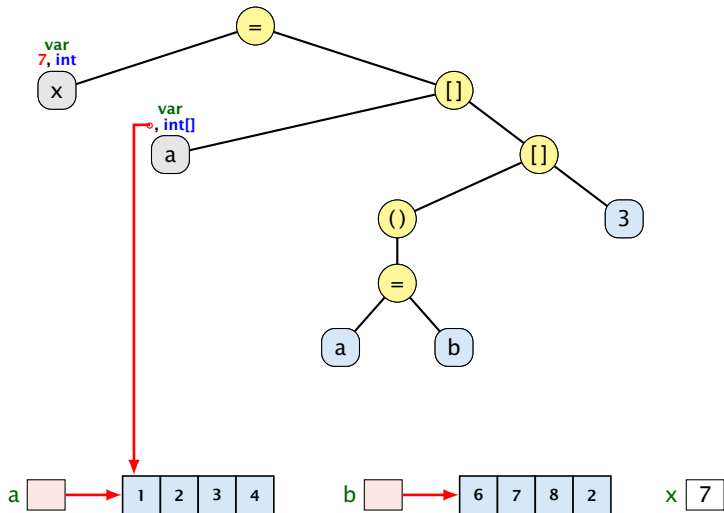
Beispiel: `x = a[(a=b)[3]]`

Soll man das wirklich bringen.



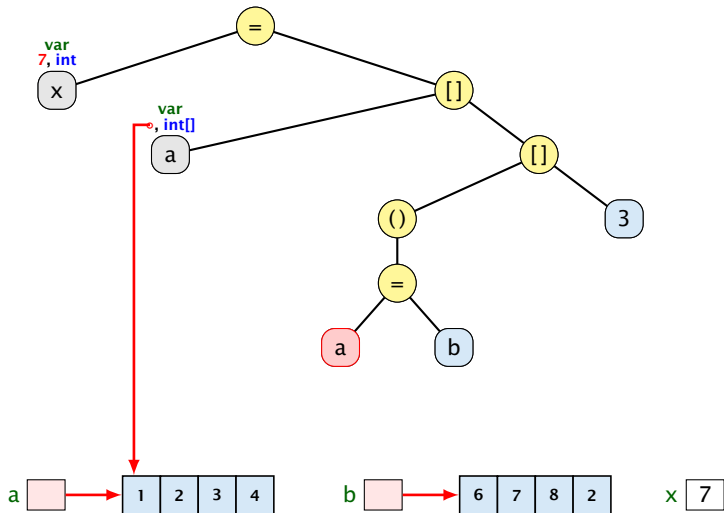
Beispiel: $x = a[(a=b)[3]]$

Soll man das wirklich bringen.



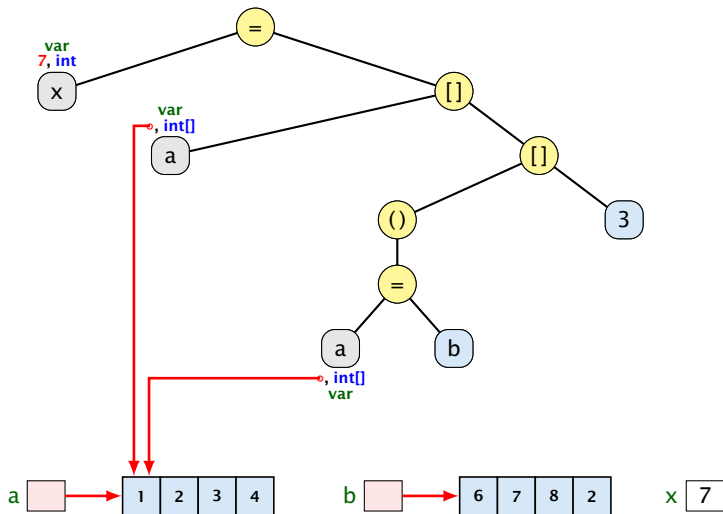
Beispiel: `x = a[(a=b)[3]]`

Soll man das wirklich bringen.



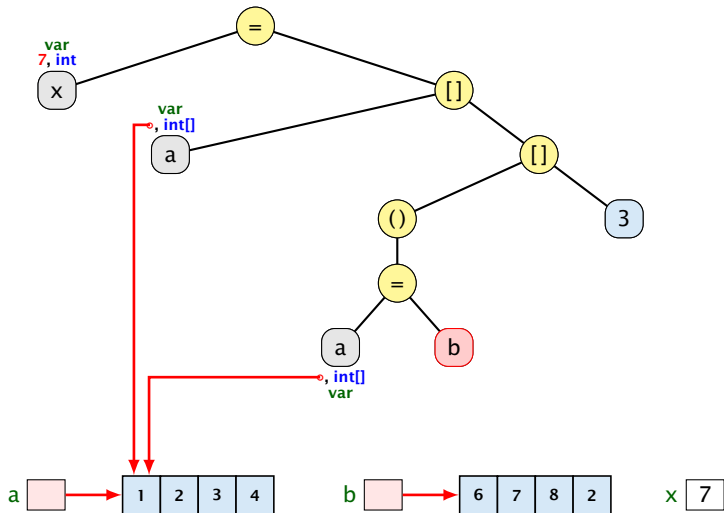
Beispiel: `x = a[(a=b)[3]]`

Soll man das wirklich bringen.



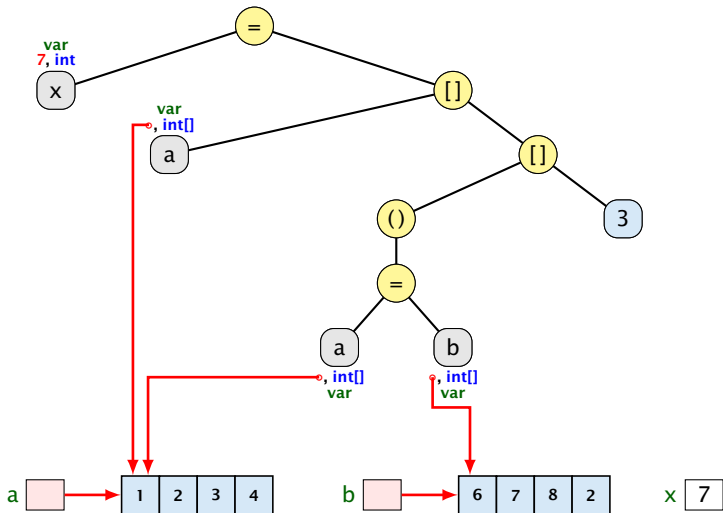
Beispiel: $x = a[(a=b)[3]]$

Soll man das wirklich bringen.



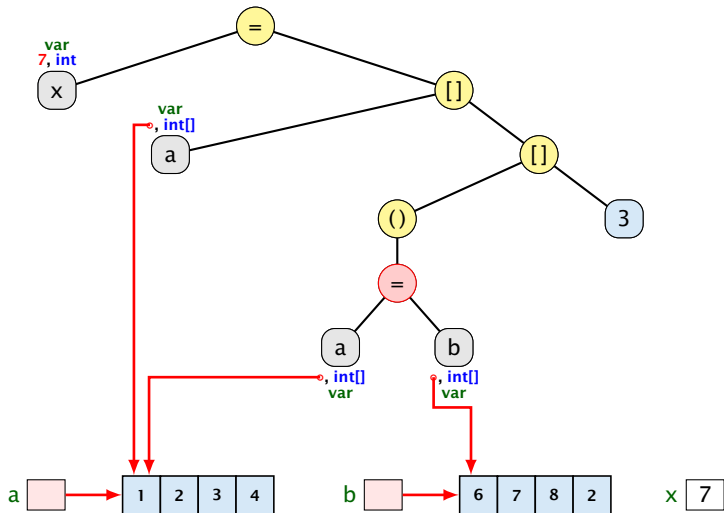
Beispiel: `x = a[(a=b)[3]]`

Soll man das wirklich bringen.



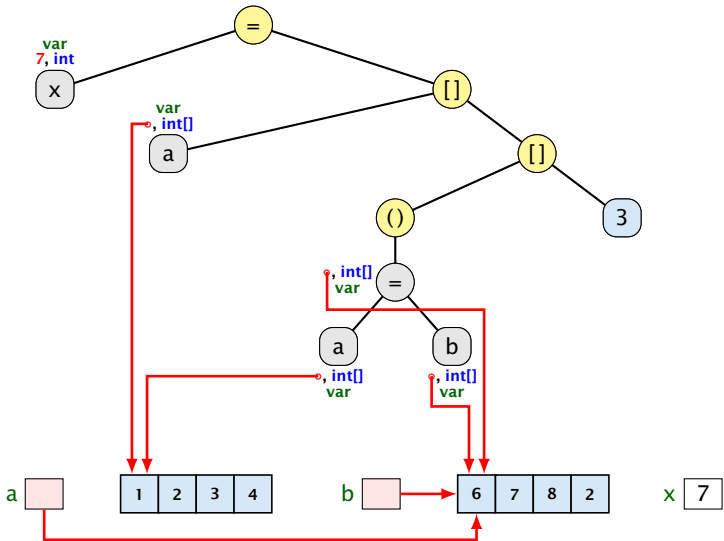
Beispiel: `x = a[(a=b)[3]]`

Soll man das wirklich bringen.



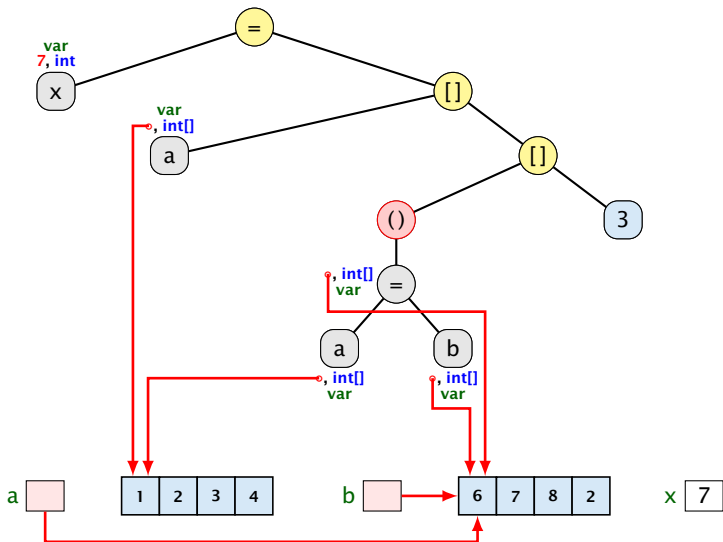
Beispiel: `x = a[(a=b)[3]]`

Soll man das wirklich bringen.



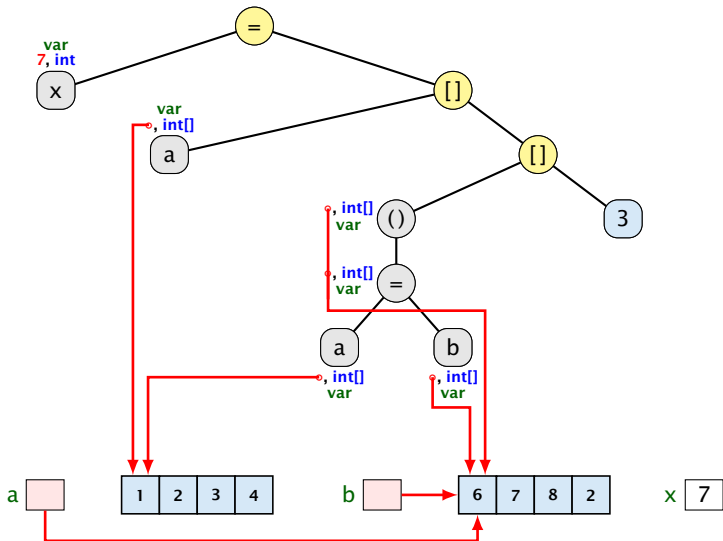
Beispiel: `x = a[(a=b)[3]]`

Soll man das wirklich bringen.



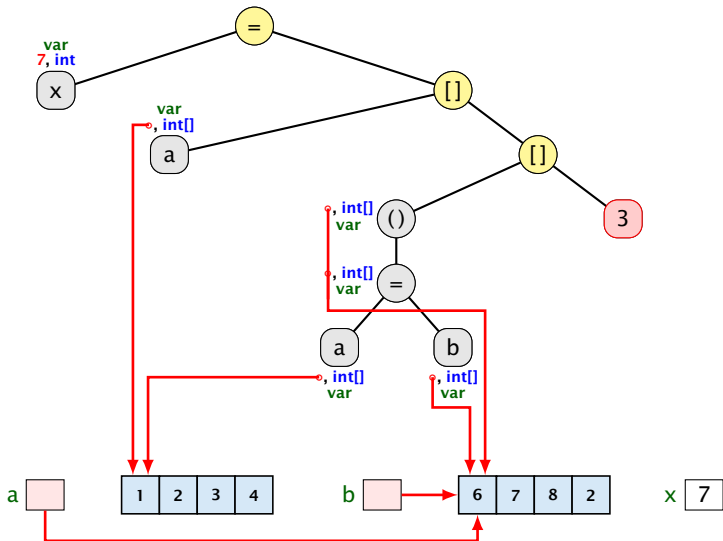
Beispiel: `x = a[(a=b)[3]]`

Soll man das wirklich bringen.



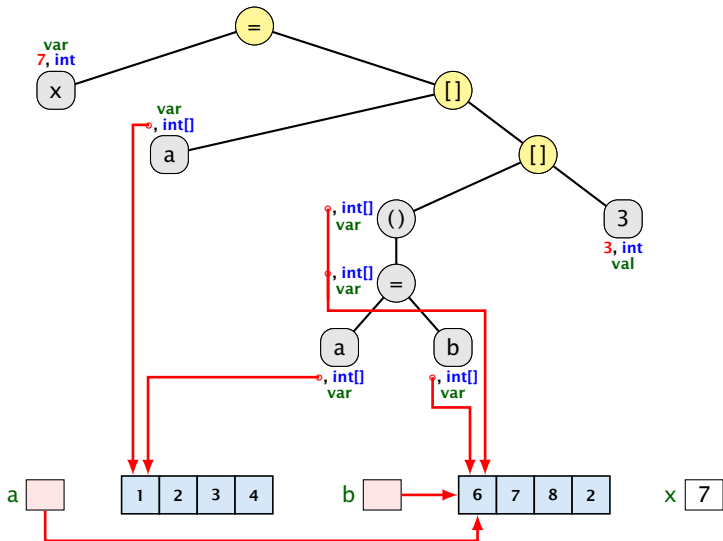
Beispiel: `x = a[(a=b)[3]]`

Soll man das wirklich bringen.



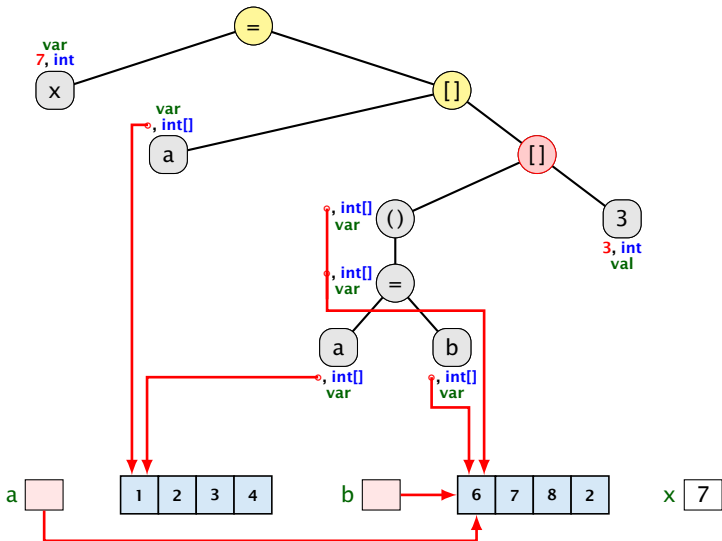
Beispiel: `x = a[(a=b)[3]]`

Soll man das wirklich bringen.



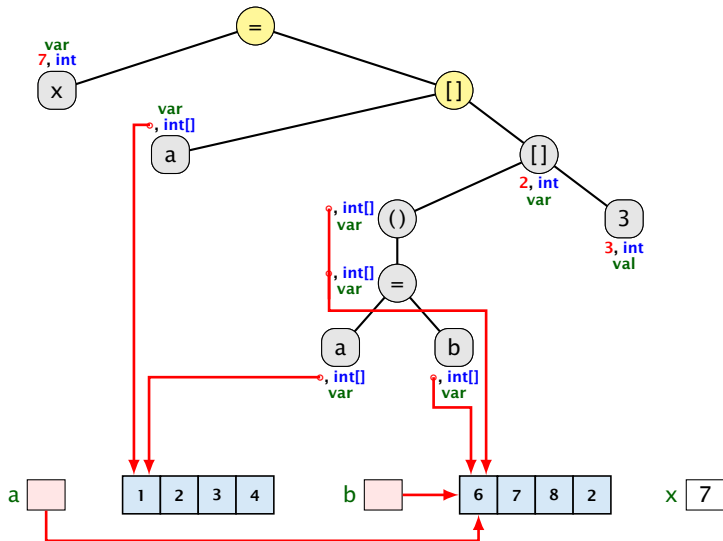
Beispiel: `x = a[(a=b)[3]]`

Soll man das wirklich bringen.



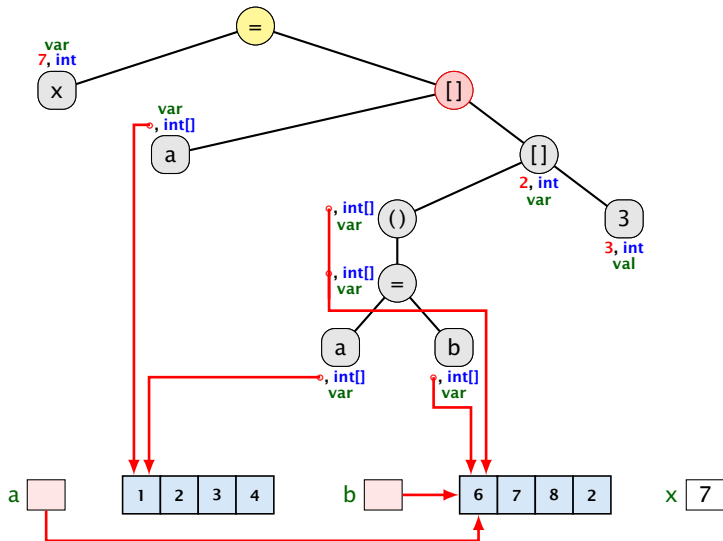
Beispiel: `x = a[(a=b)[3]]`

Soll man das wirklich bringen.



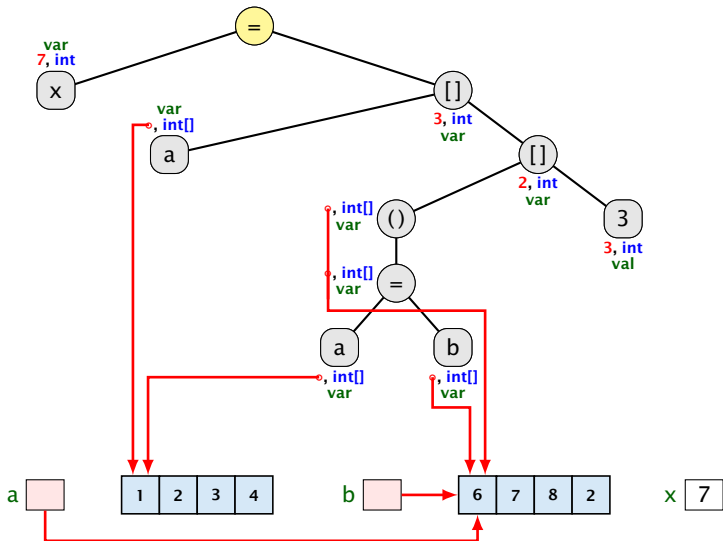
Beispiel: `x = a[(a=b)[3]]`

Soll man das wirklich bringen.



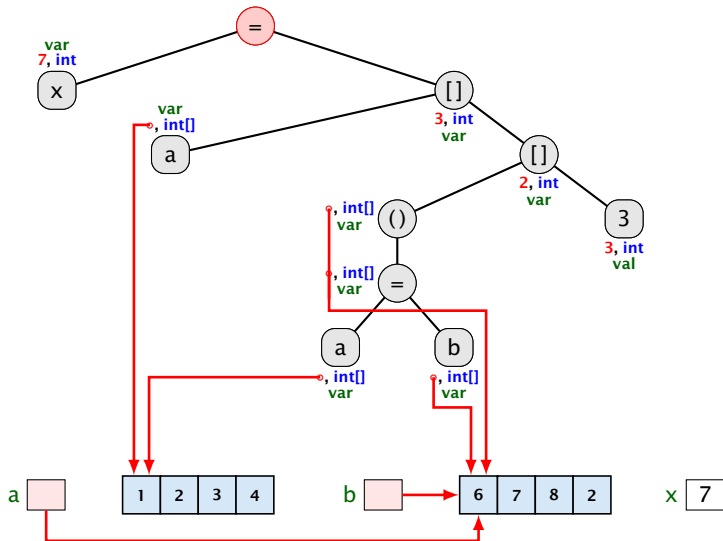
Beispiel: `x = a[(a=b)[3]]`

Soll man das wirklich bringen.



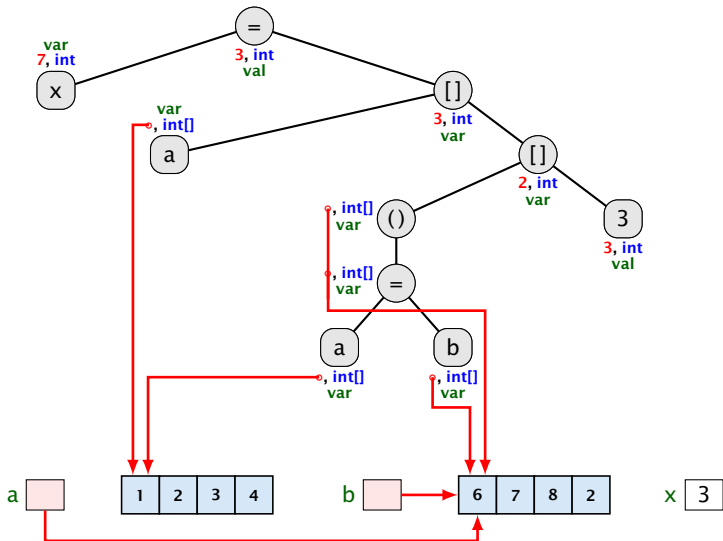
Beispiel: `x = a[(a=b)[3]]`

Soll man das wirklich bringen.



Beispiel: `x = a[(a=b)[3]]`

Soll man das wirklich bringen.



Beispiel: $x = y == 1 ? 5 : y == 4 ? z = 2 : 8$

TODO

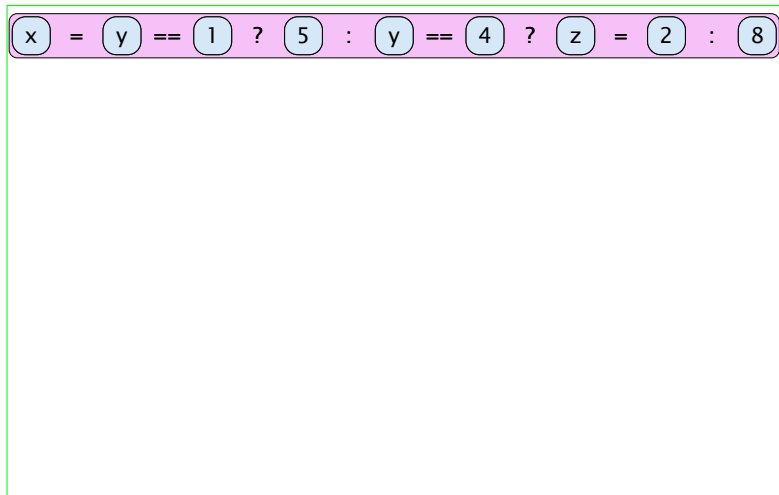
wenn man den ternären Operator einführt

```
x = y == 1 ? 5 : y == 4 ? z = 2 : 8
```

Beispiel: $x = y == 1 ? 5 : y == 4 ? z = 2 : 8$

TODO

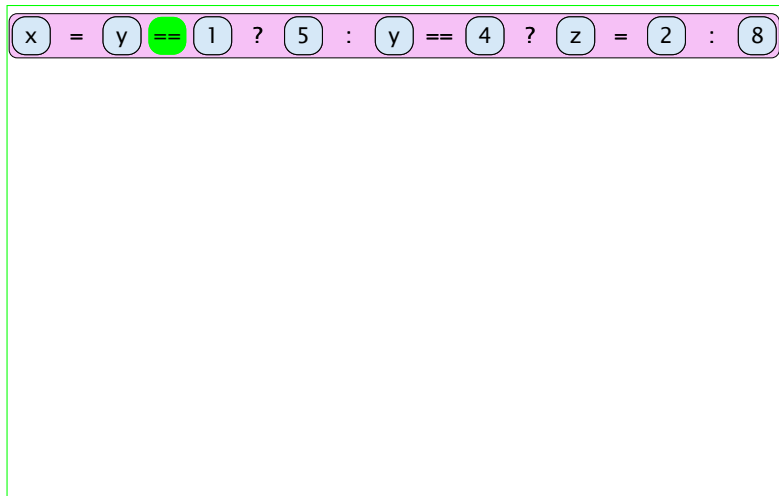
wenn man den ternären Operator einführt



Beispiel: $x = y == 1 ? 5 : y == 4 ? z = 2 : 8$

TODO

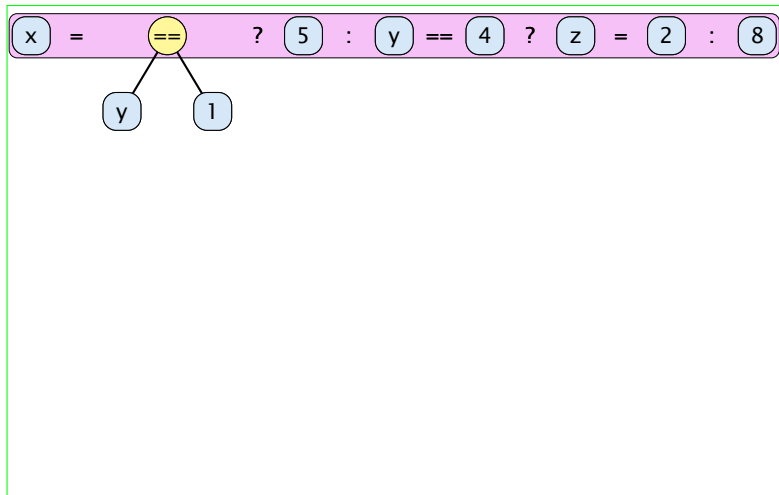
wenn man den ternären Operator einführt



Beispiel: $x = y == 1 ? 5 : y == 4 ? z = 2 : 8$

TODO

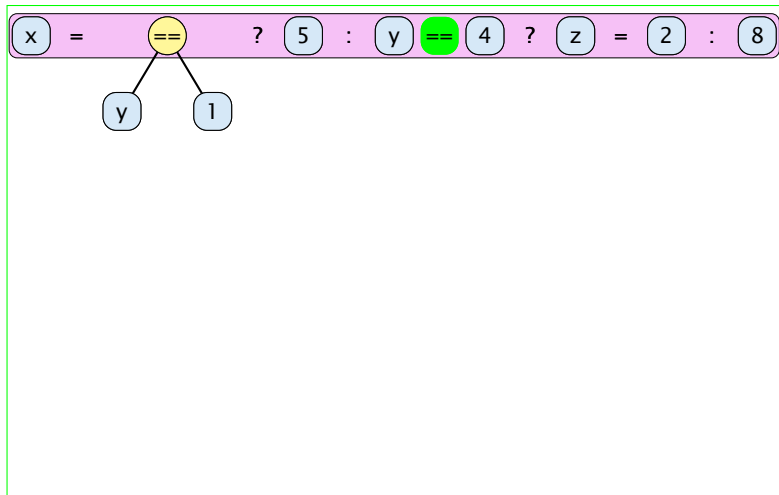
wenn man den ternären Operator einführt



Beispiel: $x = y == 1 ? 5 : y == 4 ? z = 2 : 8$

TODO

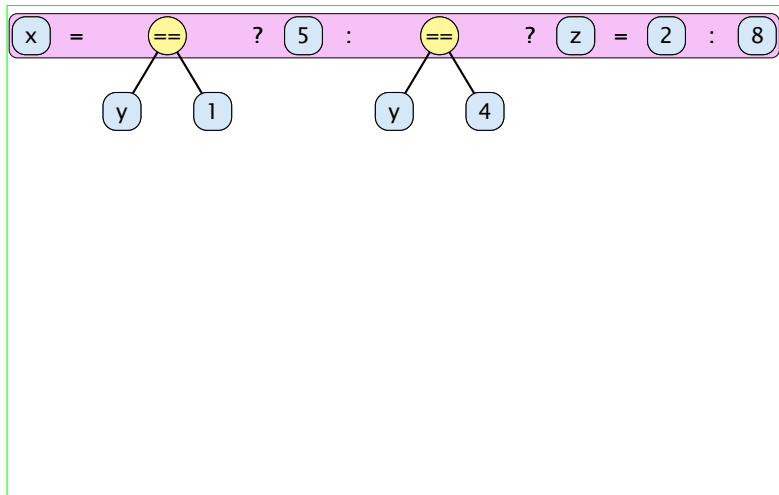
wenn man den ternären Operator einführt



Beispiel: $x = y == 1 ? 5 : y == 4 ? z = 2 : 8$

TODO

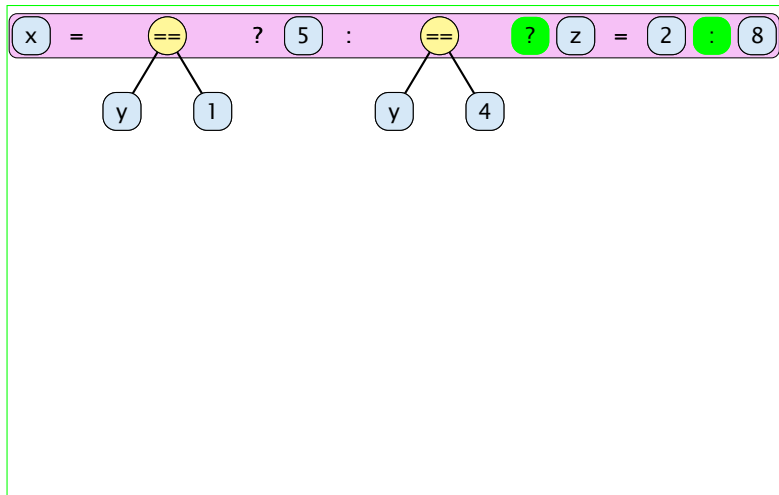
wenn man den ternären Operator einführt



Beispiel: $x = y == 1 ? 5 : y == 4 ? z = 2 : 8$

TODO

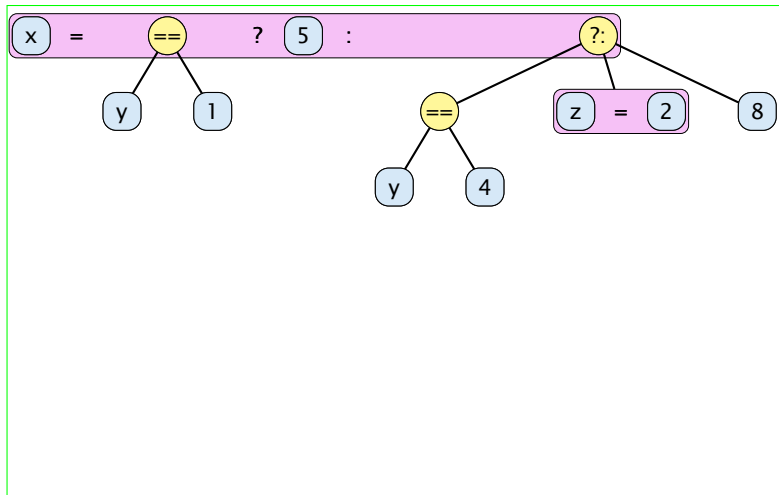
wenn man den ternären Operator einführt



Beispiel: $x = y == 1 ? 5 : y == 4 ? z = 2 : 8$

TODO

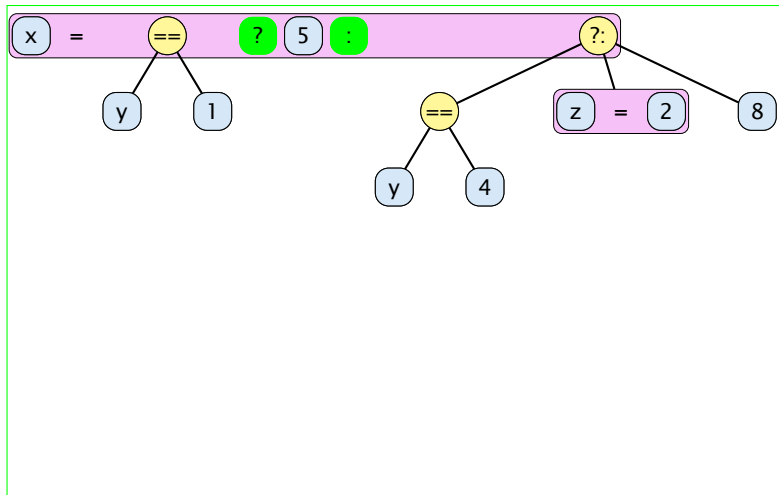
wenn man den ternären Operator einführt



Beispiel: $x = y == 1 ? 5 : y == 4 ? z = 2 : 8$

TODO

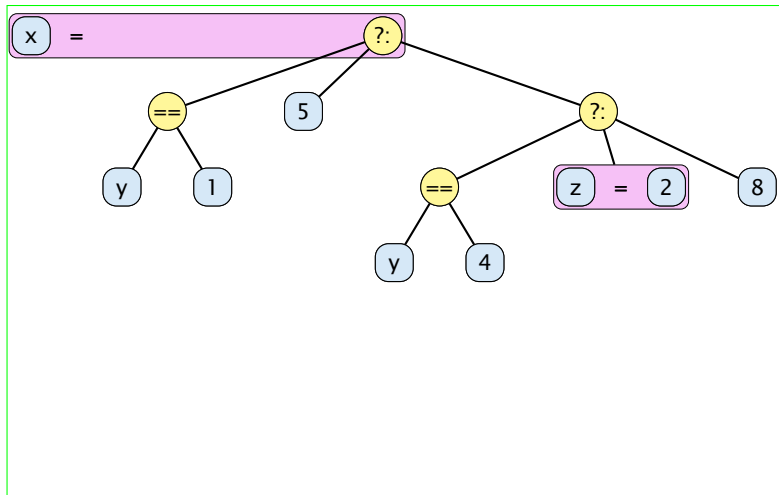
wenn man den ternären Operator einführt



Beispiel: $x = y == 1 ? 5 : y == 4 ? z = 2 : 8$

TODO

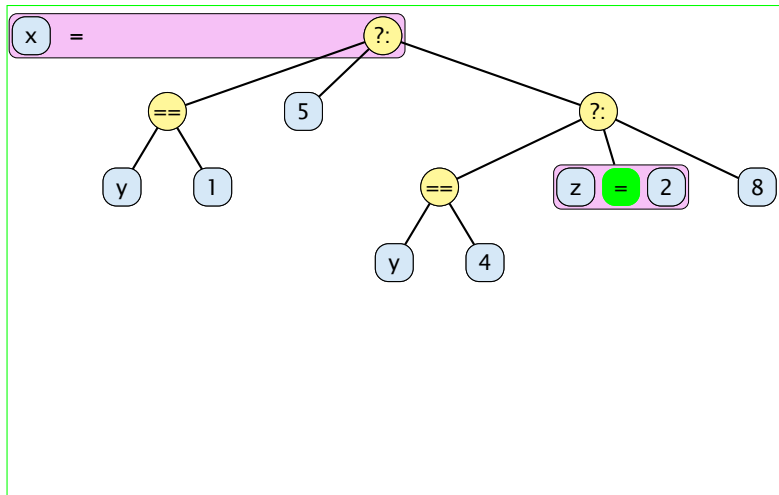
wenn man den ternären Operator einführt



Beispiel: $x = y == 1 ? 5 : y == 4 ? z = 2 : 8$

TODO

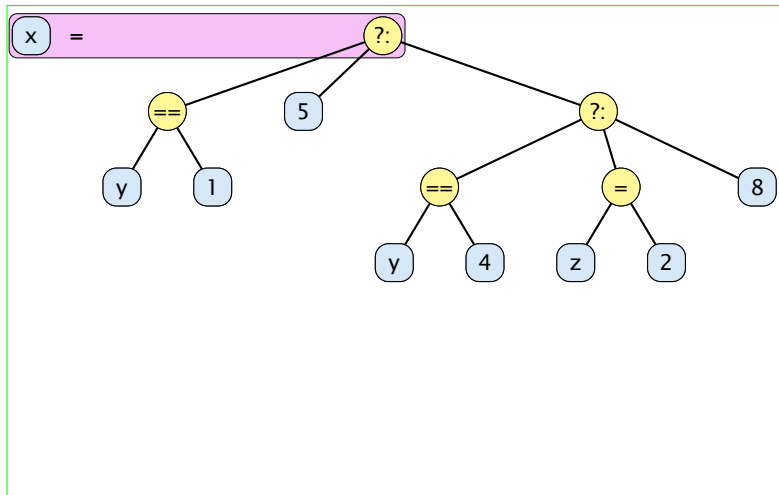
wenn man den ternären Operator einführt



Beispiel: $x = y == 1 ? 5 : y == 4 ? z = 2 : 8$

TODO

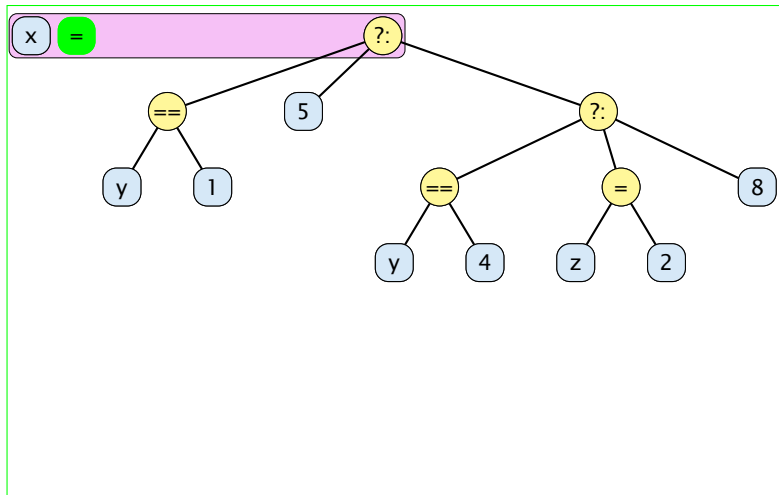
wenn man den ternären Operator einführt



Beispiel: $x = y == 1 ? 5 : y == 4 ? z = 2 : 8$

TODO

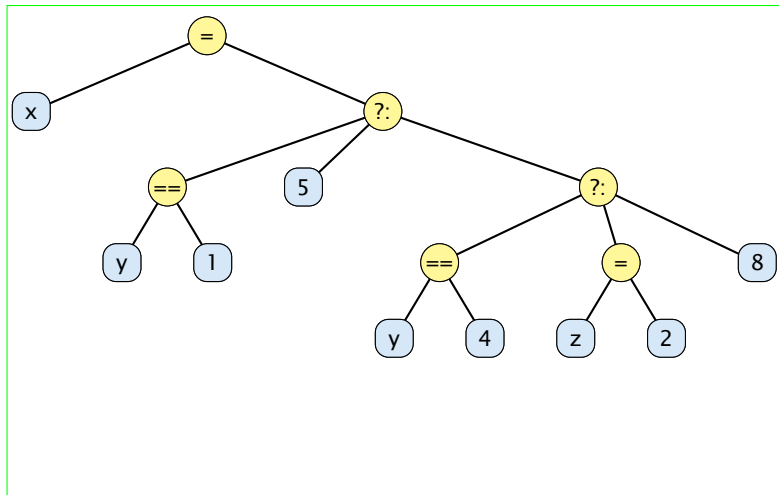
wenn man den ternären Operator einführt



Beispiel: $x = y == 1 ? 5 : y == 4 ? z = 2 : 8$

TODO

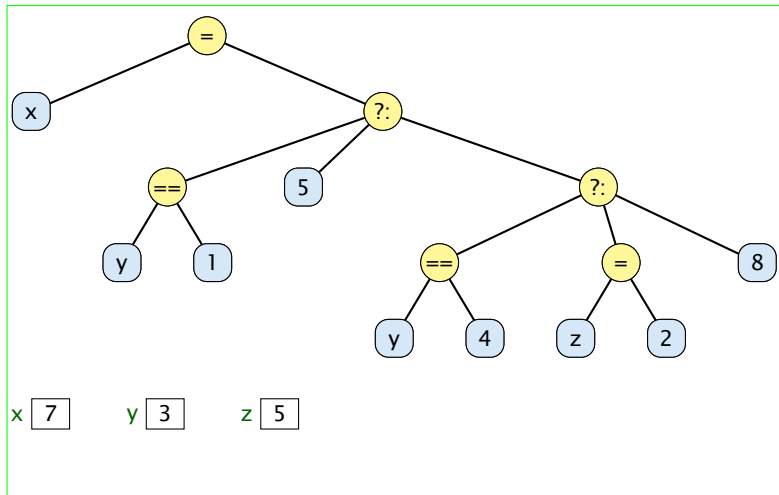
wenn man den ternären Operator einführt



Beispiel: $x = y == 1 ? 5 : y == 4 ? z = 2 : 8$

TODO

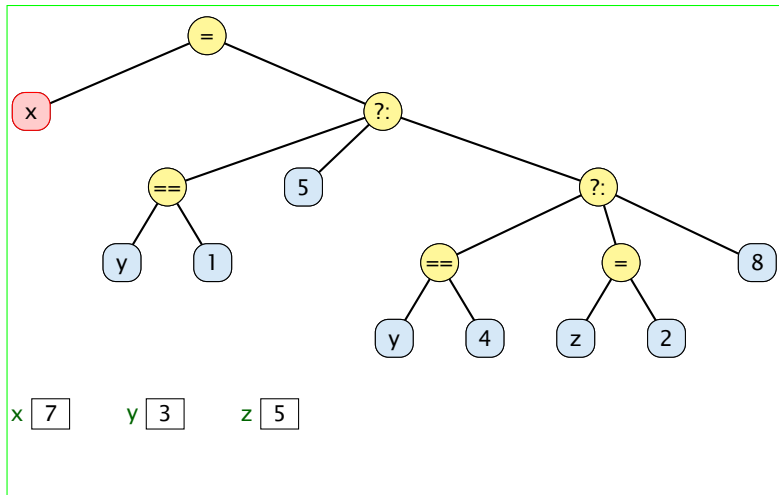
wenn man den ternären Operator einführt



Beispiel: $x = y == 1 ? 5 : y == 4 ? z = 2 : 8$

TODO

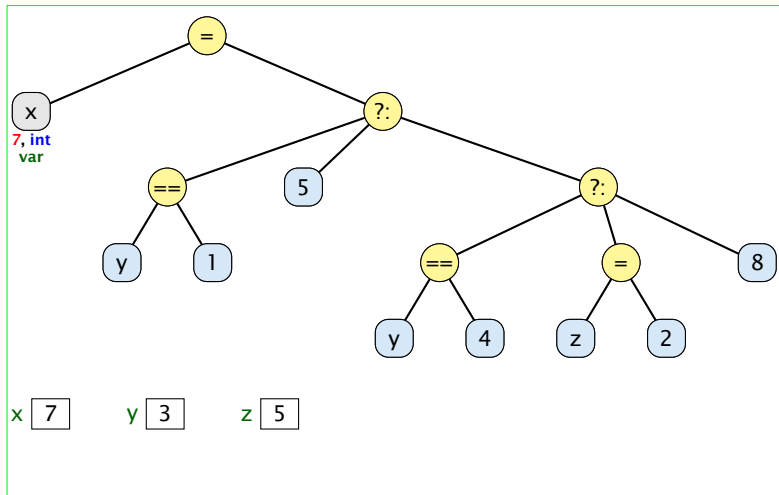
wenn man den ternären Operator einführt



Beispiel: $x = y == 1 ? 5 : y == 4 ? z = 2 : 8$

TODO

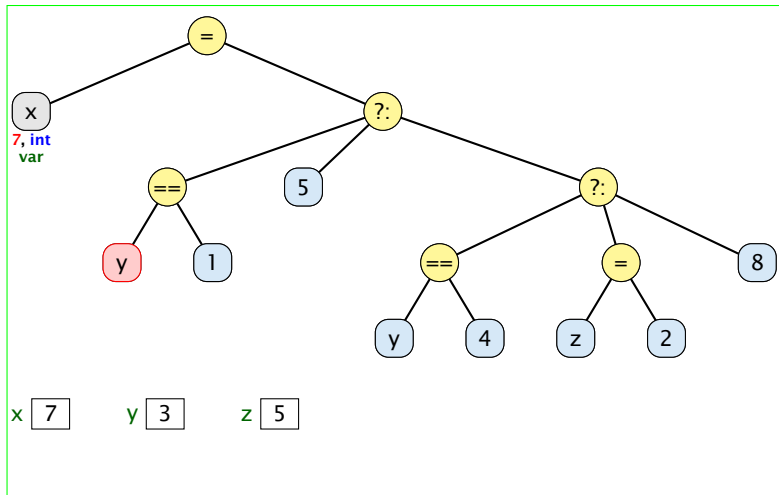
wenn man den ternären Operator einführt



Beispiel: $x = y == 1 ? 5 : y == 4 ? z = 2 : 8$

TODO

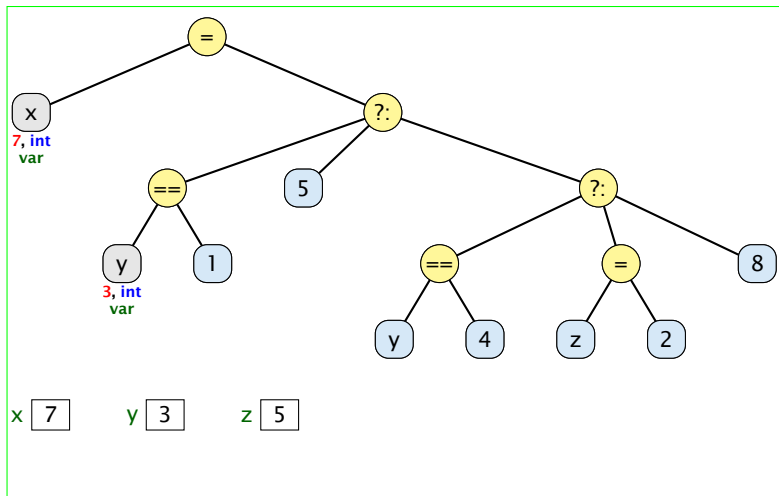
wenn man den ternären Operator einführt



Beispiel: $x = y == 1 ? 5 : y == 4 ? z = 2 : 8$

TODO

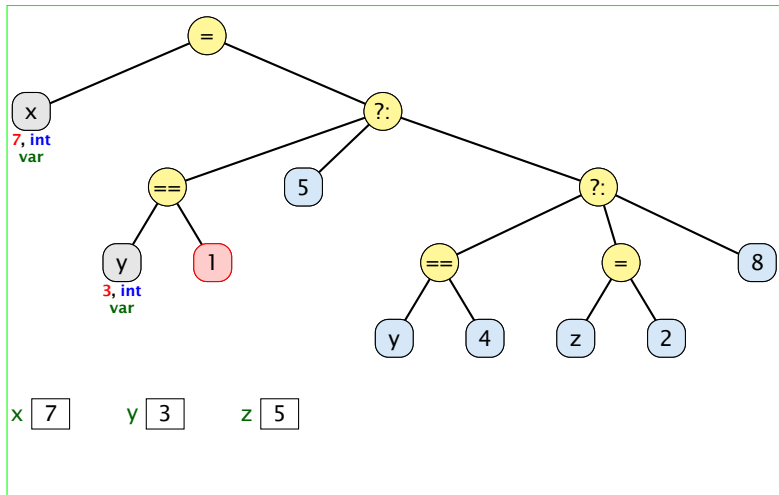
wenn man den ternären Operator einführt



Beispiel: $x = y == 1 ? 5 : y == 4 ? z = 2 : 8$

TODO

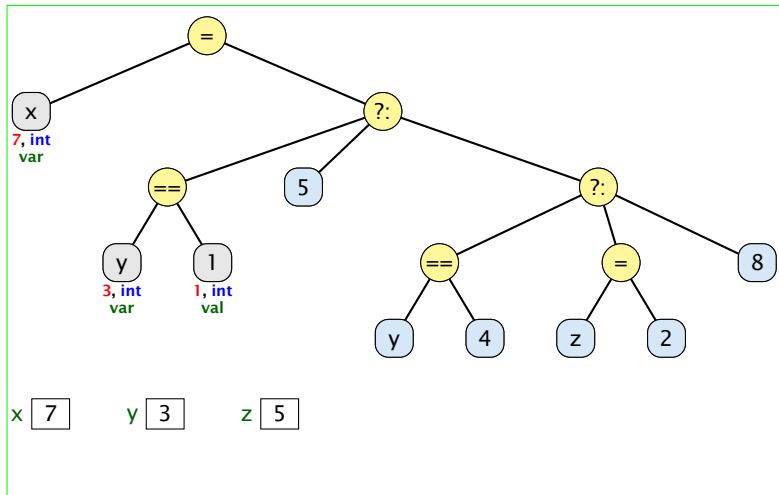
wenn man den ternären Operator einführt



Beispiel: $x = y == 1 ? 5 : y == 4 ? z = 2 : 8$

TODO

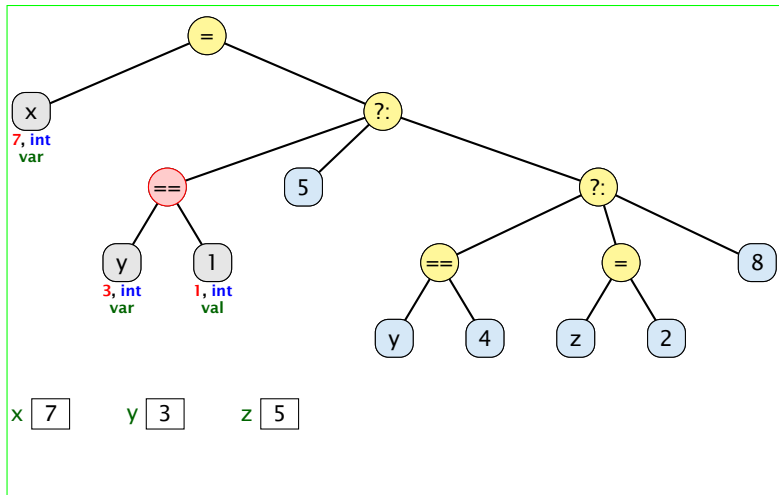
wenn man den ternären Operator einführt



Beispiel: $x = y == 1 ? 5 : y == 4 ? z = 2 : 8$

TODO

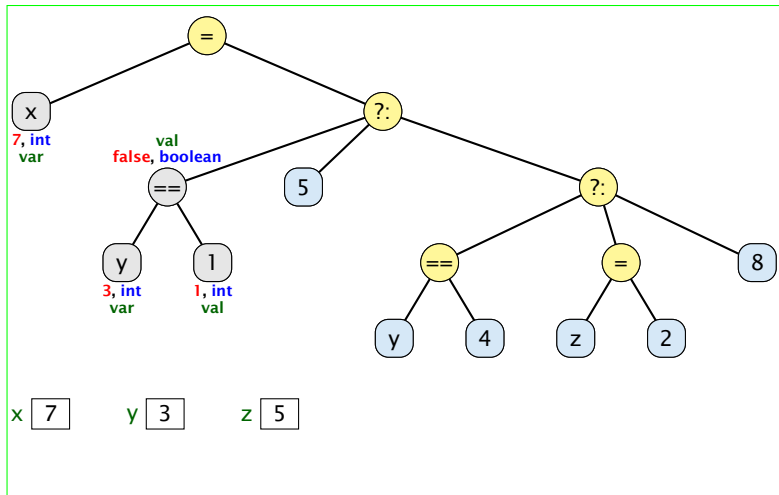
wenn man den ternären Operator einführt



Beispiel: $x = y == 1 ? 5 : y == 4 ? z = 2 : 8$

TODO

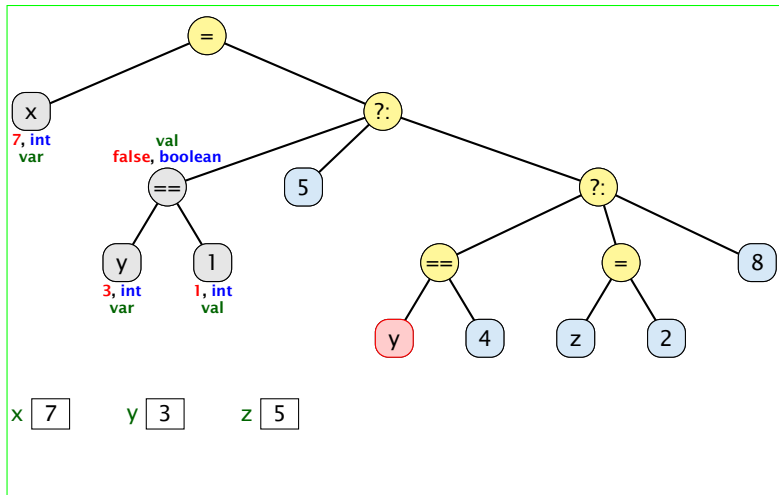
wenn man den ternären Operator einführt



Beispiel: $x = y == 1 ? 5 : y == 4 ? z = 2 : 8$

TODO

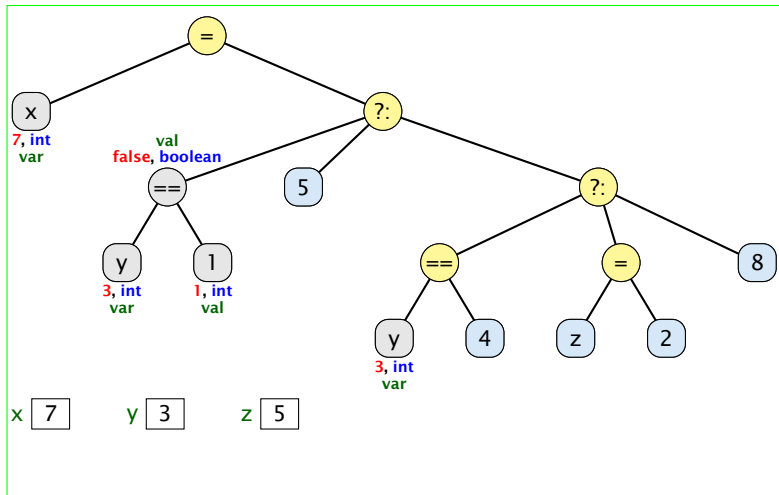
wenn man den ternären Operator einführt



Beispiel: $x = y == 1 ? 5 : y == 4 ? z = 2 : 8$

TODO

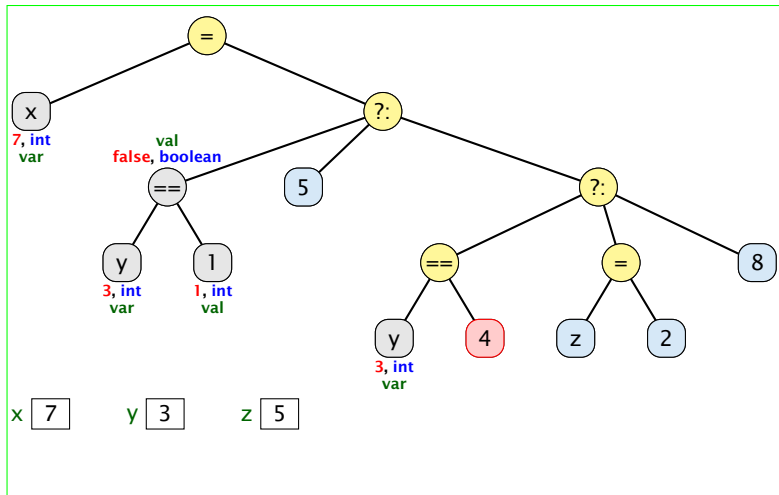
wenn man den ternären Operator einführt



Beispiel: $x = y == 1 ? 5 : y == 4 ? z = 2 : 8$

TODO

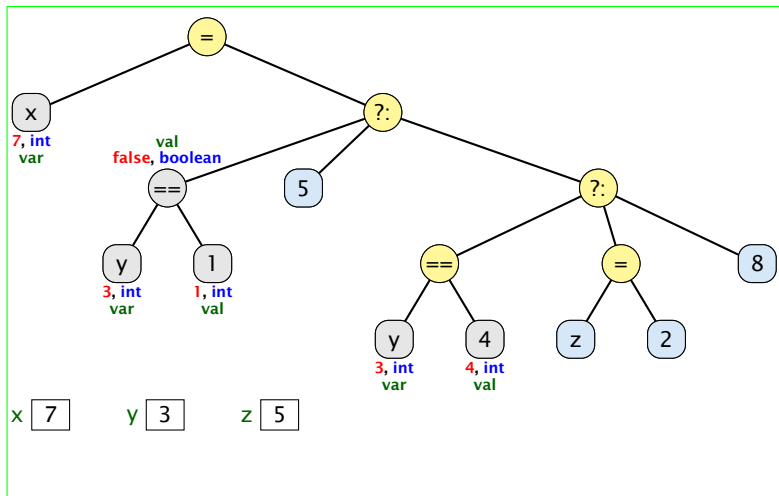
wenn man den ternären Operator einführt



Beispiel: $x = y == 1 ? 5 : y == 4 ? z = 2 : 8$

TODO

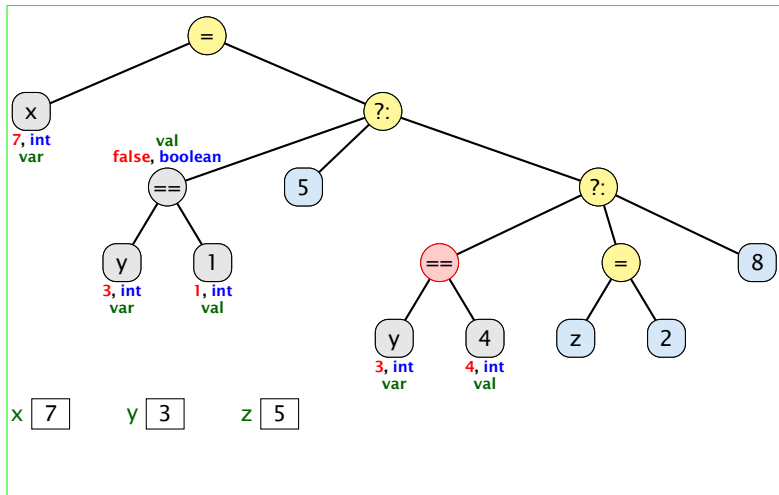
wenn man den ternären Operator einführt



Beispiel: $x = y == 1 ? 5 : y == 4 ? z = 2 : 8$

TODO

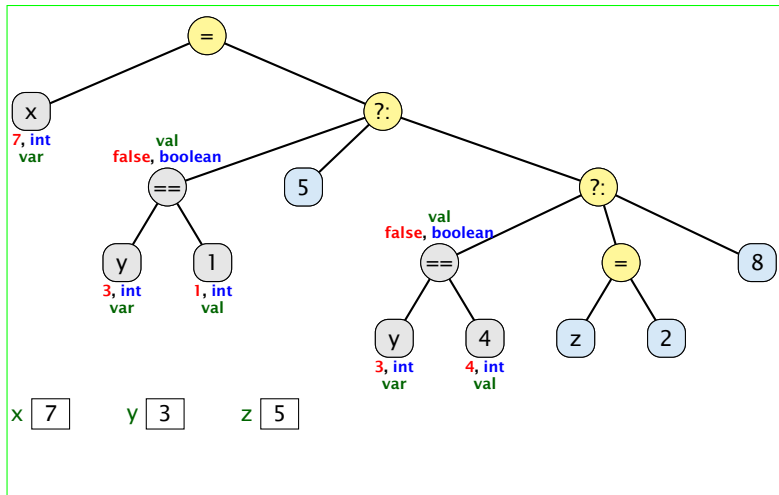
wenn man den ternären Operator einführt



Beispiel: $x = y == 1 ? 5 : y == 4 ? z = 2 : 8$

TODO

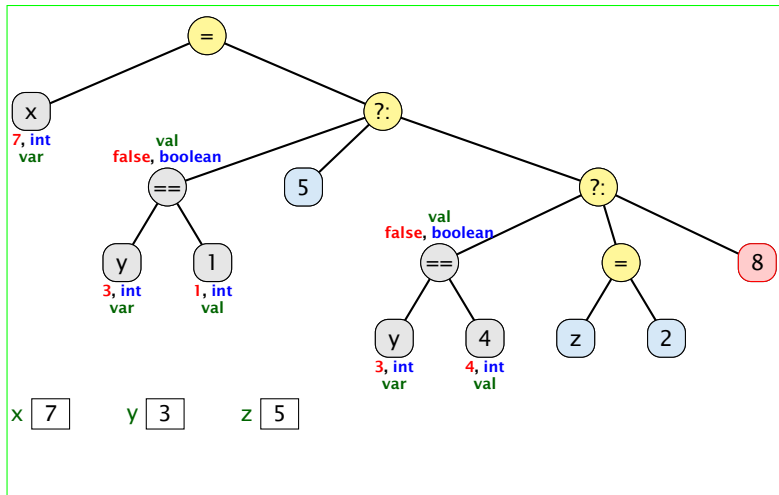
wenn man den ternären Operator einführt



Beispiel: $x = y == 1 ? 5 : y == 4 ? z = 2 : 8$

TODO

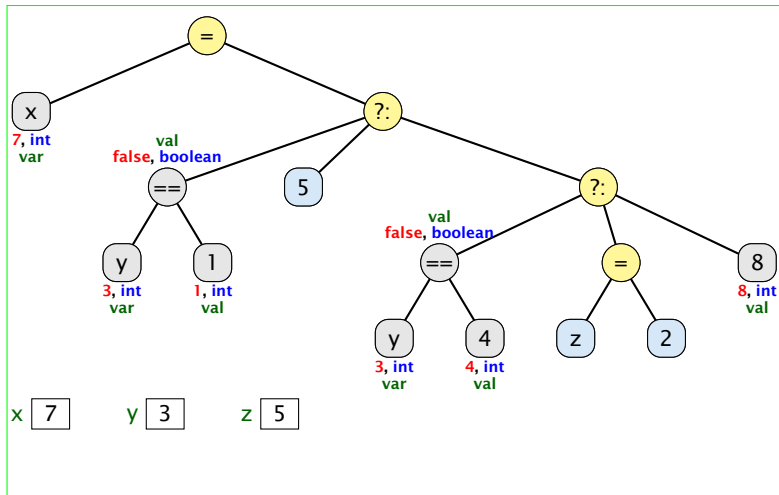
wenn man den ternären Operator einführt



Beispiel: $x = y == 1 ? 5 : y == 4 ? z = 2 : 8$

TODO

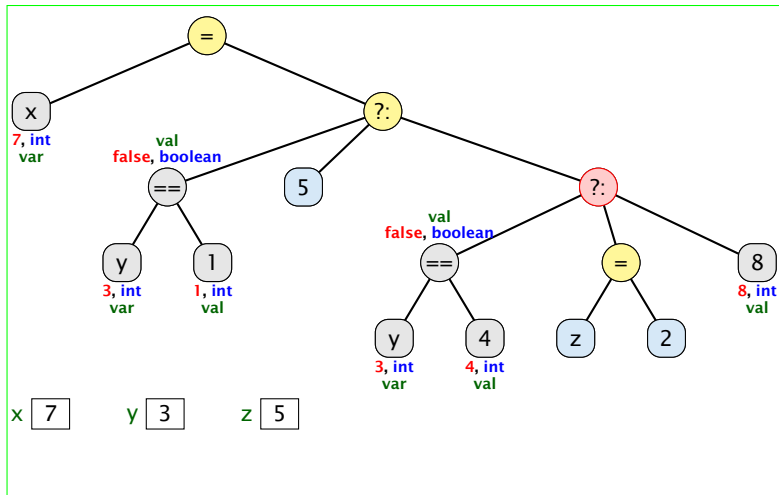
wenn man den ternären Operator einführt



Beispiel: $x = y == 1 ? 5 : y == 4 ? z = 2 : 8$

TODO

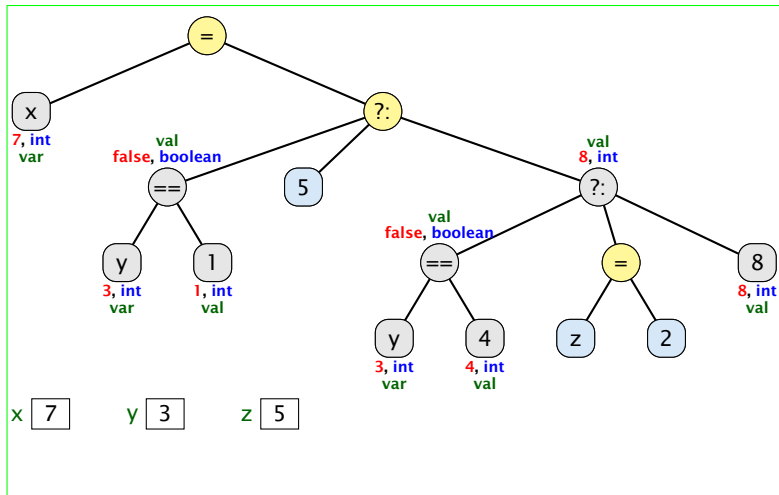
wenn man den ternären Operator einführt



Beispiel: $x = y == 1 ? 5 : y == 4 ? z = 2 : 8$

TODO

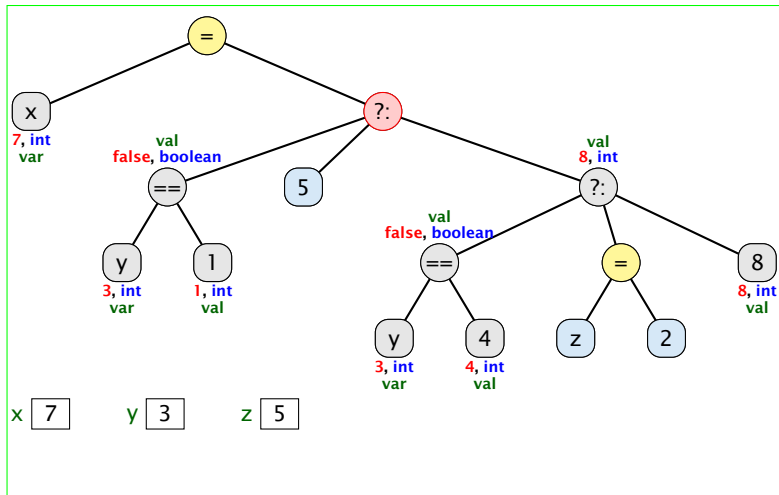
wenn man den ternären Operator einführt



Beispiel: $x = y == 1 ? 5 : y == 4 ? z = 2 : 8$

TODO

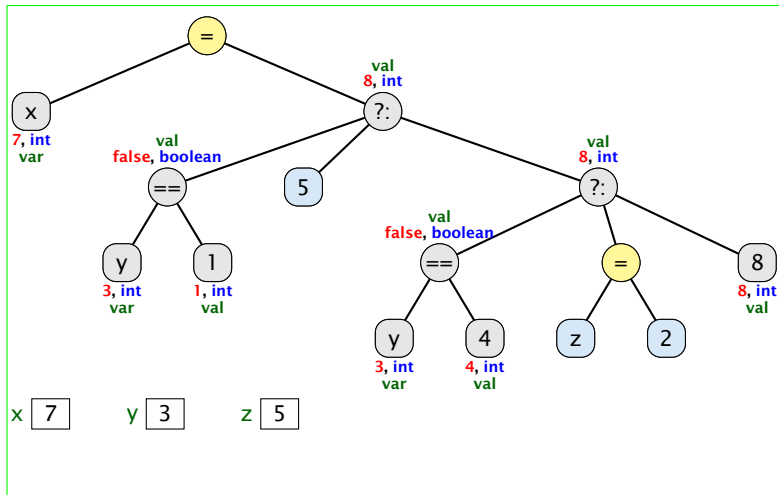
wenn man den ternären Operator einführt



Beispiel: $x = y == 1 ? 5 : y == 4 ? z = 2 : 8$

TODO

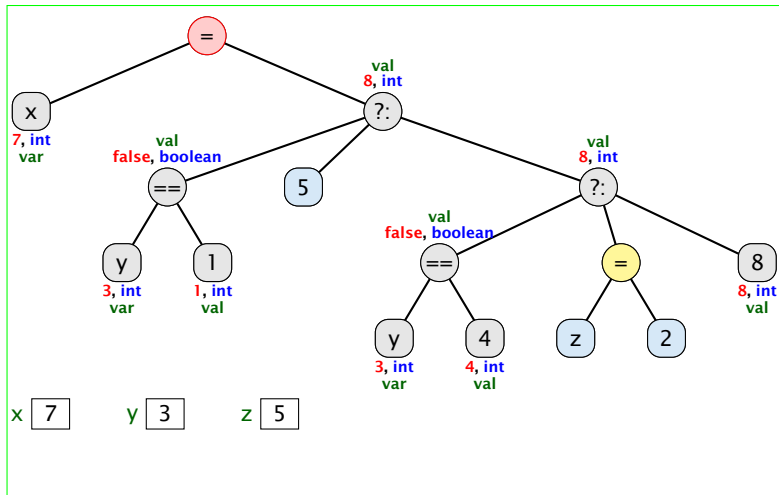
wenn man den ternären Operator einführt



Beispiel: $x = y == 1 ? 5 : y == 4 ? z = 2 : 8$

TODO

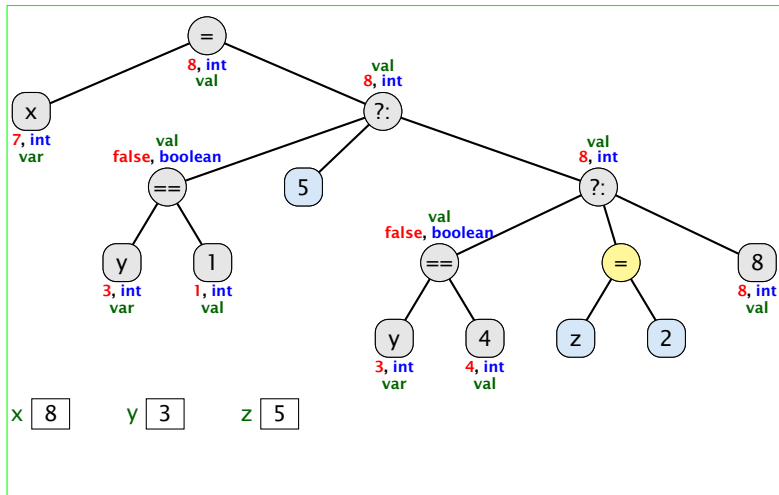
wenn man den ternären Operator einführt



Beispiel: $x = y == 1 ? 5 : y == 4 ? z = 2 : 8$

TODO

wenn man den ternären Operator einführt



Impliziter Typecast

Der Compiler wertet nur die Typen des Ausdrucksbaums aus.

- ▶ Für jeden inneren Knoten wählt er dann die geeignete Funktion (z.B. $+$: $\text{long} \times \text{long} \rightarrow \text{long}$) falls ein $+$ -Knoten zwei long -Argumente erhält.
- ▶ Falls keine passende Funktion gefunden wird, versucht der Compiler durch **implizite Typecasts** die Operanden an eine Funktion anzupassen.
- ▶ Dies geschieht auch für selbstgeschriebene Funktionen (z.B. $\text{min}(\text{int } a, \text{int } b)$ und $\text{min}(\text{long } a, \text{long } b)$).

Der Compiler bestimmt zunächst alle Funktionen, die passen könnten (d.h. die vorliegenden Typen können durch **widening conversions** in die Argumenttypen der Funktion umgewandelt werden). Eine Funktion f_1 ist spezifischer als eine andere f_2 , wenn die Argumenttypen von f_1 auch für einen Aufruf von f_2 benutzbar sind (z.B. $\text{min}(\text{int}, \text{long})$ spezifischer als $\text{min}(\text{long}, \text{long})$)

aber nicht spezifischer als $\text{min}(\text{long}, \text{int})$.

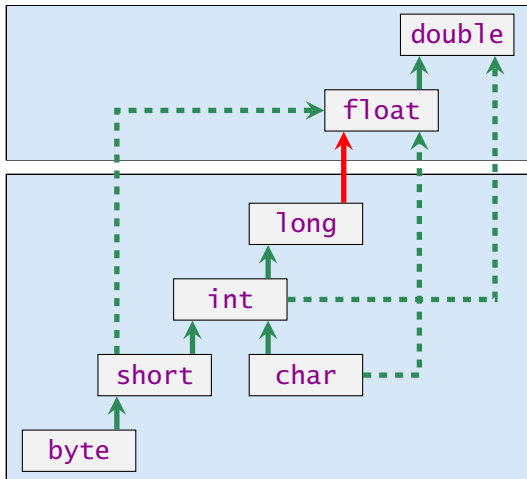
fix this

TODO

Dieses definiert eine partielle Ordnung auf der Menge der Funktionen.

Impliziter Typecast – Numerische Typen

Keine Typumwandlung zwischen boolean und Zahltypen (weder implizit noch explizit).



Gleitkommazahlen

Man nennt diese Art der Casts, **widening conversions**, da der Wertebereich im Allgemeinen erweitert wird.

ganze Zahlen

Konvertierung von **long** nach **double** oder von **int** nach **float** kann Information verlieren wird aber **automatisch** durchgeführt.

Impliziter Typecast – Numerische Typen

Angenommen wir haben Funktionen

```
int min(int a, int b)
```

```
float min(float a, float b)
```

```
double min(double a, double b)
```

definiert.

```
1 long a = 7, b = 3;  
2 double d = min(a, b);
```

würde die Funktion `float min(float a, float b)` aufrufen.

5.3 Auswertung von Ausdrücken

Der Funktionsaufrufoperator:

<i>symbol</i>	<i>name</i>	<i>types</i>	<i>L/R</i>	<i>level</i>
()	Funktionsaufruf	Funktionsname, *	links	0

Wir modellieren, den Funktionsaufrufoperator hier als einen Operator, der beliebig viele Argumente entgegennimmt. Das erste Argument ist der Funktionsname, und die folgenden Argumente sind die Parameter der Funktion. Üblicherweise hat der Funktionsaufrufoperator nur zwei Operanden: den Funktionsnamen, und eine Argumentliste.

Beispiel: $x = \min(a, \min(a, b) + 4L)$

```
x = min ( a , min ( a , b ) + 4L )
```

Achtung: Dieses ist eine sehr vereinfachte und teilweise inkorrekte Darstellung. Der eigentliche Prozess, der vom Funktionsnamen zu eigentlichen Funktion führt ist sehr kompliziert. **function list** ist auch kein Typ in **Java**.

Beispiel: $x = \min(a, \min(a, b) + 4L)$

x = min (a , min (a , b) + 4L)

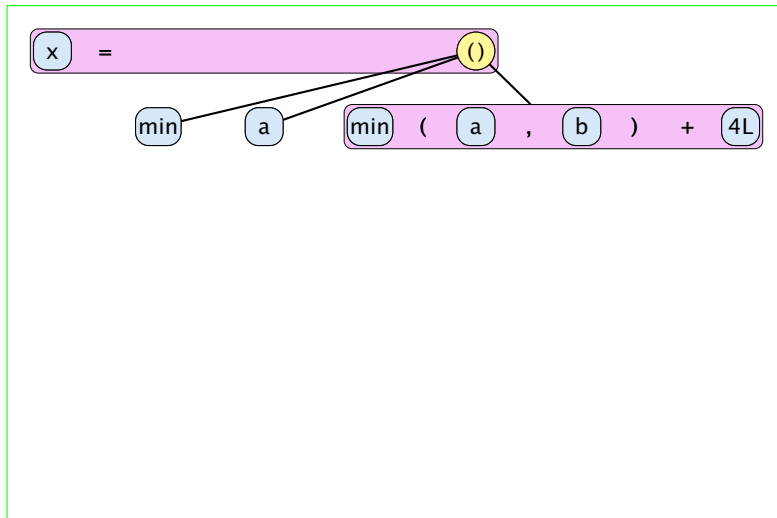
Achtung: Dieses ist eine sehr vereinfachte und teilweise inkorrekte Darstellung. Der eigentliche Prozess, der vom Funktionsnamen zu eigentlichen Funktion führt ist sehr kompliziert. **function list** ist auch kein Typ in **Java**.

Beispiel: $x = \min(a, \min(a,b) + 4L)$

x = min (a , min (a , b) + 4L)

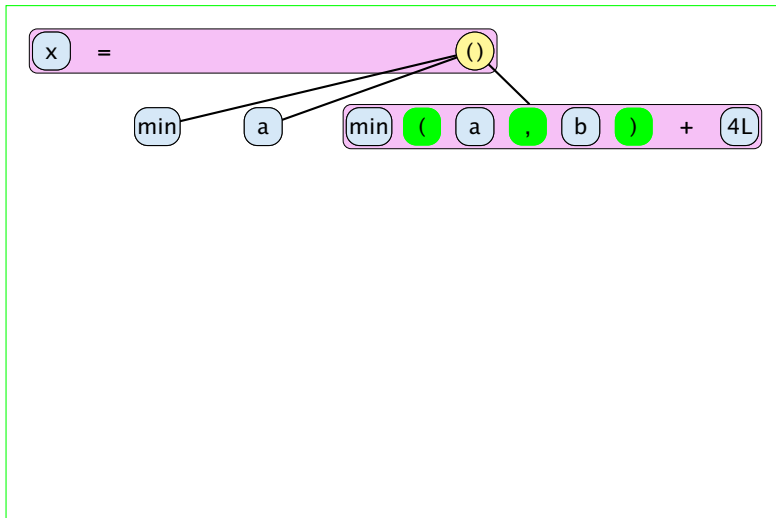
Achtung: Dieses ist eine sehr vereinfachte und teilweise inkorrekte Darstellung. Der eigentliche Prozess, der vom Funktionsnamen zu eigentlichen Funktion führt ist sehr kompliziert. **function list** ist auch kein Typ in **Java**.

Beispiel: $x = \min(a, \min(a,b) + 4L)$



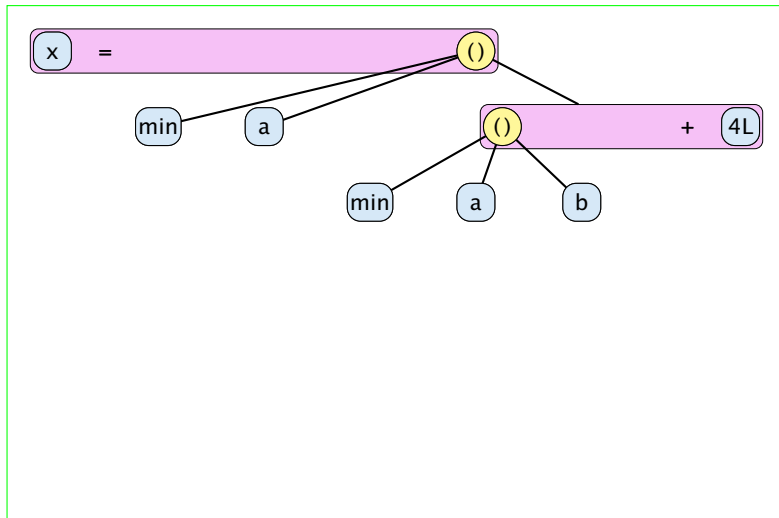
Achtung: Dieses ist eine sehr vereinfachte und teilweise inkorrekte Darstellung. Der eigentliche Prozess, der vom Funktionsnamen zu eigentlichen Funktion führt ist sehr kompliziert. **function list** ist auch kein Typ in **Java**.

Beispiel: $x = \min(a, \min(a,b) + 4L)$



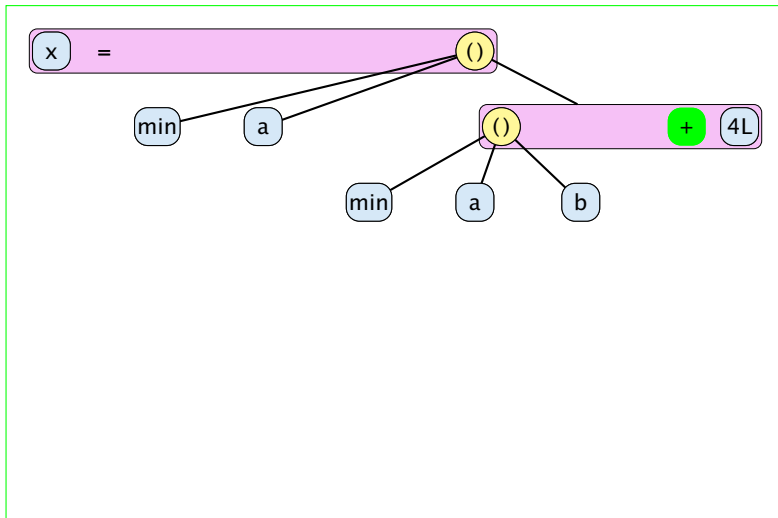
Achtung: Dieses ist eine sehr vereinfachte und teilweise inkorrekte Darstellung. Der eigentliche Prozess, der vom Funktionsnamen zu eigentlichen Funktion führt ist sehr kompliziert. **function list** ist auch kein Typ in **Java**.

Beispiel: $x = \min(a, \min(a, b) + 4L)$



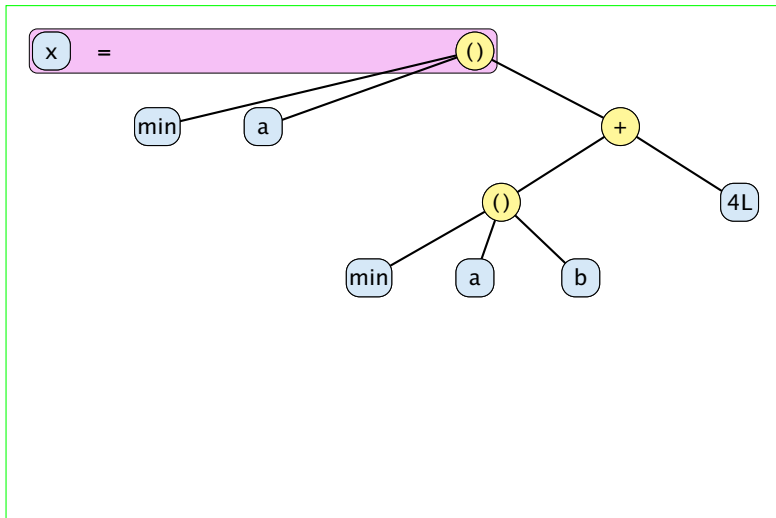
Achtung: Dieses ist eine sehr vereinfachte und teilweise inkorrekte Darstellung. Der eigentliche Prozess, der vom Funktionsnamen zu eigentlichen Funktion führt ist sehr kompliziert. **function list** ist auch kein Typ in **Java**.

Beispiel: $x = \min(a, \min(a, b) + 4L)$



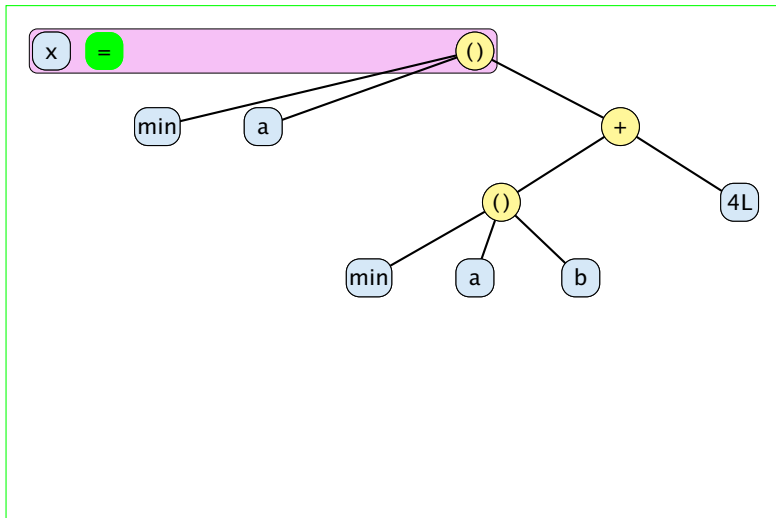
Achtung: Dieses ist eine sehr vereinfachte und teilweise inkorrekte Darstellung. Der eigentliche Prozess, der vom Funktionsnamen zu eigentlichen Funktion führt ist sehr kompliziert. **function list** ist auch kein Typ in **Java**.

Beispiel: $x = \min(a, \min(a,b) + 4L)$



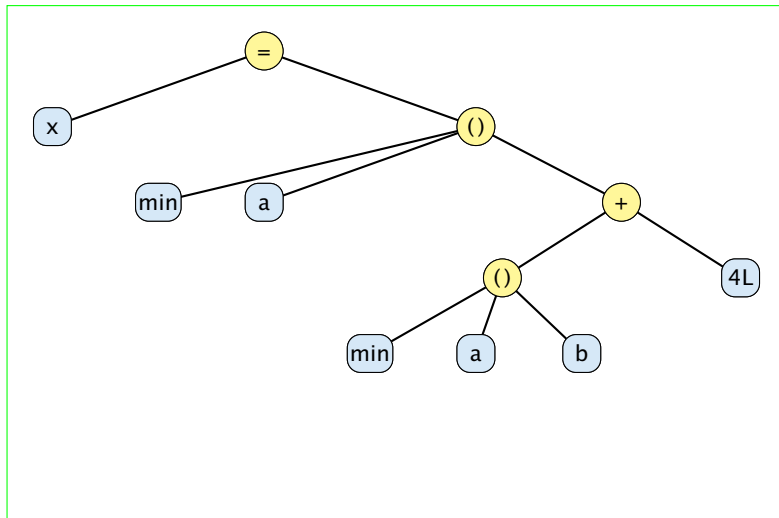
Achtung: Dieses ist eine sehr vereinfachte und teilweise inkorrekte Darstellung. Der eigentliche Prozess, der vom Funktionsnamen zu eigentlichen Funktion führt ist sehr kompliziert. **function list** ist auch kein Typ in **Java**.

Beispiel: $x = \min(a, \min(a,b) + 4L)$



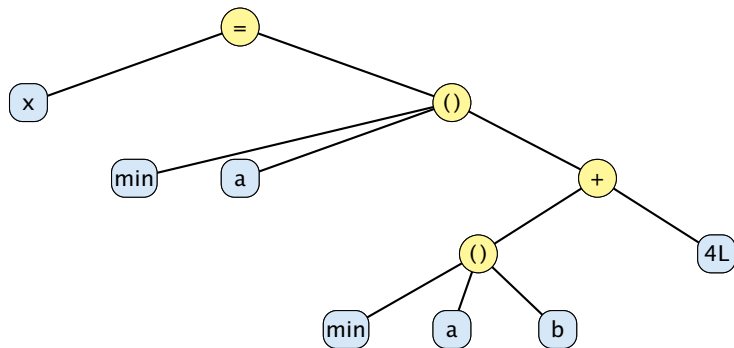
Achtung: Dieses ist eine sehr vereinfachte und teilweise inkorrekte Darstellung. Der eigentliche Prozess, der vom Funktionsnamen zu eigentlichen Funktion führt ist sehr kompliziert. **function list** ist auch kein Typ in **Java**.

Beispiel: $x = \min(a, \min(a,b) + 4L)$



Achtung: Dieses ist eine sehr vereinfachte und teilweise inkorrekte Darstellung. Der eigentliche Prozess, der vom Funktionsnamen zu eigentlichen Funktion führt ist sehr kompliziert. **function list** ist auch kein Typ in **Java**.

Beispiel: $x = \min(a, \min(a,b) + 4L)$



```
int min(int,int)
```

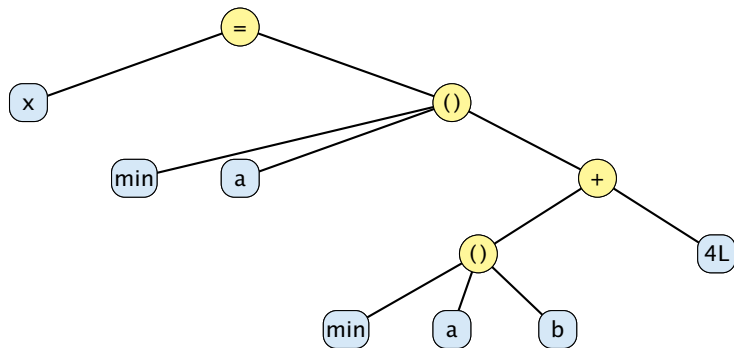
```
float min(float,float)
```

```
double min(double,double)
```

```
long x [ 7 ] int a [ 3 ] int b [ 5 ]
```

Achtung: Dieses ist eine sehr vereinfachte und teilweise inkorrekte Darstellung. Der eigentliche Prozess, der vom Funktionsnamen zu eigentlichen Funktion führt ist sehr kompliziert. **function list** ist auch kein Typ in **Java**.

Beispiel: $x = \min(a, \min(a,b) + 4L)$



```
int min(int,int)
```

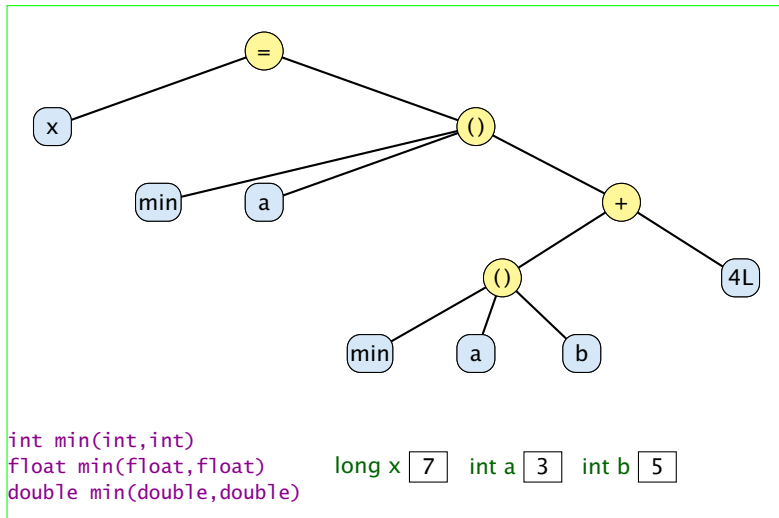
```
float min(float,float)
```

```
double min(double,double)
```

```
long x [ 7 ] int a [ 3 ] int b [ 5 ]
```

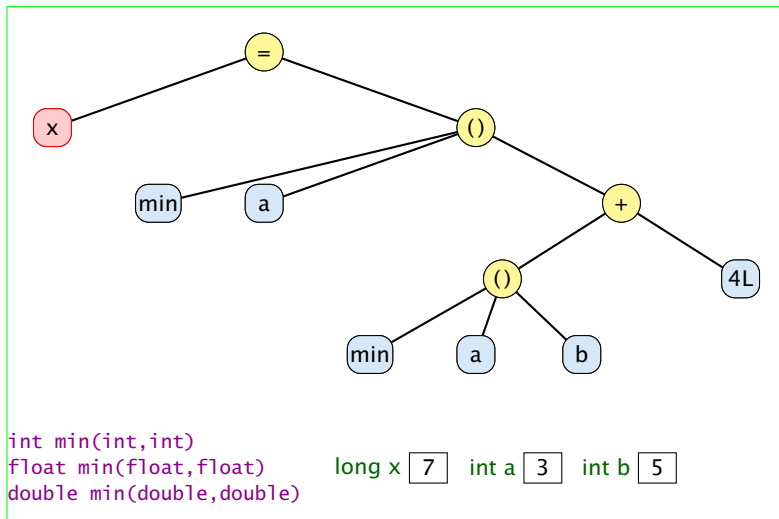
Achtung: Dieses ist eine sehr vereinfachte und teilweise inkorrekte Darstellung. Der eigentliche Prozess, der vom Funktionsnamen zu eigentlichen Funktion führt ist sehr kompliziert. **function list** ist auch kein Typ in **Java**.

Beispiel: $x = \min(a, \min(a,b) + 4L)$



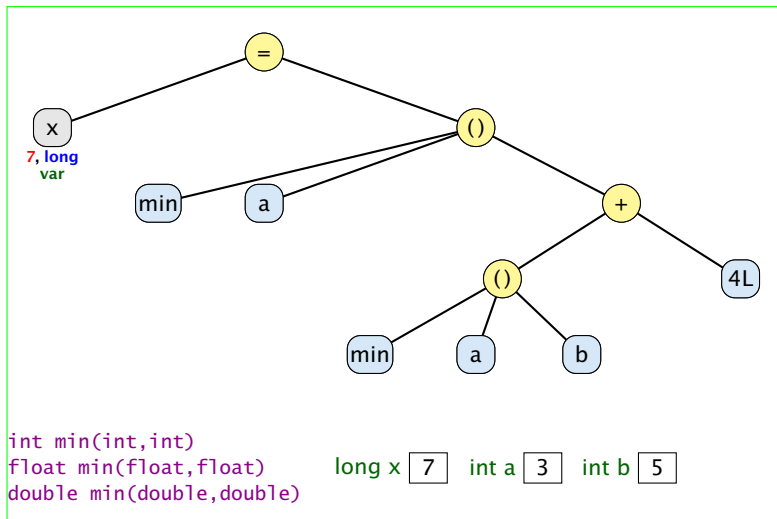
Achtung: Dieses ist eine sehr vereinfachte und teilweise inkorrekte Darstellung. Der eigentliche Prozess, der vom Funktionsnamen zu eigentlichen Funktion führt ist sehr kompliziert. **function list** ist auch kein Typ in **Java**.

Beispiel: $x = \min(a, \min(a,b) + 4L)$



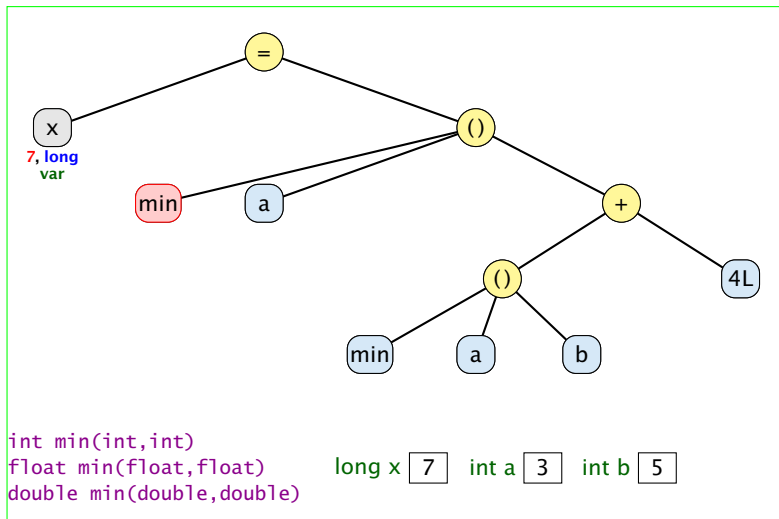
Achtung: Dieses ist eine sehr vereinfachte und teilweise inkorrekte Darstellung. Der eigentliche Prozess, der vom Funktionsnamen zu eigentlichen Funktion führt ist sehr kompliziert. **function list** ist auch kein Typ in **Java**.

Beispiel: $x = \min(a, \min(a,b) + 4L)$



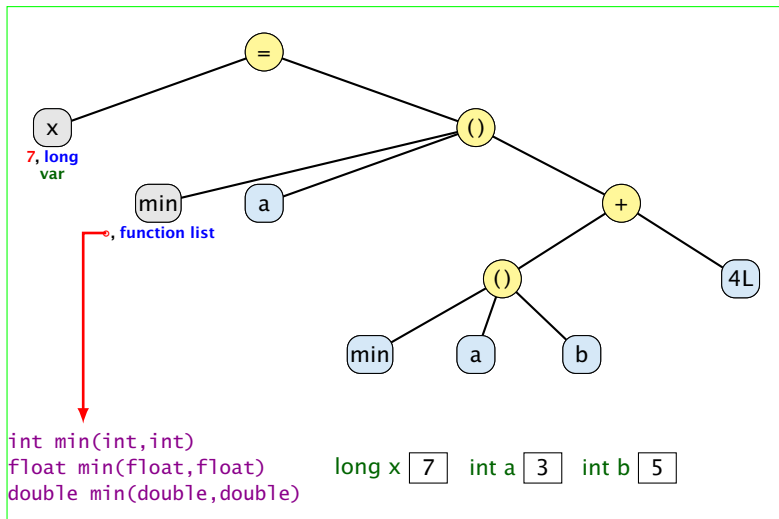
Achtung: Dieses ist eine sehr vereinfachte und teilweise inkorrekte Darstellung. Der eigentliche Prozess, der vom Funktionsnamen zu eigentlichen Funktion führt ist sehr kompliziert. **function list** ist auch kein Typ in **Java**.

Beispiel: $x = \min(a, \min(a,b) + 4L)$



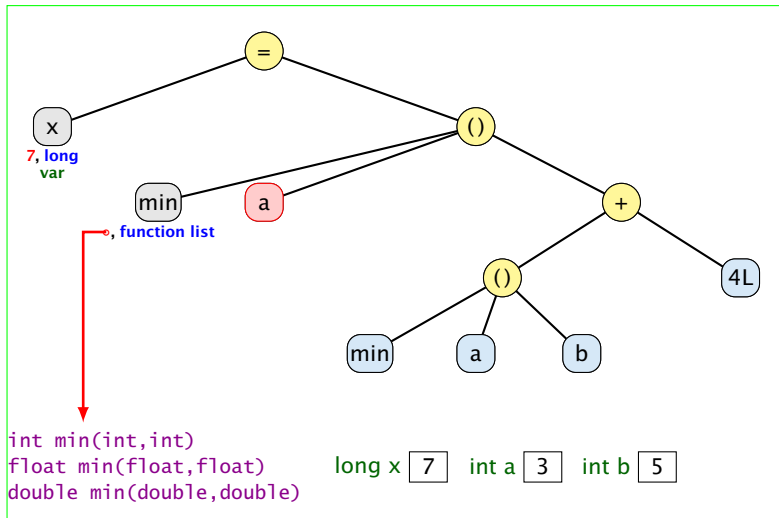
Achtung: Dieses ist eine sehr vereinfachte und teilweise inkorrekte Darstellung. Der eigentliche Prozess, der vom Funktionsnamen zu eigentlichen Funktion führt ist sehr kompliziert. **function list** ist auch kein Typ in **Java**.

Beispiel: $x = \min(a, \min(a,b) + 4L)$



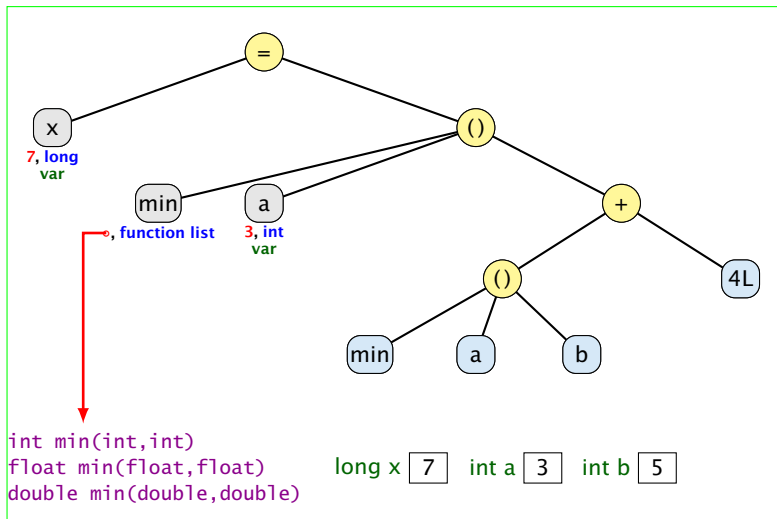
Achtung: Dieses ist eine sehr vereinfachte und teilweise inkorrekte Darstellung. Der eigentliche Prozess, der vom Funktionsnamen zu eigentlichen Funktion führt ist sehr kompliziert. **function list** ist auch kein Typ in **Java**.

Beispiel: $x = \min(a, \min(a,b) + 4L)$



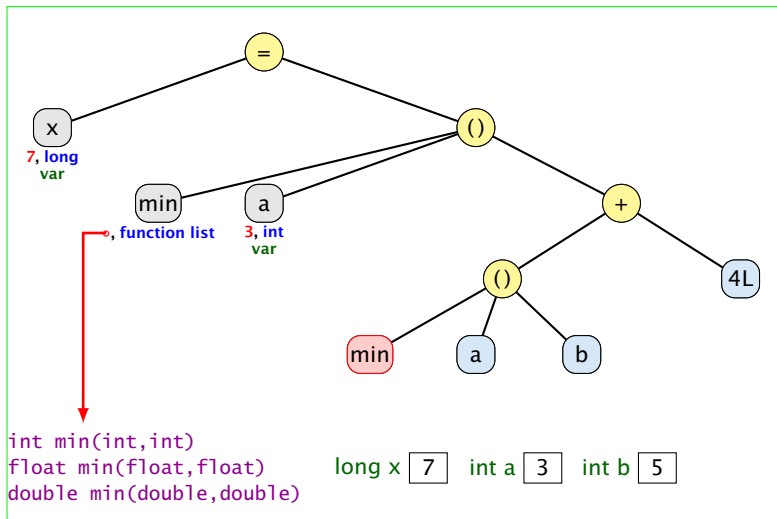
Achtung: Dieses ist eine sehr vereinfachte und teilweise inkorrekte Darstellung. Der eigentliche Prozess, der vom Funktionsnamen zu eigentlichen Funktion führt ist sehr kompliziert. **function list** ist auch kein Typ in **Java**.

Beispiel: $x = \min(a, \min(a,b) + 4L)$



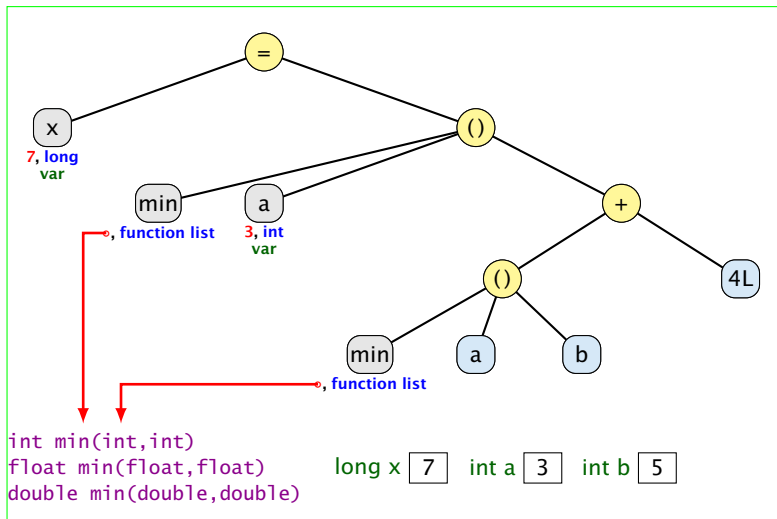
Achtung: Dieses ist eine sehr vereinfachte und teilweise inkorrekte Darstellung. Der eigentliche Prozess, der vom Funktionsnamen zu eigentlichen Funktion führt ist sehr kompliziert. **function list** ist auch kein Typ in **Java**.

Beispiel: $x = \min(a, \min(a,b) + 4L)$



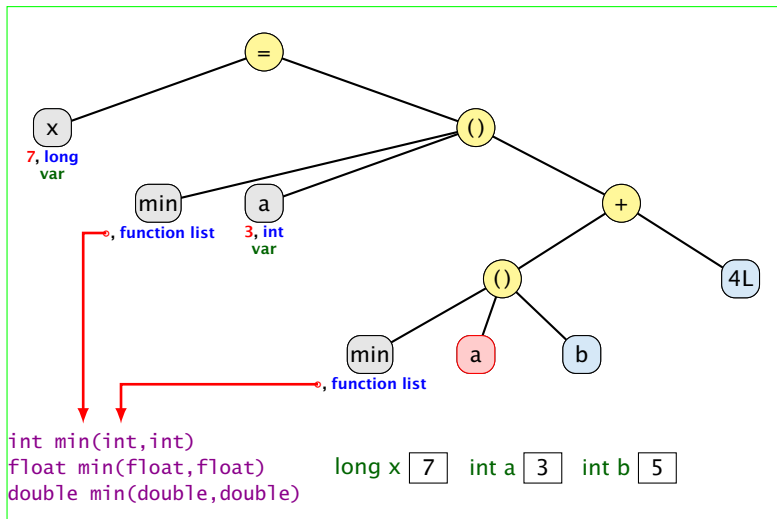
Achtung: Dieses ist eine sehr vereinfachte und teilweise inkorrekte Darstellung. Der eigentliche Prozess, der vom Funktionsnamen zu eigentlichen Funktion führt ist sehr kompliziert. **function list** ist auch kein Typ in **Java**.

Beispiel: $x = \min(a, \min(a,b) + 4L)$



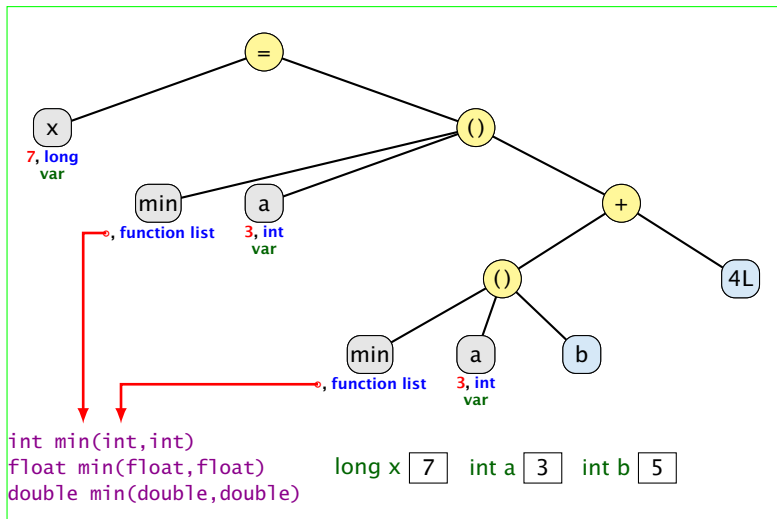
Achtung: Dieses ist eine sehr vereinfachte und teilweise inkorrekte Darstellung. Der eigentliche Prozess, der vom Funktionsnamen zu eigentlichen Funktion führt ist sehr kompliziert. **function list** ist auch kein Typ in **Java**.

Beispiel: $x = \min(a, \min(a,b) + 4L)$



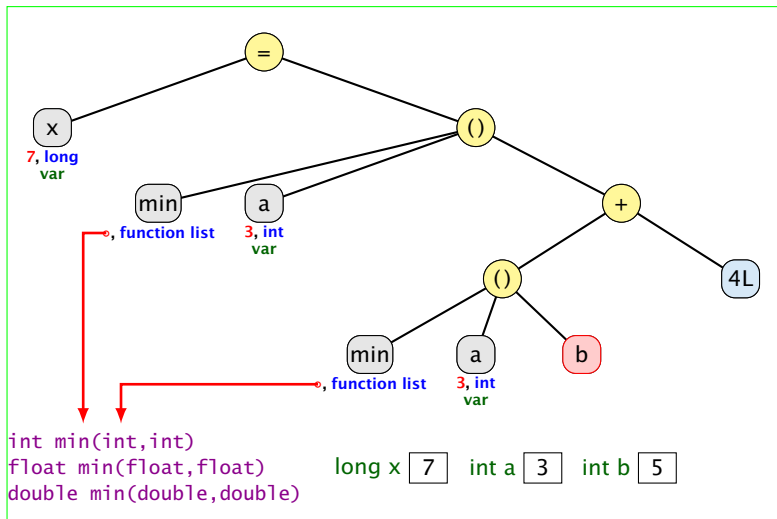
Achtung: Dieses ist eine sehr vereinfachte und teilweise inkorrekte Darstellung. Der eigentliche Prozess, der vom Funktionsnamen zu eigentlichen Funktion führt ist sehr kompliziert. **function list** ist auch kein Typ in **Java**.

Beispiel: $x = \min(a, \min(a,b) + 4L)$



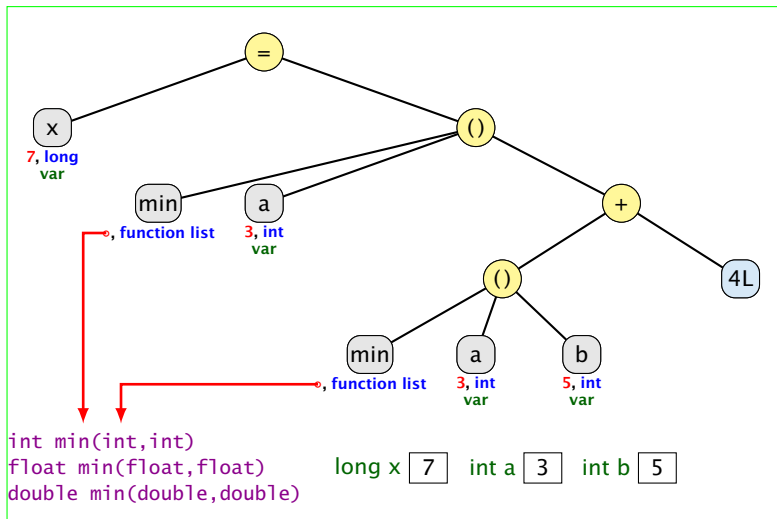
Achtung: Dieses ist eine sehr vereinfachte und teilweise inkorrekte Darstellung. Der eigentliche Prozess, der vom Funktionsnamen zu eigentlichen Funktion führt ist sehr kompliziert. **function list** ist auch kein Typ in **Java**.

Beispiel: $x = \min(a, \min(a,b) + 4L)$



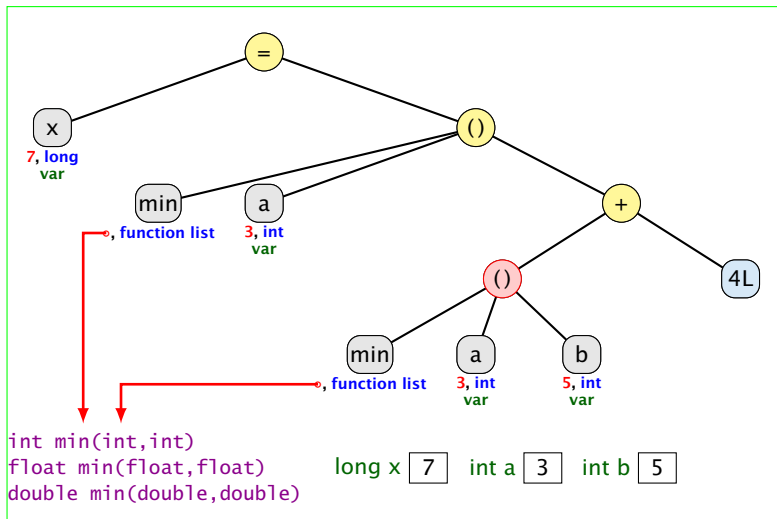
Achtung: Dieses ist eine sehr vereinfachte und teilweise inkorrekte Darstellung. Der eigentliche Prozess, der vom Funktionsnamen zu eigentlichen Funktion führt ist sehr kompliziert. **function list** ist auch kein Typ in **Java**.

Beispiel: $x = \min(a, \min(a,b) + 4L)$



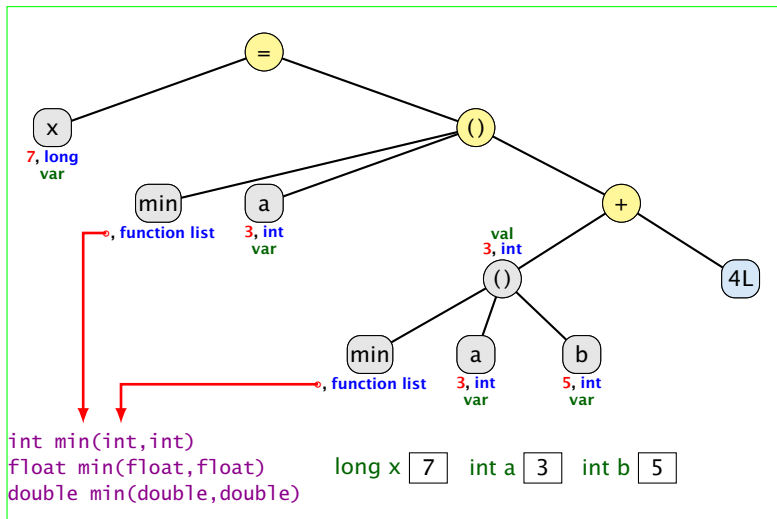
Achtung: Dieses ist eine sehr vereinfachte und teilweise inkorrekte Darstellung. Der eigentliche Prozess, der vom Funktionsnamen zu eigentlichen Funktion führt ist sehr kompliziert. **function list** ist auch kein Typ in **Java**.

Beispiel: $x = \min(a, \min(a,b) + 4L)$



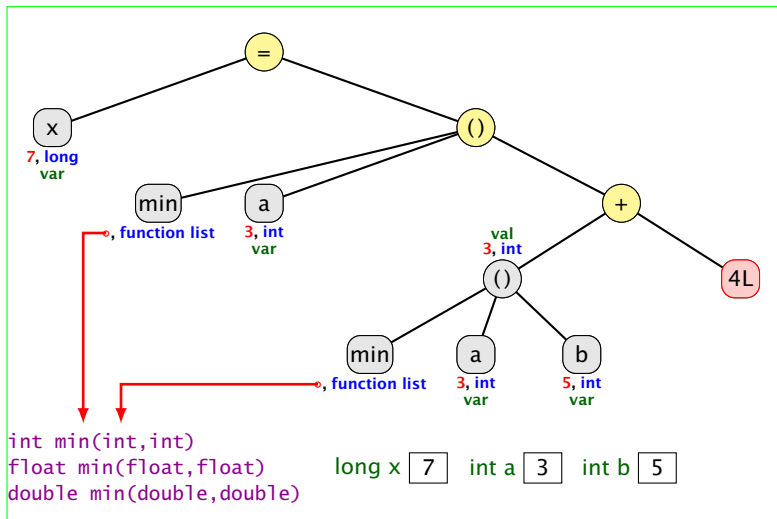
Achtung: Dieses ist eine sehr vereinfachte und teilweise inkorrekte Darstellung. Der eigentliche Prozess, der vom Funktionsnamen zu eigentlichen Funktion führt ist sehr kompliziert. **function list** ist auch kein Typ in **Java**.

Beispiel: $x = \min(a, \min(a,b) + 4L)$



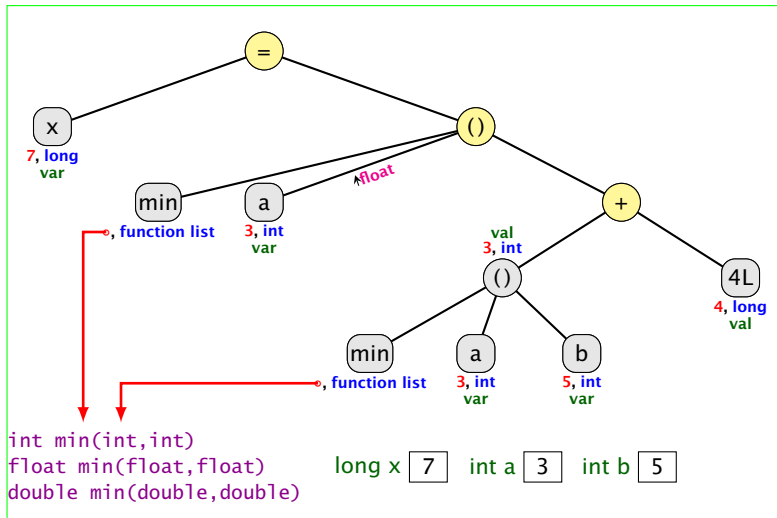
Achtung: Dieses ist eine sehr vereinfachte und teilweise inkorrekte Darstellung. Der eigentliche Prozess, der vom Funktionsnamen zu eigentlichen Funktion führt ist sehr kompliziert. **function list** ist auch kein Typ in **Java**.

Beispiel: $x = \min(a, \min(a,b) + 4L)$



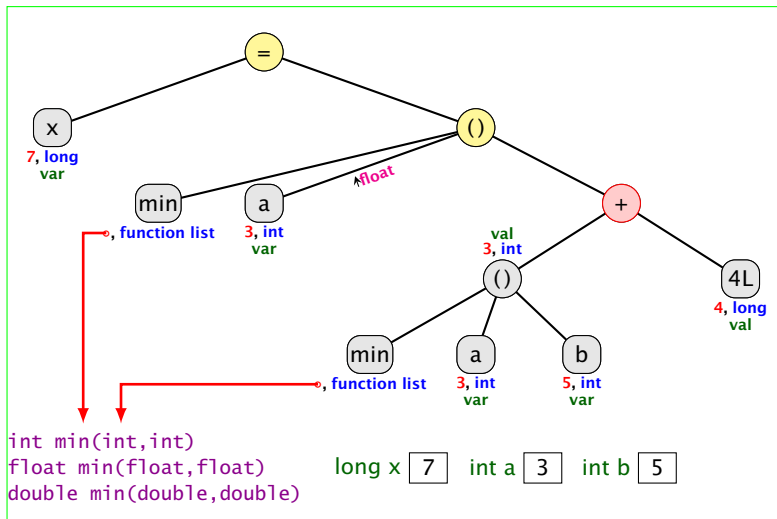
Achtung: Dieses ist eine sehr vereinfachte und teilweise inkorrekte Darstellung. Der eigentliche Prozess, der vom Funktionsnamen zu eigentlichen Funktion führt ist sehr kompliziert. **function list** ist auch kein Typ in **Java**.

Beispiel: $x = \min(a, \min(a,b) + 4L)$



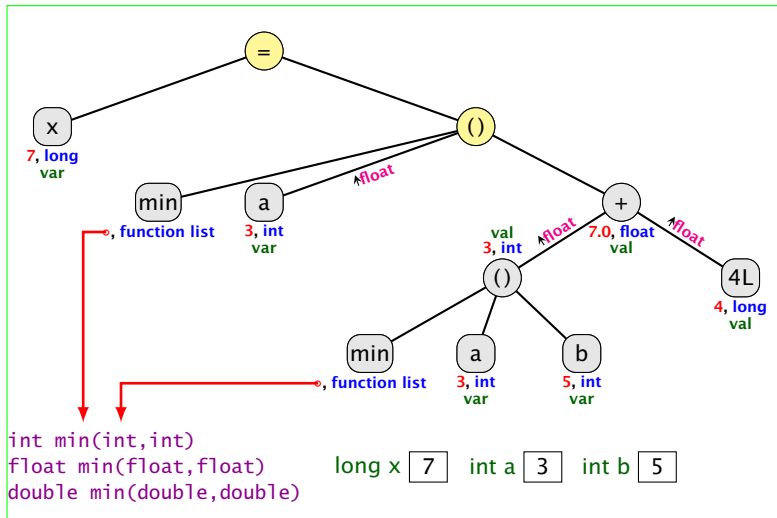
Achtung: Dieses ist eine sehr vereinfachte und teilweise inkorrekte Darstellung. Der eigentliche Prozess, der vom Funktionsnamen zu eigentlichen Funktion führt ist sehr kompliziert. **function list** ist auch kein Typ in Java.

Beispiel: $x = \min(a, \min(a,b) + 4L)$



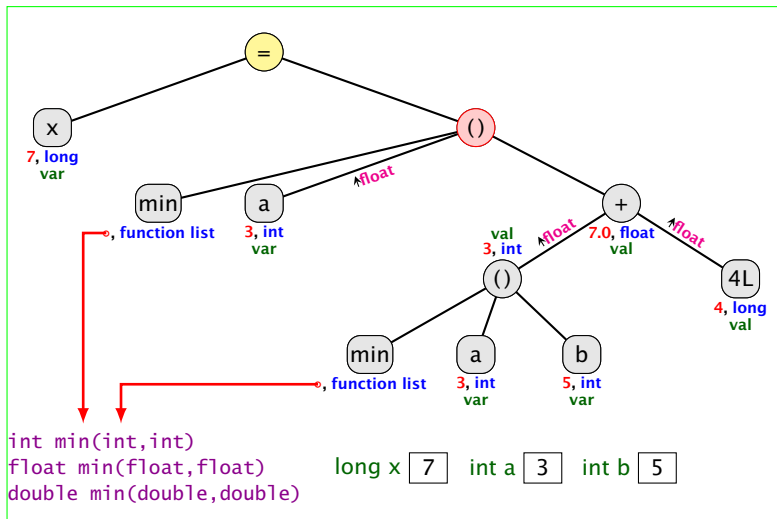
Achtung: Dieses ist eine sehr vereinfachte und teilweise inkorrekte Darstellung. Der eigentliche Prozess, der vom Funktionsnamen zu eigentlichen Funktion führt ist sehr kompliziert. **function list** ist auch kein Typ in **Java**.

Beispiel: $x = \min(a, \min(a,b) + 4L)$



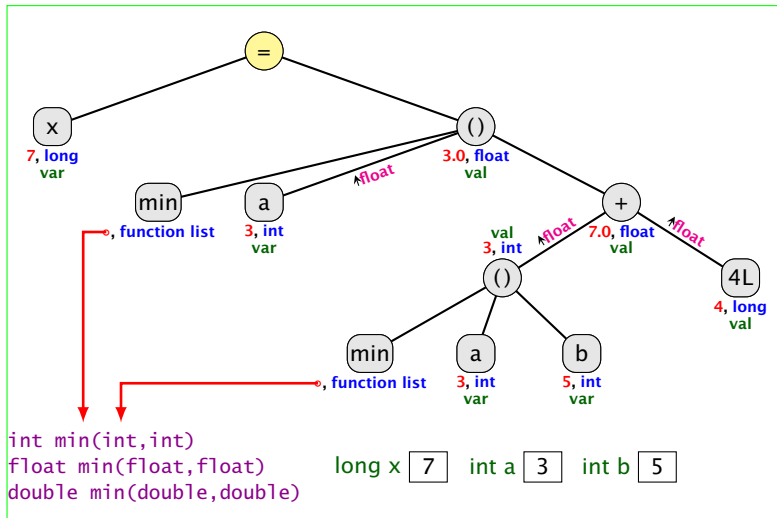
Achtung: Dieses ist eine sehr vereinfachte und teilweise inkorrekte Darstellung. Der eigentliche Prozess, der vom Funktionsnamen zu eigentlichen Funktion führt ist sehr kompliziert. **function list** ist auch kein Typ in **Java**.

Beispiel: $x = \min(a, \min(a,b) + 4L)$



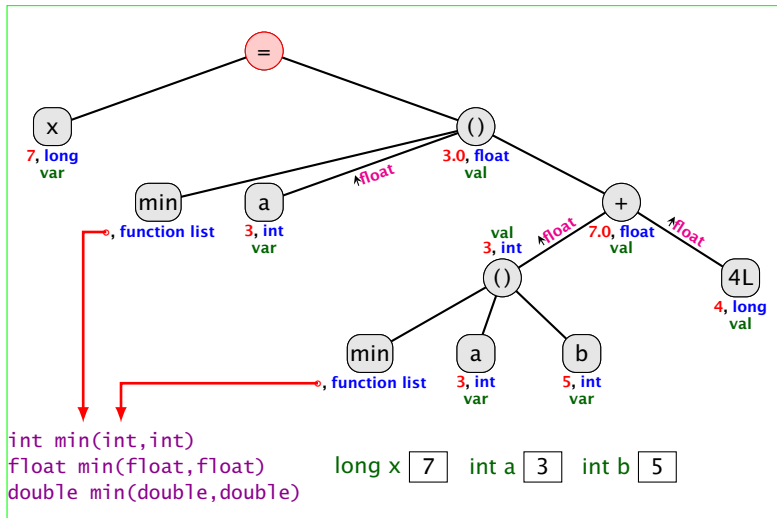
Achtung: Dieses ist eine sehr vereinfachte und teilweise inkorrekte Darstellung. Der eigentliche Prozess, der vom Funktionsnamen zu eigentlichen Funktion führt ist sehr kompliziert. **function list** ist auch kein Typ in **Java**.

Beispiel: $x = \min(a, \min(a,b) + 4L)$



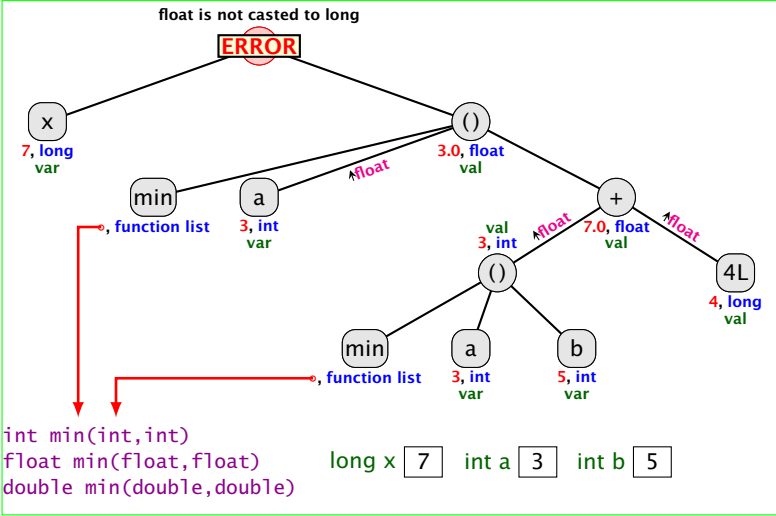
Achtung: Dieses ist eine sehr vereinfachte und teilweise inkorrekte Darstellung. Der eigentliche Prozess, der vom Funktionsnamen zu eigentlichen Funktion führt ist sehr kompliziert. **function list** ist auch kein Typ in **Java**.

Beispiel: $x = \min(a, \min(a,b) + 4L)$



Achtung: Dieses ist eine sehr vereinfachte und teilweise inkorrekte Darstellung. Der eigentliche Prozess, der vom Funktionsnamen zu eigentlichen Funktion führt ist sehr kompliziert. **function list** ist auch kein Typ in **Java**.

Beispiel: $x = \min(a, \min(a,b) + 4L)$



Achtung: Dieses ist eine sehr vereinfachte und teilweise inkorrekte Darstellung. Der eigentliche Prozess, der vom Funktionsnamen zu eigentlichen Funktion führt ist sehr kompliziert. **function list** ist auch kein Typ in Java.

Impliziter Typecast – Strings

Spezialfall

- ▶ Falls beim Operator `+` ein Typ vom Typ `String` ist, wird der andere auch in einen `String` umgewandelt.
⇒ Stringkonkatenation.
- ▶ Jeder Typ in `Java` besitzt eine Stringrepräsentation.

Funktioniert nicht bei selbstgeschriebenen Funktionen.

Beispiel: $s = a + b$

s = a + b

Beispiel: $s = "" + a + b$

TODO

: a = 2 b=6 Resultat ist 26

Beispiel: $s = s + 1$

$s = s + 1$

Beispiel: `s = 7 + 1`

```
s = 7 + 1
```

Wenn der `int`-Ausdruck, der zugewiesen werden soll, zu Compilerzeit bekannt ist, und er in einen `short` „passt“, wird der Cast von `int` nach `short` durchgeführt.

TODO

TypeCast Operator

Beispiele

TODO

vielleicht Beispiele für explizite TypeCasts

```
short as = 1;
```

```
short bs = 1 + as;           compiliert nicht...
```

```
short bs = 1 + 1;
```

```
write(bs)                   liefert: 2
```

```
short xs = 1;
```

```
int x = 99999999;
```

```
write(x + xs);              liefert: 100000000
```

```
short xs = 1;
```

```
float x = 99999999;
```

```
write(x + xs);              liefert: 1.0E8
```

```
int xi = 2147483647;
```

```
float xf = xi;
```

```
write(xf);                   liefert: ????
```

5.4 Arrays

Oft müssen viele Werte gleichen Typs gespeichert werden.

Idee:

- ▶ Lege sie konsekutiv ab!
- ▶ Greife auf einzelne Werte über ihren Index zu!

Feld:	17	3	-2	9	0	1
Index:	0	1	2	3	4	5

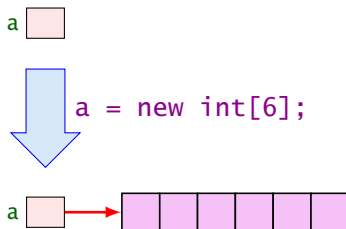
Beispiel

```
1 int [] a; // Deklaration
2 int n = read();
3
4 a = new int[n]; // Anlegen des Felds
5 int i = 0;
6 while (i < n) {
7     a[i] = read();
8     i = i+1;
9 }
```

Einlesen eines Feldes

Beispiel

- ▶ `type[] name;` deklariert eine Variable für ein Feld (`array`), dessen Elemente vom Typ `type` sind.
- ▶ Alternative Schreibweise:
`type name[];`
- ▶ Das Kommando `new` legt ein Feld einer gegebenen Größe an und liefert einen `Verweis` darauf zurück:



Was ist eine Referenz?

Eine Referenzvariable speichert eine Adresse; an dieser Adresse liegt der eigentliche Inhalt der Variablen.



Wir können die Referenz nicht direkt manipulieren (nur über den **new**-Operator, oder indem wir eine andere Referenz zuweisen).

Eine Referenz zeigt dadurch nie auf einen beliebigen Ort im Speicher; sie zeigt immer auf ein gültiges Objekt oder auf das **null**-Objekt.

Wir geben üblicherweise nie den Wert einer Referenzvariablen an, sondern symbolisieren diesen Wert durch einen Pfeil auf die entsprechenden Daten.

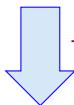
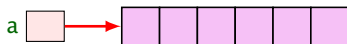
a:

Adresse	Inhalt
⋮	⋮
0000 0127	
0000 0128	0000 012C
0000 0129	
0000 012A	
0000 012B	
0000 012C	0000 0004
0000 012D	0000 0003
0000 012E	0000 0000
0000 012F	0000 0009
0000 0130	
⋮	⋮

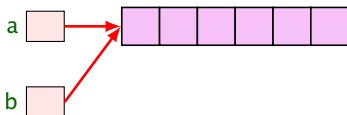
A red arrow originates from the 'a:' label and points to the memory address '0000 012C' in the table, which contains the value '0000 0004'.

5.4 Arrays

- ▶ Der Wert einer Feld-Variable ist also ein Verweis!!!
- ▶ `int[] b = a;` kopiert den Verweis der Variablen `a` in die Variable `b`:



`int[] b = a;`



Insbesondere beim Kopieren von Feldern (und anderen Referenztypen) muss man sich dessen immer bewusst sein.

- ▶ **Alle nichtprimitive Datentypen sind Referenztypen, d.h., die zugehörige Variable speichert einen Verweis!!!**

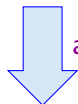
5.4 Arrays

- ▶ Die Elemente eines Feldes sind von 0 an durchnummeriert.
- ▶ Die Anzahl der Elemente des Feldes `name` ist `name.length`.
- ▶ Auf das i -te Element greift man mit `name[i]` zu.
- ▶ Bei jedem Zugriff wird überprüft, ob der Index erlaubt ist, d.h. im Intervall $\{0, \dots, \text{name.length}-1\}$ liegt.
- ▶ Liegt der Index außerhalb des Intervalls, wird eine `ArrayIndexOutOfBoundsException` ausgelöst (↑`Exceptions`).

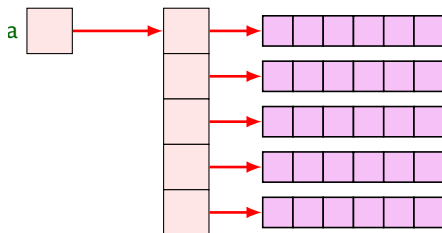
Sie sollten beim Programmieren möglichst nie diese Exception bekommen. In anderen Sprachen (z.B. C/C++ gibt es aus Effizienzgründen keine Überprüfung. Wenn Sie in einer solchen Sprache einen solchen Fehler verursachen, ist der sehr schwierig zu finden.

Mehrdimensionale Felder

- ▶ **Java** unterstützt direkt nur eindimensionale Felder.
- ▶ ein zweidimensionales Feld ist ein Feld von Feldern...



`a = new int[5][6];`



TODO

Der Index-Operator

TODO

Beispiel $a[3][2] = 5$;

5.5 Mehr Kontrollstrukturen

Typische Form der Iteration über Felder:

- ▶ Initialisierung des Laufindex;
- ▶ `while`-Schleife mit Eintrittsbedingung für den Rumpf;
- ▶ Modifizierung des Laufindex am Ende des Rumpfs.

Beispiel

```
1 int result = a[0];
2 int i = 1;      // Initialisierung
3 while (i < a.length) {
4     if (a[i] < result)
5         result = a[i];
6     i = i+1;    // Modifizierung
7 }
8 write(result);
```

Bestimmung des Minimums

Das For-Statement

```
1 int result = a[0];  
2 for (int i = 1; i < a.length; ++i)  
3     if (a[i] < result)  
4         result = a[i];  
5 write(result);
```

Bestimmung des Minimums

Das For-Statement

```
for (init, cond, modify) stmt
```

entspricht:

```
{ init; while (cond) { stmt modify; } }
```

Erläuterungen:

- ▶ $++i$ ist äquivalent zu $i = i + 1$;
- ▶ die `while`-Schleife steht innerhalb eines Blocks (`{...}`)
die Variable `i` ist außerhalb dieses Blocks nicht sichtbar/zugreifbar

5.6 Funktionen und Prozeduren

Oft möchte man:

- ▶ Teilprobleme **separat** lösen; und dann
- ▶ die Lösung **mehrfach** verwenden.

Beispiel

```
public static int[] readArray(int number) {  
    // number = Anzahl zu lesender Elemente  
    int[] result = new int[number]; // Feld anlegen  
    for (int i = 0; i < number; ++i) {  
        result[i] = read();  
    }  
    return result;  
}
```

Einlesen eines Feldes

Beispiel

Type des Rückgabewertes

```
public static int[] readArray(int number) {  
    // number = Anzahl zu lesender Elemente  
    int[] result = new int[number]; // Feld anlegen  
    for (int i = 0; i < number; ++i) {  
        result[i] = read();  
    }  
    return result;  
}
```

Einlesen eines Feldes

Beispiel

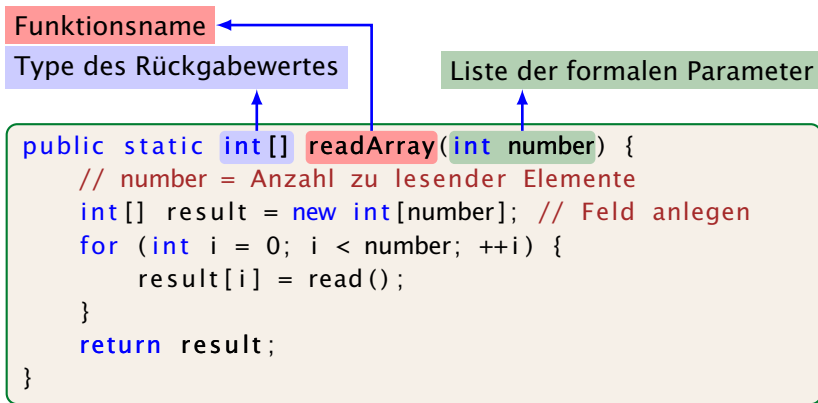
Funktionsname

Type des Rückgabewertes

```
public static int [] readArray(int number) {  
    // number = Anzahl zu lesender Elemente  
    int [] result = new int[number]; // Feld anlegen  
    for (int i = 0; i < number; ++i) {  
        result[i] = read();  
    }  
    return result;  
}
```

Einlesen eines Feldes

Beispiel



Einlesen eines Feldes

Beispiel

Funktionsname

Type des Rückgabewertes

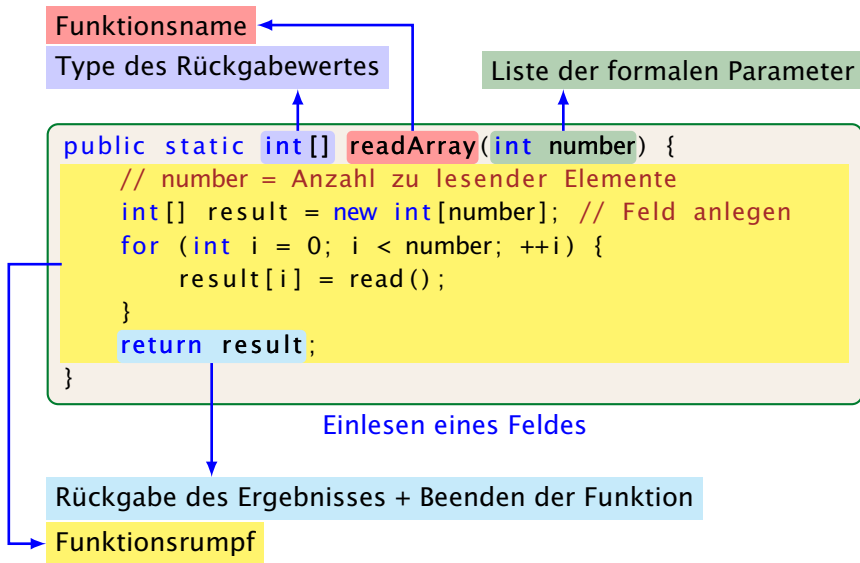
Liste der formalen Parameter

```
public static int [] readArray(int number) {  
    // number = Anzahl zu lesender Elemente  
    int [] result = new int [number]; // Feld anlegen  
    for (int i = 0; i < number; ++i) {  
        result[i] = read();  
    }  
    return result;  
}
```

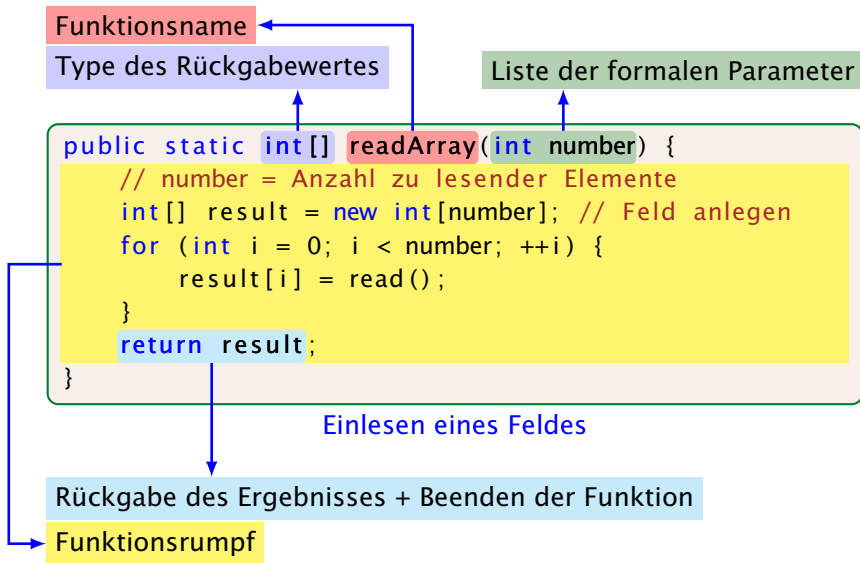
Einlesen eines Feldes

Funktionsrumpf

Beispiel



Beispiel



5.6 Funktionen und Prozeduren

Erläuterungen:

- ▶ Die erste Zeile ist der **Header** der Funktion.
- ▶ **public**, und **static** kommen später
- ▶ **int[]** gibt den Typ des Rückgabe-Werts an.
- ▶ **readArray** ist der Name, mit dem die Funktion aufgerufen wird.
- ▶ Dann folgt (in runden Klammern und komma-separiert) die Liste der **formalen Parameter**, hier: **(int number)**.
- ▶ Der Rumpf der Funktion steht in geschweiften Klammern.
- ▶ **return expr**; beendet die Ausführung der Funktion und liefert den Wert von **expr** zurück.

5.6 Funktionen und Prozeduren

Erläuterungen:

- ▶ Die Variablen, die innerhalb eines Blocks angelegt werden, d.h. innerhalb von '{' und '}', sind nur innerhalb dieses Blocks sichtbar, d.h. benutzbar (lokale Variablen).
- ▶ Der Rumpf einer Funktion ist ein Block.
- ▶ Die formalen Parameter können auch als lokale Variablen aufgefasst werden.
- ▶ Bei dem Aufruf `readArray(7)` erhält der formale Parameter `number` den Wert `7` (aktueller Parameter).

Beispiel

```
public static int min(int[] b) {  
    int result = b[0];  
    for (int i = 1; i < b.length; ++i) {  
        if (b[i] < result)  
            result = b[i];  
    }  
    return result;  
}
```

Bestimmung des Minimums

Beispiel

```
public class Min extends MiniJava {
    public static int[] readArray(int number) { ... }
    public static int min(int[] b) { ... }
    // Jetzt kommt das Hauptprogramm
    public static void main(String[] args) {
        int n = read();
        int[] a = readArray(n);
        int result = min(a);
        write(result);
    } // end of main()
} // end of class Min
```

Programm zur Minimumsberechnung

Beispiel

Erläuterungen:

- ▶ Manche Funktionen, deren Ergebnistyp `void` ist, geben gar keine Werte zurück – im Beispiel: `write()` und `main()`. Diese Funktionen heißen **Prozeduren**.
- ▶ Das Hauptprogramm hat immer als Parameter ein Feld `args` von `String`-Elementen.
- ▶ In diesem Argument-Feld werden dem Programm Kommandozeilen-Argumente verfügbar gemacht.

```
public class Test extends MiniJava {  
    public static void main (String [] args) {  
        write (args [0]+args [1]);  
    }  
} // end of class Test
```

Beispiel

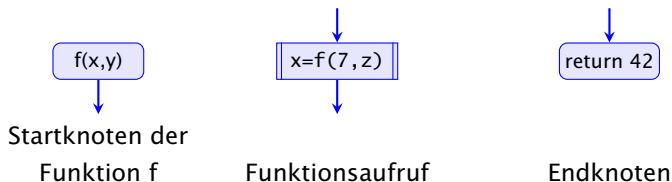
Der Aufruf

```
java Test "He1" "1o Wor1d!"
```

liefert: He11o Wor1d!

5.6 Funktionen und Prozeduren

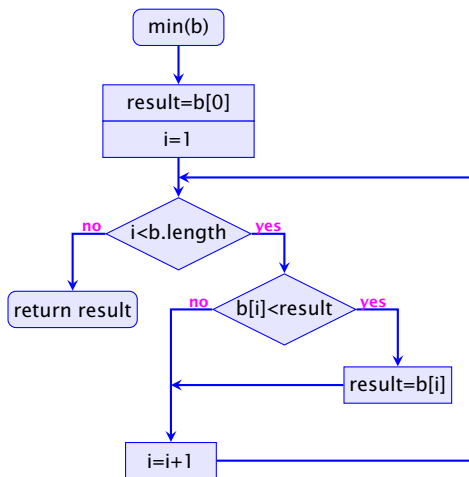
Um die Arbeitsweise von Funktionen zu veranschaulichen erweitern/modifizieren wir die Kontrollflussdiagramme



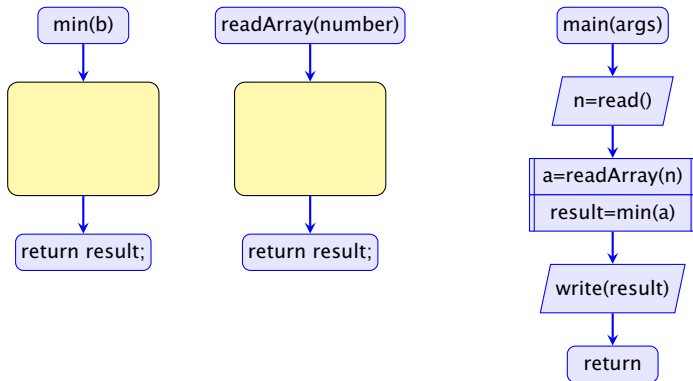
- ▶ Für jede Funktion wird ein eigenes Teildiagramm erstellt.
- ▶ Ein Aufrufknoten repräsentiert eine Teilberechnung der aufgerufenen Funktion.

5.6 Funktionen und Prozeduren

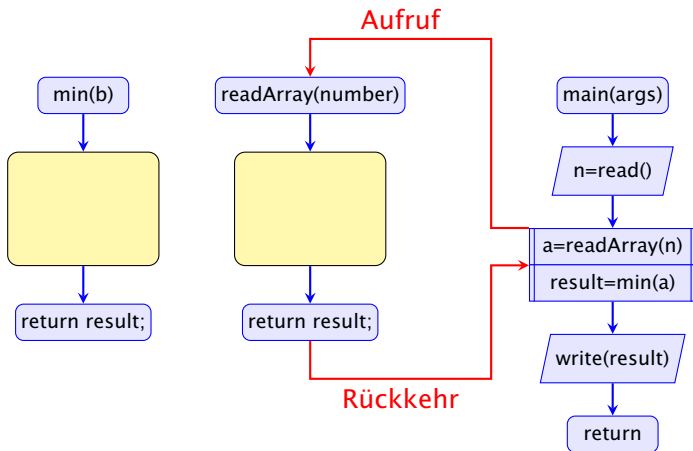
Teildiagramm der Funktion `min()`:



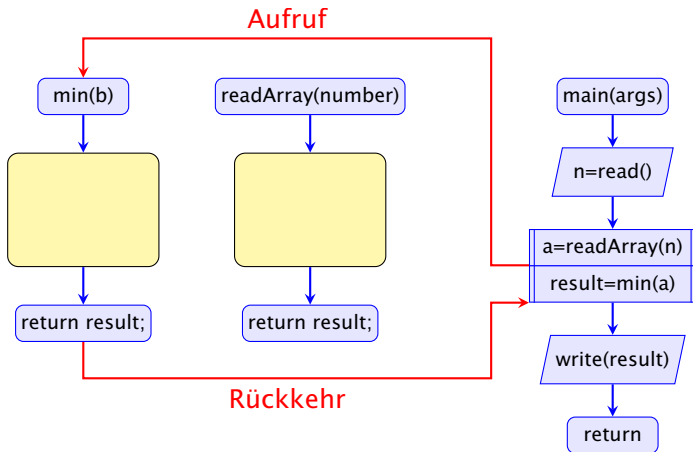
5.6 Funktionen und Prozeduren



5.6 Funktionen und Prozeduren



5.6 Funktionen und Prozeduren



TODO

Speicherorganisation stack/heap

call stack

call by value

call by reference

Parameterübergabe

Fakultät als einfache rekursive Funktion; verdeutlicht
Parameterübergabe

6 Anwendung: Sortieren

Gegeben: eine Folge von ganzen Zahlen.

Gesucht: die zugehörige aufsteigend sortierte Folge.

Idee:

- ▶ speichere die Folge in einem Feld ab;
- ▶ lege ein weiteres Feld an;
- ▶ füge der Reihe nach jedes Element des ersten Felds an der richtigen Stelle in das zweite Feld ein!

⇒ Sortieren durch Einfügen (↑InsertionSort)

6 Anwendung: Sortieren

```
1 public static int[] sort(int[] a) {
2     int n = a.length;
3     int[] b = new int[n];
4     for (int i = 0; i < n; ++i)
5         insert(b, a[i], i);
6         // b    = Feld, in das eingefuegt wird
7         // a[i] = einzufuegendes Element
8         // i    = Anzahl von Elementen in b
9     return b;
10 } // end of sort ()
```

Sortieren durch Einfügen

Teilproblem: wie fügt man ein?

Beispiel

17	3	-2	9	0	1	7	42	5
----	---	----	---	---	---	---	----	---

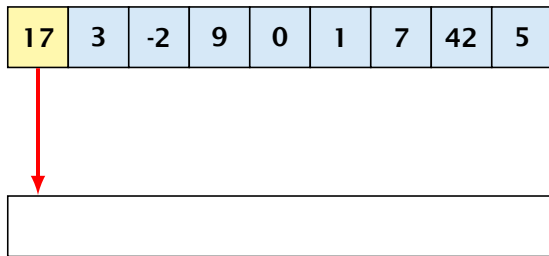
--

Beispiel

17	3	-2	9	0	1	7	42	5
----	---	----	---	---	---	---	----	---

--

Beispiel



Beispiel

17	3	-2	9	0	1	7	42	5
----	---	----	---	---	---	---	----	---

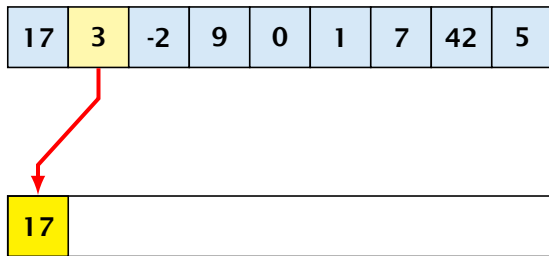
17								
----	--	--	--	--	--	--	--	--

Beispiel

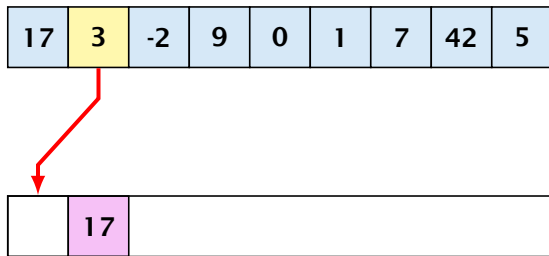
17	3	-2	9	0	1	7	42	5
----	---	----	---	---	---	---	----	---

17								
----	--	--	--	--	--	--	--	--

Beispiel



Beispiel

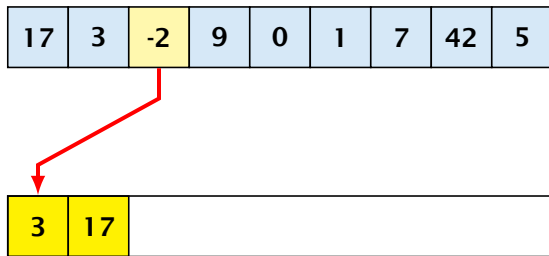


Beispiel

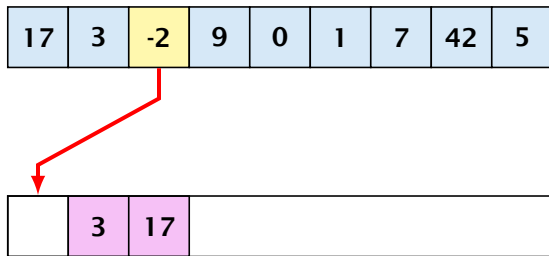
17	3	-2	9	0	1	7	42	5
----	---	----	---	---	---	---	----	---

3	17							
---	----	--	--	--	--	--	--	--

Beispiel



Beispiel

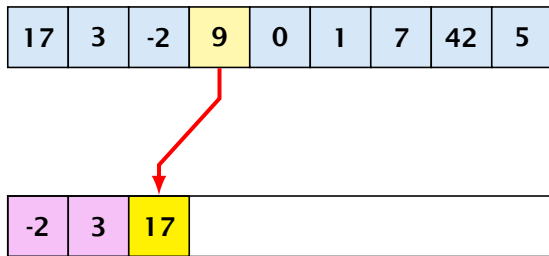


Beispiel

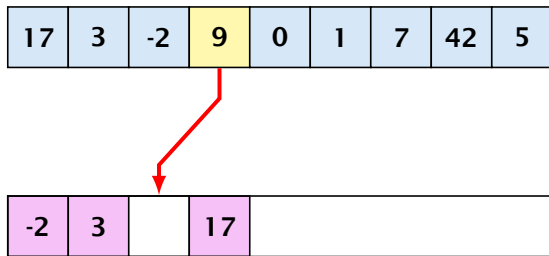
17	3	-2	9	0	1	7	42	5
----	---	----	---	---	---	---	----	---

-2	3	17						
----	---	----	--	--	--	--	--	--

Beispiel



Beispiel

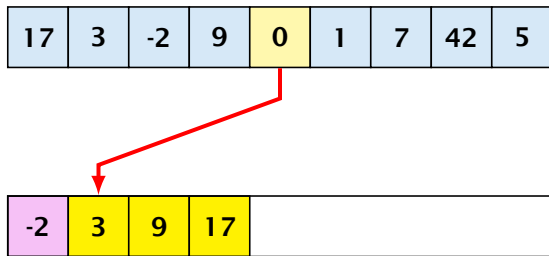


Beispiel

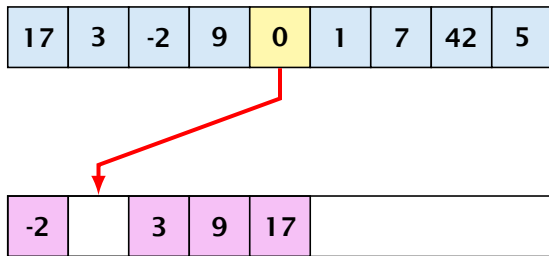
17	3	-2	9	0	1	7	42	5
----	---	----	---	---	---	---	----	---

-2	3	9	17					
----	---	---	----	--	--	--	--	--

Beispiel



Beispiel

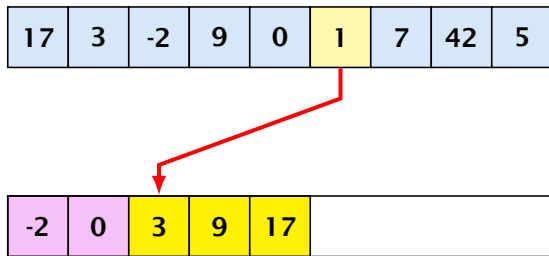


Beispiel

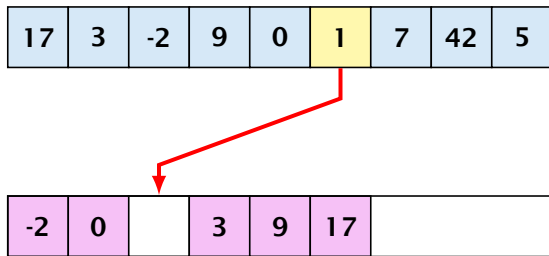
17	3	-2	9	0	1	7	42	5
----	---	----	---	---	---	---	----	---

-2	0	3	9	17				
----	---	---	---	----	--	--	--	--

Beispiel



Beispiel

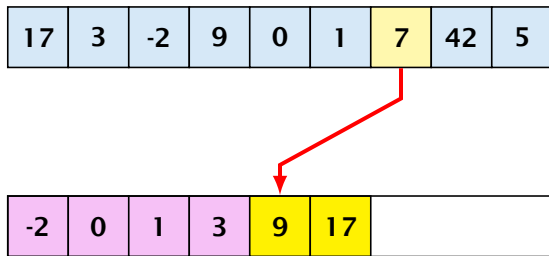


Beispiel

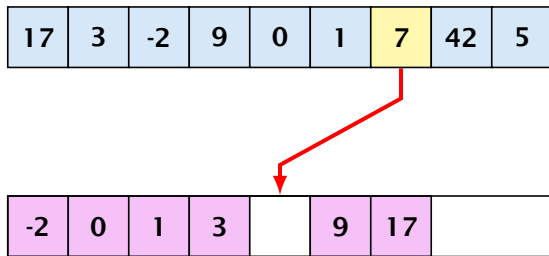
17	3	-2	9	0	1	7	42	5
----	---	----	---	---	---	---	----	---

-2	0	1	3	9	17	
----	---	---	---	---	----	--

Beispiel



Beispiel

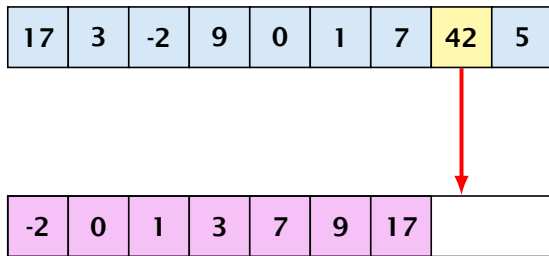


Beispiel

17	3	-2	9	0	1	7	42	5
----	---	----	---	---	---	---	----	---

-2	0	1	3	7	9	17	
----	---	---	---	---	---	----	--

Beispiel

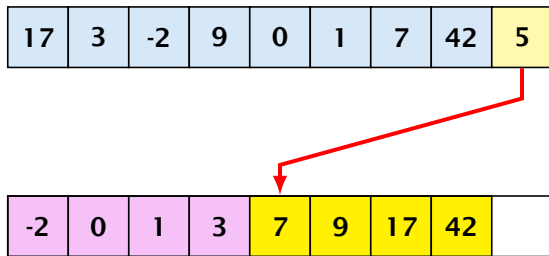


Beispiel

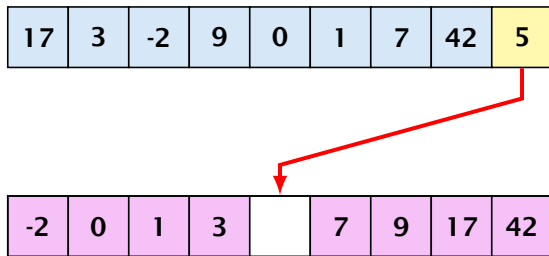
17	3	-2	9	0	1	7	42	5
----	---	----	---	---	---	---	----	---

-2	0	1	3	7	9	17	42	
----	---	---	---	---	---	----	----	--

Beispiel



Beispiel



Beispiel

17	3	-2	9	0	1	7	42	5
----	---	----	---	---	---	---	----	---

-2	0	1	3	5	7	9	17	42
----	---	---	---	---	---	---	----	----

6 Anwendung: Sortieren

```
1 public static void insert(int[] b, int x, int i) {
2     int j = locate(b,x,i);
3         // finde Einfuegestelle j fuer x in b
4     shift(b,j,i);
5         // verschiebe in b Elemente
           b[j],...,b[i-1]
6         // nach rechts
7     b[j] = x;
8 }
```

Einfügen

- ▶ Wie findet man Einfügestelle?
- ▶ Wie verschiebt man nach rechts?

6 Anwendung: Sortieren

```
1 public static int locate(int[] b, int x, int i) {
2     int j = 0;
3     while (j < i && x > b[j]) ++j;
4     return j;
5 }
6 public static void shift(int[] b, int j, int i) {
7     for (int k = i-1; k >= j; --k)
8         b[k+1] = b[k];
9 }
```

- ▶ Warum läuft Iteration in `shift()` von `i-1` **abwärts** nach `j`?
- ▶ Zweite Argument des Operators `&&` wird nur ausgewertet, sofern das erste `true` ergibt (**Kurzschluss-Auswertung!**).
Sonst würde hier auf **uninitialisierte** Variable zugegriffen!

6 Anwendung: Sortieren

Erläuterungen

- ▶ Das Feld `b` ist (ursprünglich) lokale Variable von `sort()`.
- ▶ Lokale Variablen sind nur im eigenen Funktionsrumpf sichtbar, nicht in den aufgerufenen Funktionen.
- ▶ Damit die aufgerufenen Hilfsfunktionen auf `b` zugreifen können, muss `b` explizit als Parameter übergeben werden!

Achtung:

Das Feld wird nicht kopiert. Das Argument ist der Wert der Variablen `b`, also nur eine Referenz!

- ▶ Deshalb benötigen weder `insert()`, noch `shift()` einen separaten Rückgabewert. . .
- ▶ Weil das Problem so klein ist, würde eine erfahrene Programmiererin hier keine Unterprogramme benutzen...

6 Anwendung: Sortieren

```
1 public static int[] sort(int[] a) {
2     int[] b = new int[a.length];
3     for (int i = 0; i < a.length; ++i) {
4         // begin of insert
5         int j = 0;
6         while (j < i && a[i] > b[j]) ++j;
7         // end of locate
8         for (int k = i-1; k >= j; --k)
9             b[k+1] = b[k];
10        // end of shift
11        b[j] = a[i];
12        // end of insert
13    }
14    return b;
15 } // end of sort
```

6 Anwendung: Sortieren

Diskussion

- ▶ Die Anzahl der ausgeführten Operationen wächst quadratisch in der Größe des Felds a .
- ▶ Glücklicherweise gibt es Sortierverfahren, die eine bessere Laufzeit haben (↑**Algorithmen und Datenstrukturen**).

7 Anwendung: Suchen

Gegeben: Folge a ganzer Zahlen; Element x

Gesucht: Wo kommt x in a vor?

Naives Vorgehen:

- ▶ Vergleiche x der Reihe nach mit $a[0]$, $a[1]$, usw.
- ▶ Finden wir i mit $a[i] == x$, geben wir i aus.
- ▶ Andernfalls geben wir -1 aus: „Element nicht gefunden“!

Naives Suchen

```
1 public static int find(int[] a, int x) {
2     int i = 0;
3     while (i < a.length && a[i] != x--)
4         ++i;
5     if (i == a.length)
6         return -1;
7     else
8         return i;
9 }
```

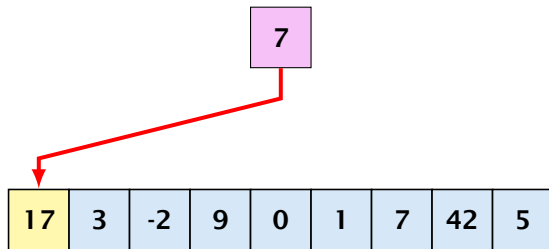
Naives Suchen

Beispiel

7

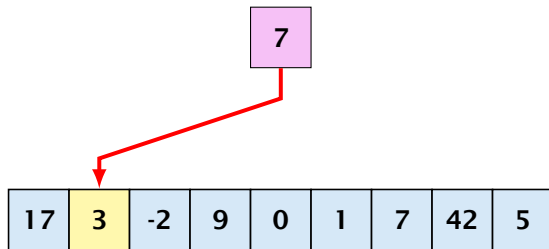
17	3	-2	9	0	1	7	42	5
----	---	----	---	---	---	---	----	---

Beispiel



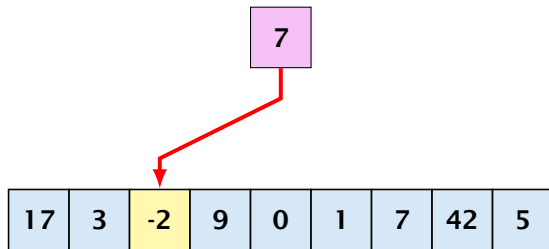
no

Beispiel



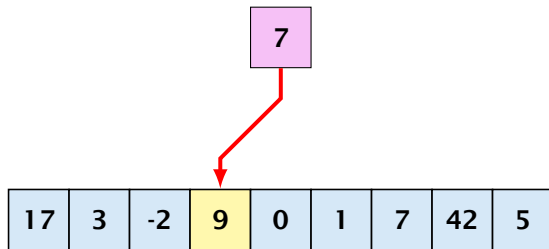
no

Beispiel



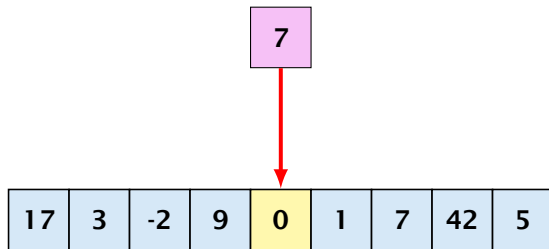
no

Beispiel



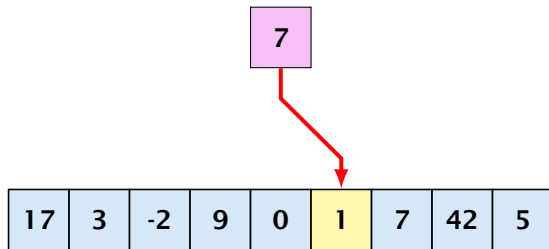
no

Beispiel



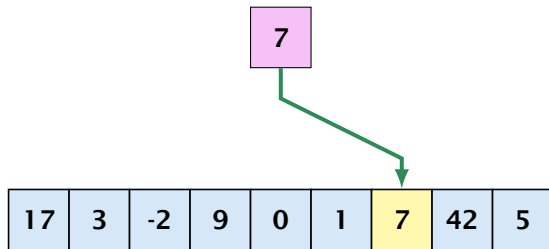
no

Beispiel



no

Beispiel



yes

Beispiel

7

17	3	-2	9	0	1	7	42	5
----	---	----	---	---	---	---	----	---

no

Naives Suchen

- ▶ Im Beispiel benötigen wir 7 Vergleiche
- ▶ Im schlimmsten Fall (**worst case**) benötigen wir bei einem Feld der Länge n sogar n Vergleiche.
- ▶ Kommt x tatsächlich im Feld vor, benötigen wir selbst im Durchschnitt $(n + 1)/2$ Vergleiche.

...geht das nicht besser?

Binäre Suche

Idee:

- ▶ Sortiere das Feld.
- ▶ Vergleiche x mit dem Wert, der in der Mitte steht.
- ▶ Liegt Gleichheit vor, sind wir fertig.
- ▶ Ist x kleiner, brauchen wir nur noch links weitersuchen.
- ▶ Ist x größer, brauchen wir nur noch rechts weiter suchen.

⇒ binäre Suche

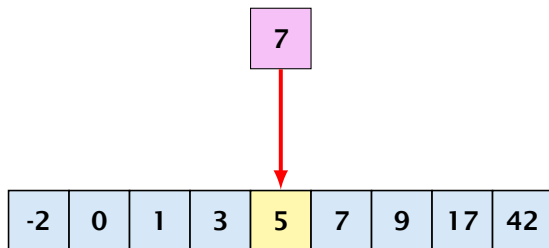
Beispiel

7

-2	0	1	3	5	7	9	17	42
----	---	---	---	---	---	---	----	----

- ▶ wir benötigen nur **drei** Vergleiche
- ▶ hat das Feld $2^n - 1$ Elemente, benötigen wir maximal n Vergleiche

Beispiel



no

- ▶ wir benötigen nur **drei** Vergleiche
- ▶ hat das Feld $2^n - 1$ Elemente, benötigen wir maximal n Vergleiche

Beispiel

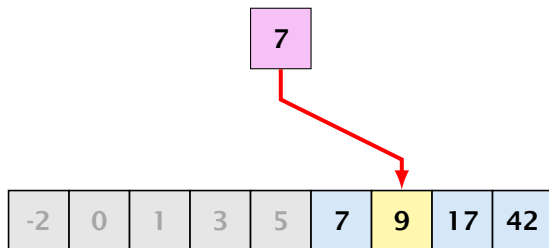
7

-2	0	1	3	5	7	9	17	42
----	---	---	---	---	---	---	----	----

no

- ▶ wir benötigen nur **drei** Vergleiche
- ▶ hat das Feld $2^n - 1$ Elemente, benötigen wir maximal n Vergleiche

Beispiel



no

- ▶ wir benötigen nur **drei** Vergleiche
- ▶ hat das Feld $2^n - 1$ Elemente, benötigen wir maximal n Vergleiche

Beispiel

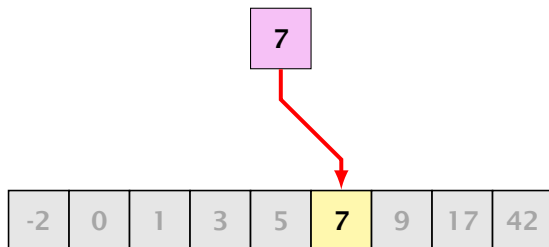
7

-2	0	1	3	5	7	9	17	42
----	---	---	---	---	---	---	----	----

no

- ▶ wir benötigen nur **drei** Vergleiche
- ▶ hat das Feld $2^n - 1$ Elemente, benötigen wir maximal n Vergleiche

Beispiel



yes

- ▶ wir benötigen nur **drei** Vergleiche
- ▶ hat das Feld $2^n - 1$ Elemente, benötigen wir maximal n Vergleiche

Implementierung

Idee:

Führe Hilfsfunktion

```
public static int find0(int[] a, int x, int n1, int n2)
```

ein, die im Intervall $[n1, n2]$ sucht.

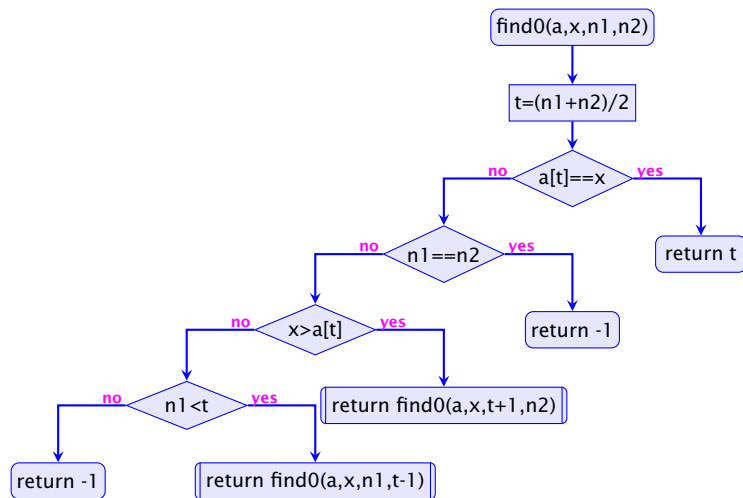
Damit:

```
public static int find(int[] a, int x) {  
    return find0(a, x, 0, a.length - 1)  
}
```

Implementierung

```
1 public static int find0(int[] a, int x, int n1, int n2) {
2     int t = (n1+n2)/2;
3     if (a[t] == x)
4         return t;
5     else if (n1 == n2)
6         return -1;
7     else if (x > a[t])
8         return find0 (a,x,t+1,n2);
9     else if (n1 < t)
10        return find0 (a,x,n1,t-1);
11    else return -1;
12 }
```

Kontrollflussdiagramm für find0

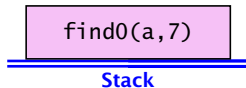


Erläuterungen:

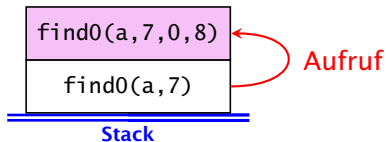
- ▶ zwei der `return`-Statements enthalten einen Funktionsaufruf – deshalb die Markierungen an den entsprechenden Knoten.
- ▶ (Wir hätten stattdessen auch zwei Knoten und eine Hilfsvariable `result` einführen können)
- ▶ `find0()` ruft sich selbst auf.
- ▶ Funktionen, die sich selbst (evt. mittelbar) aufrufen, heißen **rekursiv**.

TODO

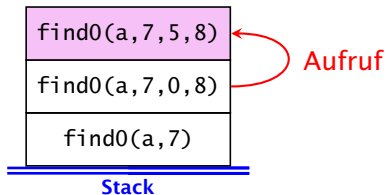
austauschen



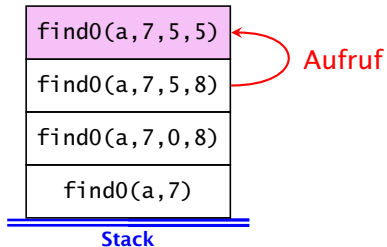
TODO
austauschen



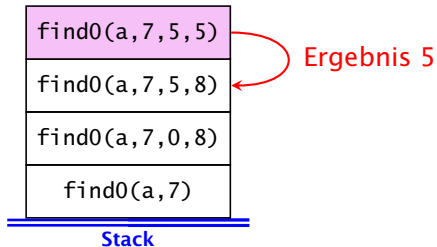
TODO
austauschen



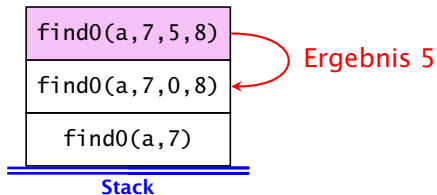
TODO
austauschen



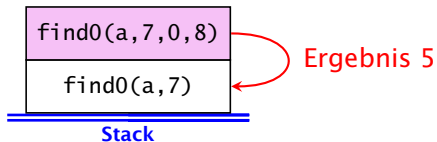
TODO
austauschen



TODO
austauschen



TODO
austauschen



Beobachtung

- ▶ Die Verwaltung der Funktionsaufrufe erfolgt nach dem **LIFO-Prinzip (Last-In-First-Out)**.
- ▶ Eine Datenstruktur, die nach diesem Stapel-Prinzip verwaltet wird, heißt auch **Keller** oder **Stack**.
- ▶ Aktiv ist jeweils nur der oberste/letzte Aufruf.
- ▶ **Achtung:** es kann zu einem Zeitpunkt mehrere weitere **inaktive** Aufrufe der selben Funktion geben!

Terminierung

Um zu **beweisen**, dass `find0()` terminiert, beobachten wir:

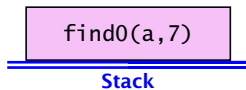
1. Wird `find0()` für ein einelementiges Intervall $[n, n]$ aufgerufen, dann terminiert der Funktionsaufruf direkt.
2. wird `find0()` für ein Intervall $[n1, n2]$ aufgerufen mit mehr als einem Element, dann terminiert der Aufruf entweder direkt (weil `x` gefunden wurde), oder `find0()` wird mit einem Intervall aufgerufen, das **echt** in $[n1, n2]$ enthalten ist, genauer: sogar maximal die Hälfte der Elemente von $[n1, n2]$ enthält.

Ähnliche Beweistechnik wird auch für andere rekursive Funktionen verwendet.

Beobachtung

- ▶ Das Ergebnis eines Aufrufs von `find0()` liefert **direkt** das Ergebnis auch für die aufrufende Funktion!
- ▶ Solche Rekursion heißt **End-** oder **Tail-Rekursion**.
- ▶ End-Rekursion kann auch ohne Aufrufkeller implementiert werden. . .
- ▶ **Idee:** lege den neuen Aufruf von `find0()` nicht oben auf den Stapel drauf, sondern **ersetze** den bereits dort liegenden Aufruf!

Verbesserte Ausführung



Verbesserte Ausführung

find0(a,7,0,8)

Stack

Verbesserte Ausführung

find0(a,7,5,8)

Stack

Verbesserte Ausführung

find0(a,7,5,5)

Stack

Verbesserte Ausführung

`find0(a,7,5,5)`
Stack

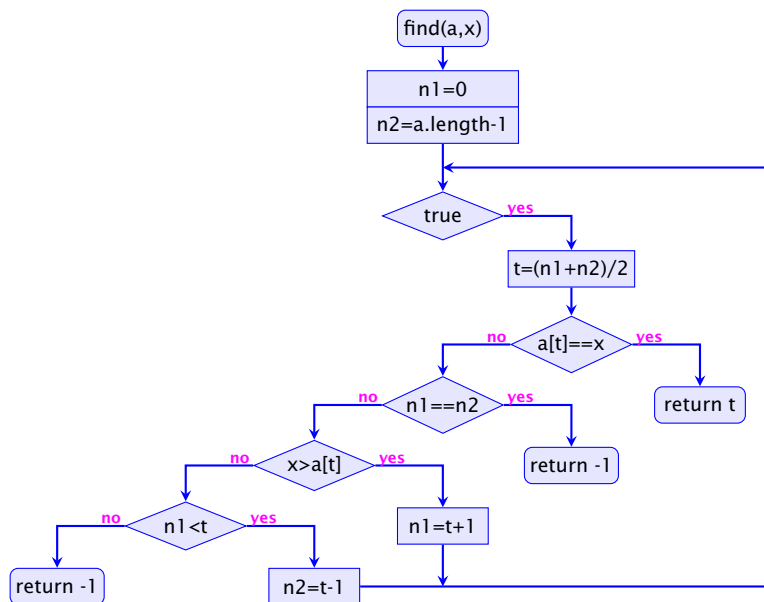
Ergebnis 5

Endrekursion

Endrekursion kann durch **Iteration** ersetzt werden...

```
1 public static int find (int[] a, int x) {
2     int n1 = 0;
3     int n2 = a.length-1;
4     while (true) {
5         int t = (n2+n1)/2;
6         if (x == a[t]) return t;
7         else if (n1 == n2) return -1;
8         else if (x > a[t]) n1 = t+1;
9         else if (n1 < t) n2 = t-1;
10        else return -1;
11    } // end of while
12 } // end of find
```

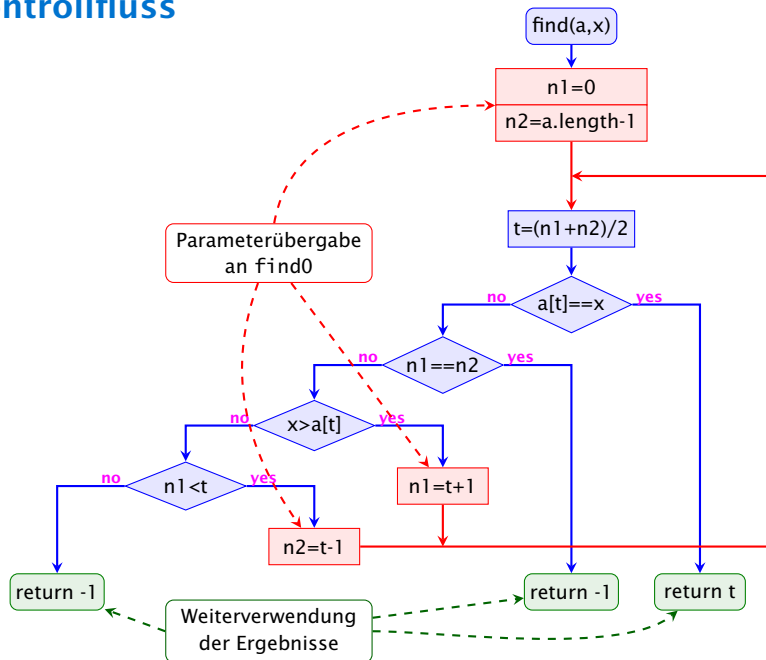
Kontrollfluss



Verlassen von Schleifen

- ▶ Die Schleife wird hier alleine durch die `return`-Anweisungen verlassen.
- ▶ Offenbar machen Schleifen mit **mehreren** Ausgängen Sinn.
- ▶ Um eine Schleife zu verlassen, ohne gleich ans Ende der Funktion zu springen, kann man das `break`-Statement benutzen.
- ▶ Der Aufruf der endrekursiven Funktion wird ersetzt durch:
 1. Code zur Parameter-Übergabe;
 2. einen **Sprung** an den Anfang des Rumpfs.
- ▶ Aber **Vorsicht**, wenn die Funktion an **mehreren** Stellen benutzt wird! (Was ist das Problem??)

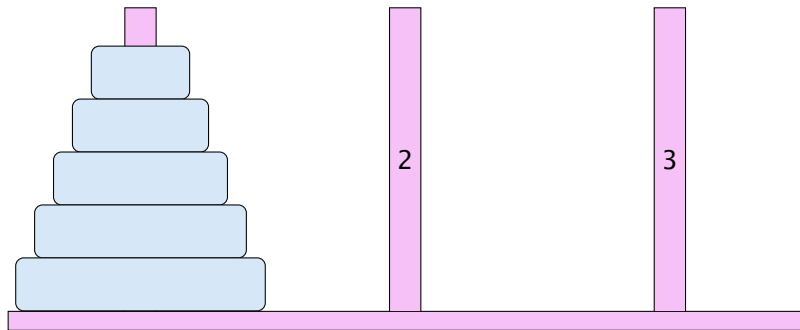
Kontrollfluss



Bemerkung

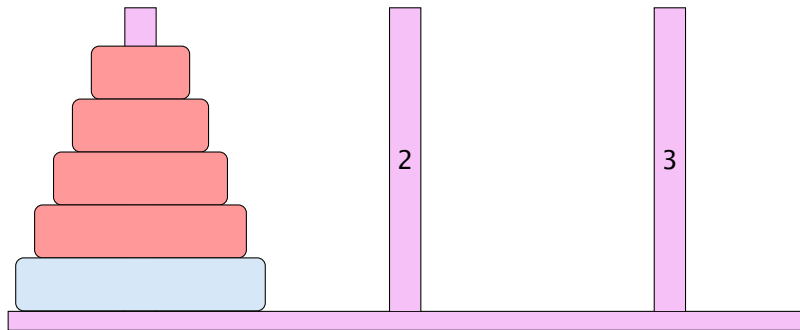
- ▶ Jede Rekursion läßt sich beseitigen, indem man den Aufruf-Keller **explizit** verwaltet.
- ▶ Nur im Falle von Endrekursion kann man auf den Keller verzichten.
- ▶ Rekursion ist trotzdem nützlich, weil rekursive Programme oft **leichter zu verstehen** sind als äquivalente Programme ohne Rekursion. . .

8 Türme von Hanoi



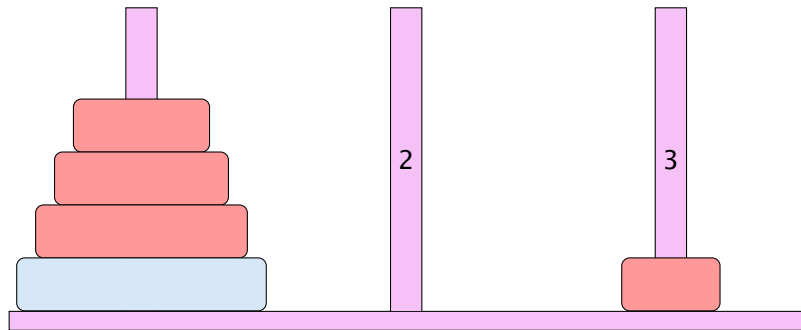
- ▶ Bewege Stapel von links nach rechts.
- ▶ In jedem Zug darf genau ein Ring bewegt werden.
- ▶ Es darf nie ein größerer auf einen kleineren Ring gelegt werden.

8 Türme von Hanoi



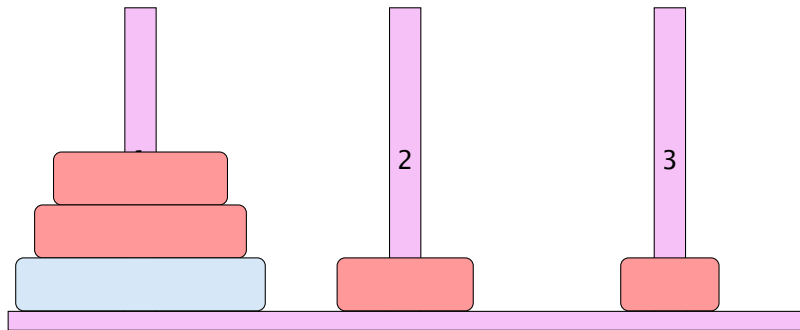
- ▶ Bewege Stapel von links nach rechts.
- ▶ In jedem Zug darf genau ein Ring bewegt werden.
- ▶ Es darf nie ein größerer auf einen kleineren Ring gelegt werden.

8 Türme von Hanoi



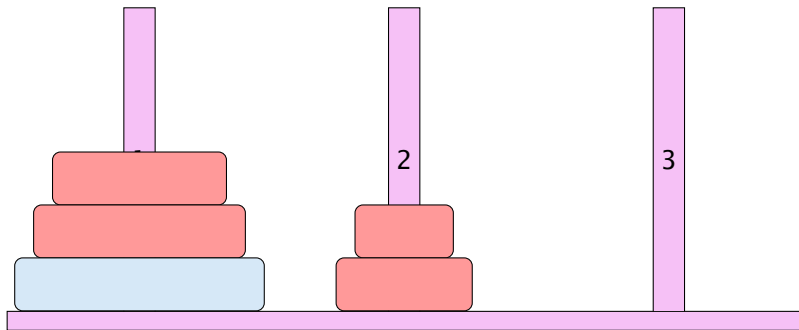
- ▶ Bewege Stapel von links nach rechts.
- ▶ In jedem Zug darf genau ein Ring bewegt werden.
- ▶ Es darf nie ein größerer auf einen kleineren Ring gelegt werden.

8 Türme von Hanoi



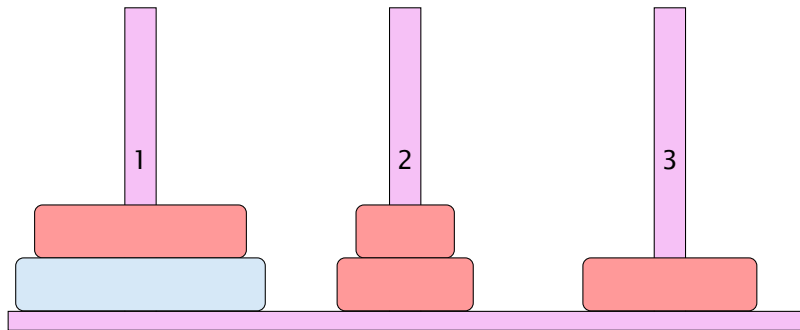
- ▶ Bewege Stapel von links nach rechts.
- ▶ In jedem Zug darf genau ein Ring bewegt werden.
- ▶ Es darf nie ein größerer auf einen kleineren Ring gelegt werden.

8 Türme von Hanoi



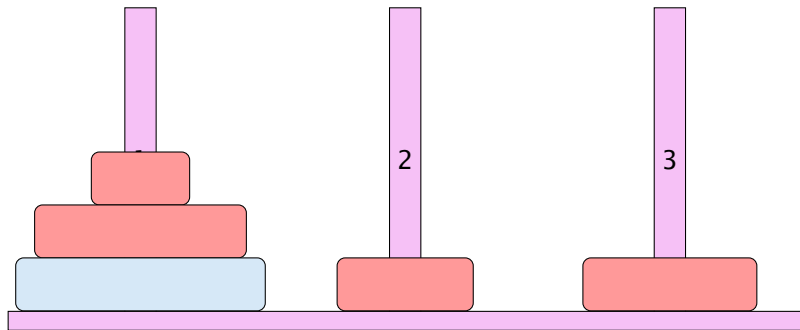
- ▶ Bewege Stapel von links nach rechts.
- ▶ In jedem Zug darf genau ein Ring bewegt werden.
- ▶ Es darf nie ein größerer auf einen kleineren Ring gelegt werden.

8 Türme von Hanoi



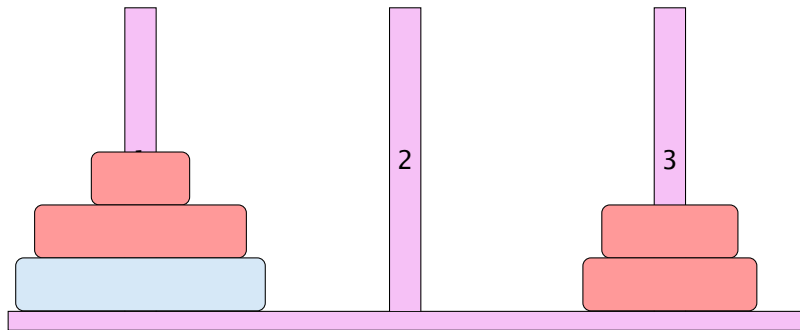
- ▶ Bewege Stapel von links nach rechts.
- ▶ In jedem Zug darf genau ein Ring bewegt werden.
- ▶ Es darf nie ein größerer auf einen kleineren Ring gelegt werden.

8 Türme von Hanoi



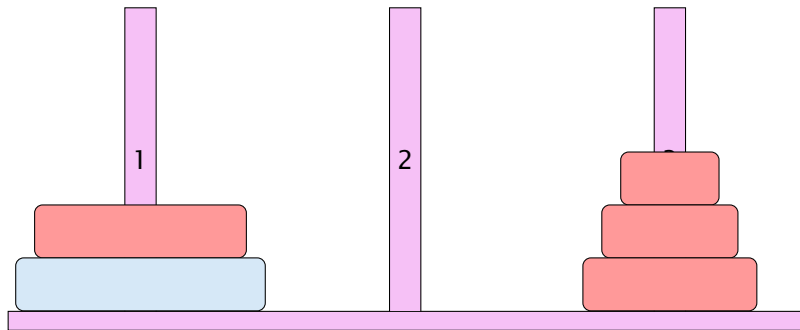
- ▶ Bewege Stapel von links nach rechts.
- ▶ In jedem Zug darf genau ein Ring bewegt werden.
- ▶ Es darf nie ein größerer auf einen kleineren Ring gelegt werden.

8 Türme von Hanoi



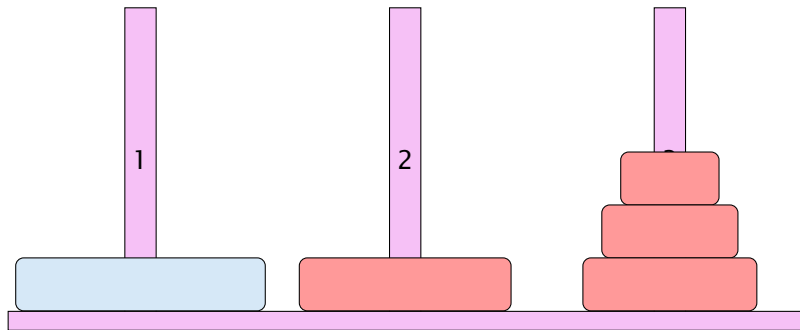
- ▶ Bewege Stapel von links nach rechts.
- ▶ In jedem Zug darf genau ein Ring bewegt werden.
- ▶ Es darf nie ein größerer auf einen kleineren Ring gelegt werden.

8 Türme von Hanoi



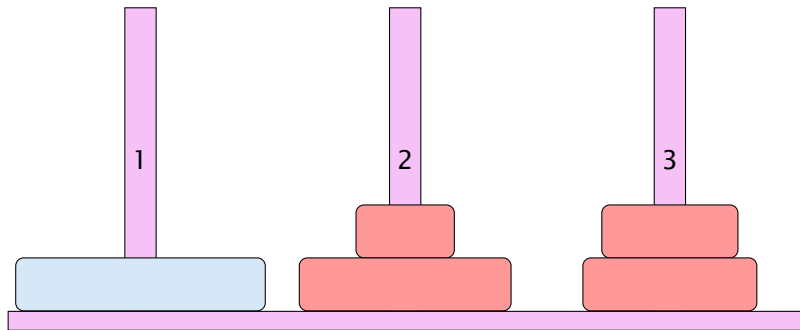
- ▶ Bewege Stapel von links nach rechts.
- ▶ In jedem Zug darf genau ein Ring bewegt werden.
- ▶ Es darf nie ein größerer auf einen kleineren Ring gelegt werden.

8 Türme von Hanoi



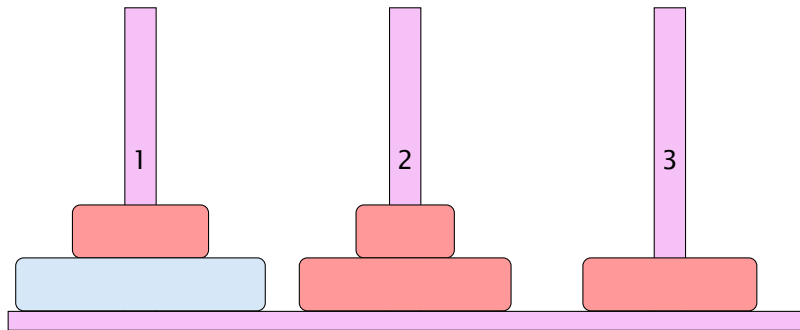
- ▶ Bewege Stapel von links nach rechts.
- ▶ In jedem Zug darf genau ein Ring bewegt werden.
- ▶ Es darf nie ein größerer auf einen kleineren Ring gelegt werden.

8 Türme von Hanoi



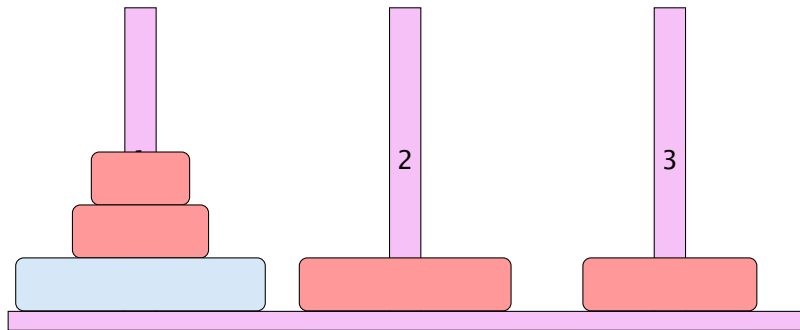
- ▶ Bewege Stapel von links nach rechts.
- ▶ In jedem Zug darf genau ein Ring bewegt werden.
- ▶ Es darf nie ein größerer auf einen kleineren Ring gelegt werden.

8 Türme von Hanoi



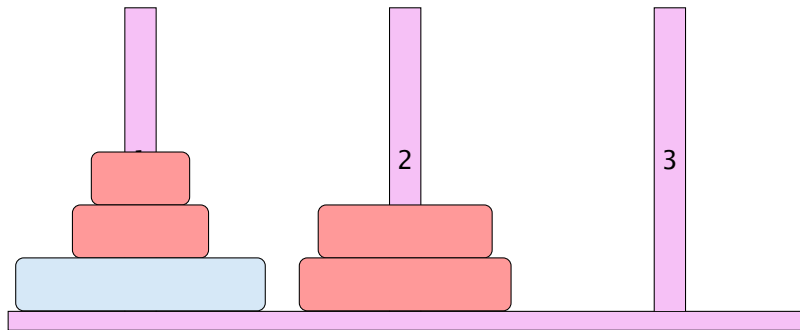
- ▶ Bewege Stapel von links nach rechts.
- ▶ In jedem Zug darf genau ein Ring bewegt werden.
- ▶ Es darf nie ein größerer auf einen kleineren Ring gelegt werden.

8 Türme von Hanoi



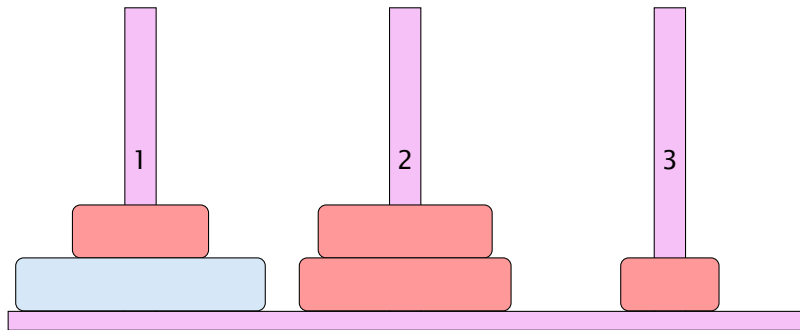
- ▶ Bewege Stapel von links nach rechts.
- ▶ In jedem Zug darf genau ein Ring bewegt werden.
- ▶ Es darf nie ein größerer auf einen kleineren Ring gelegt werden.

8 Türme von Hanoi



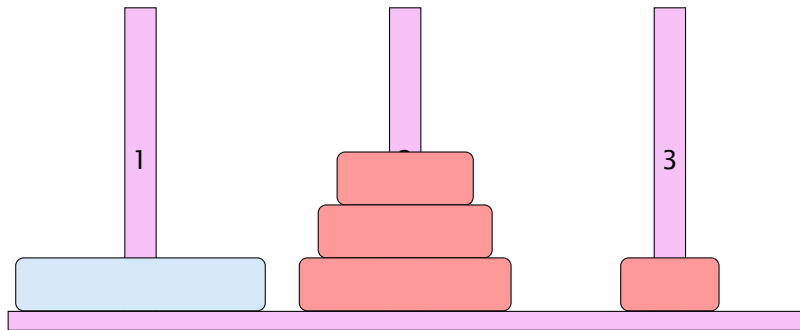
- ▶ Bewege Stapel von links nach rechts.
- ▶ In jedem Zug darf genau ein Ring bewegt werden.
- ▶ Es darf nie ein größerer auf einen kleineren Ring gelegt werden.

8 Türme von Hanoi



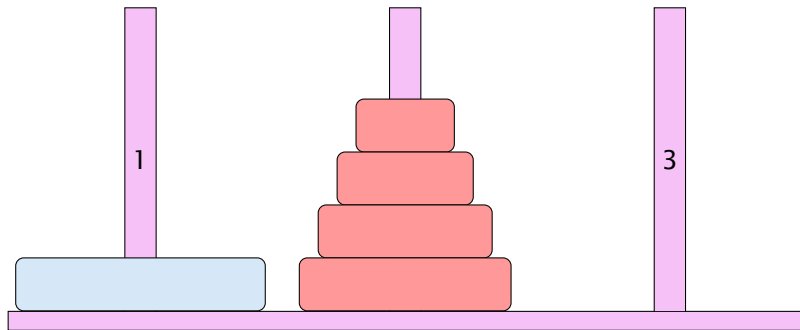
- ▶ Bewege Stapel von links nach rechts.
- ▶ In jedem Zug darf genau ein Ring bewegt werden.
- ▶ Es darf nie ein größerer auf einen kleineren Ring gelegt werden.

8 Türme von Hanoi



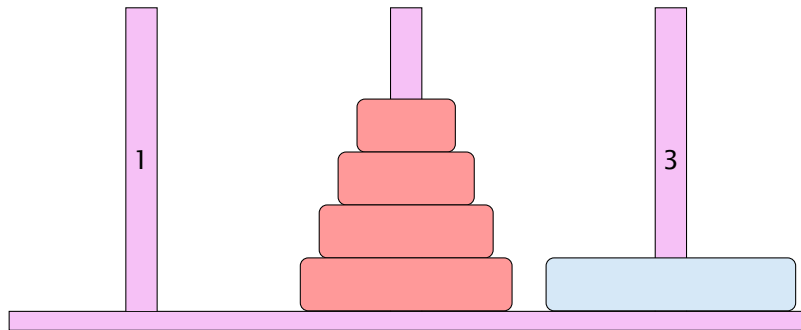
- ▶ Bewege Stapel von links nach rechts.
- ▶ In jedem Zug darf genau ein Ring bewegt werden.
- ▶ Es darf nie ein größerer auf einen kleineren Ring gelegt werden.

8 Türme von Hanoi



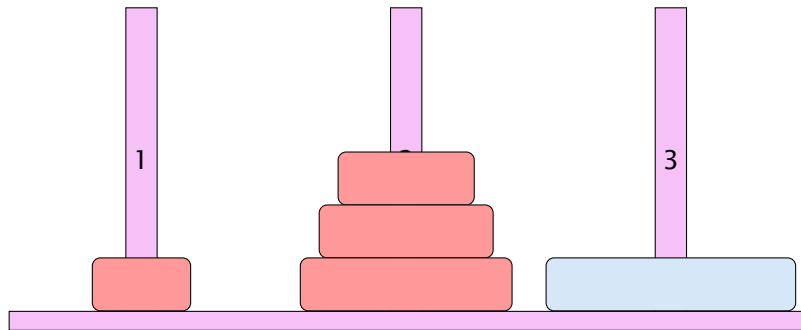
- ▶ Bewege Stapel von links nach rechts.
- ▶ In jedem Zug darf genau ein Ring bewegt werden.
- ▶ Es darf nie ein größerer auf einen kleineren Ring gelegt werden.

8 Türme von Hanoi



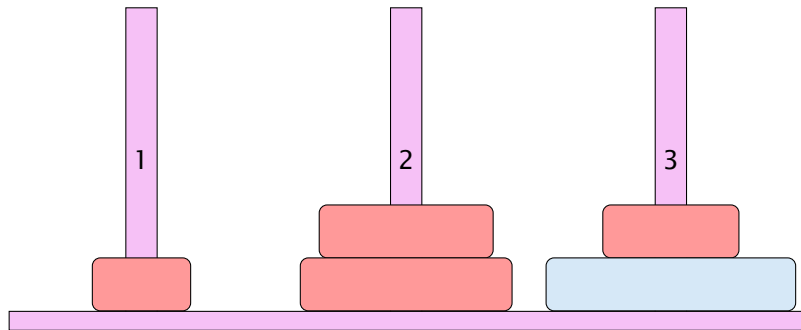
- ▶ Bewege Stapel von links nach rechts.
- ▶ In jedem Zug darf genau ein Ring bewegt werden.
- ▶ Es darf nie ein größerer auf einen kleineren Ring gelegt werden.

8 Türme von Hanoi



- ▶ Bewege Stapel von links nach rechts.
- ▶ In jedem Zug darf genau ein Ring bewegt werden.
- ▶ Es darf nie ein größerer auf einen kleineren Ring gelegt werden.

8 Türme von Hanoi



- ▶ Bewege Stapel von links nach rechts.
- ▶ In jedem Zug darf genau ein Ring bewegt werden.
- ▶ Es darf nie ein größerer auf einen kleineren Ring gelegt werden.

8 Türme von Hanoi

Idee

- ▶ Für Turm der Höhe $h = 0$ ist das Problem trivial.
- ▶ Falls $h > 0$ zerlegen wir das Problem in drei Teilprobleme:
 1. Versetze oberen $h - 1$ Ringe auf freien Platz
 2. Bewege die unterste Scheibe zum Ziel
 3. Versetze die zwischengelagerten Ringe zum Ziel
- ▶ Versetzen eines Turms der Höhe $h > 0$ erfordert also zweimaliges Versetzen eines Turms der Höhe $h - 1$.

Es gibt keine andere Möglichkeit!!!

Implementierung

```
1 public static void move(int h, byte a, byte b) {  
2     if (h > 0) {  
3         byte c = free(a,b);  
4         move (h-1,a,c);  
5         write("move "+a+" to "+b+"\n");  
6         move (h-1,c,b);  
7     }  
8 }
```

... bleibt die Ermittlung des freien Rings

Beobachtung

Offenbar hängt das Ergebnis nur von der Summe der beiden Argumente ab...

	0	1	2
0		2	1
1	1		0
2	2	0	

$\text{free}(x,y)$

	0	1	2
0		1	2
1	1		3
2	2	3	

$\text{sum}(x,y)$

Implementierung

Um solche Tabellen **leicht** implementieren zu können stellt **Java** das **switch**-statement zur Verfügung:

```
1 public static byte free(byte a, byte b) {  
2     switch (a+b) {  
3         case 1: return 2;  
4         case 2: return 1;  
5         case 3: return 0;  
6         default: return -1;  
7     }  
8 }
```

Allgemeines Switch-Statement

```
switch (expr) {  
    case const0: ss0 (break;)?  
    case const1: ss1 (break;)?  
        ...  
    case constk-1: ssk-1 (break;)?  
    (default: ssk)?  
}
```

- ▶ `expr` sollte eine ganze Zahl (oder ein `char`) sein.
- ▶ Die `consti` sind ganzzahlige Konstanten.
- ▶ Die `ssi` sind die alternativen Statement-Folgen.
- ▶ `default` ist für den Fall, dass keine der Konstanten zutrifft
- ▶ Fehlt ein `break`-Statement, wird mit den Statement-Folgen der nächsten Alternative fortgefahren!

TODO

Der Bedingungsoperator

Implementierung

Für unseren Fall geht das viel einfacher:

```
1 public static byte free(byte a, byte b) {  
2     return (byte) (3-(a+b));  
3 }
```


8 Türme von Hanoi

Bemerkungen:

- ▶ `move()` ist rekursiv, aber nicht end-rekursiv.
- ▶ Sei $N(h)$ die Anzahl der ausgegebenen Moves für einen Turm der Höhe $h \geq 0$. Dann ist

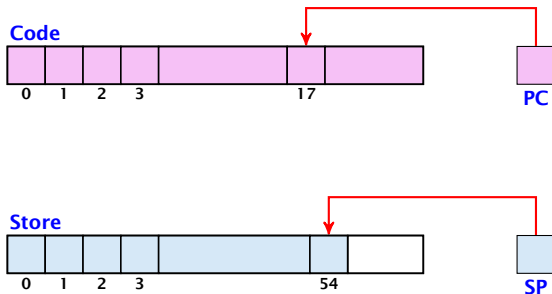
$$N(h) = \begin{cases} 0 & \text{für } h = 0 \\ 1 + 2N(h - 1) & \text{andernfalls} \end{cases}$$

- ▶ Folglich ist $N(h) = 2^h - 1$.
- ▶ Bei genauerer Analyse des Problems lässt sich auch ein nicht ganz so einfacher nicht-rekursiver Algorithmus finden.

Hinweis: Offenbar rückt die kleinste Scheibe in jedem zweiten Schritt eine Position weiter. . .

9 Von MiniJava zur JVM

Architektur der JVM



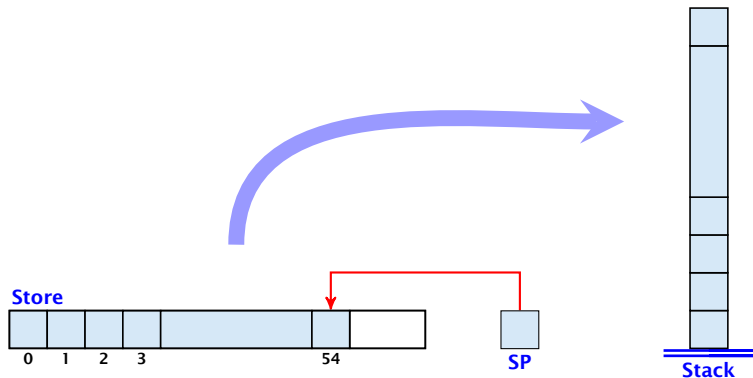
9 Von MiniJava zur JVM

- Code** = enthält JVM-Programm;
jede Zelle enthält einen Befehl;
- PC** = **P**rogram **C**ounter;
zeigt auf nächsten auszuführenden Befehl;
- Store** = Speicher für Daten;
jede Zelle kann einen Wert aufnehmen
- SP** = **S**tack **P**ointer;
zeigt auf oberste belegte Zelle;

9 Von MiniJava zur JVM

- ▶ Programm und Daten liegen im Speicher — aber in unterschiedlichen Abschnitten.
- ▶ Programm-Ausführung holt nacheinander Befehle aus **Code** und führt die entsprechenden Operationen auf **Store** aus.

Konvention



int-Operatoren	NEG, ADD, SUB, MUL, DIV, MOD
boolean-Operatoren	NOT, AND, OR
Vergleichs-Operatoren	LESS, LEQ, EQ, NEQ
Laden von Konstanten	CONST i, TRUE, FALSE
Speicher-Operationen	LOAD i, STORE i
Sprung-Befehle	JUMP i, FJUMP i
IO-Befehle	READ, WRITE
Reservierung von Speicher	ALLOC i
Beenden des Programms	HALT

Ein Beispielprogramm

```
ALLOC 2
READ
STORE 0
READ
STORE 1
A: LOAD 0
LOAD 1
NEQ
FJUMP D

LOAD 0
LOAD 1
LESS
FJUMP B
LOAD 1
LOAD 0
SUB
STORE 1
JUMP C

B: LOAD 0
LOAD 1
SUB
STORE 0
C: JUMP A
D: LOAD 1
WRITE
HALT
```

Ein Beispielprogramm

- ▶ Das Programm berechnet den GGT.
- ▶ Die Marken (**Labels**) A,B,C,D bezeichnen symbolisch die Adressen der zugehörigen Befehle:

A = 5

B = 18

C = 22

D = 23

- ▶ ... können vom Compiler **leicht** in die entsprechenden Adressen umgesetzt werden (wir benutzen sie aber, um uns besser im Programm zurechtzufinden).

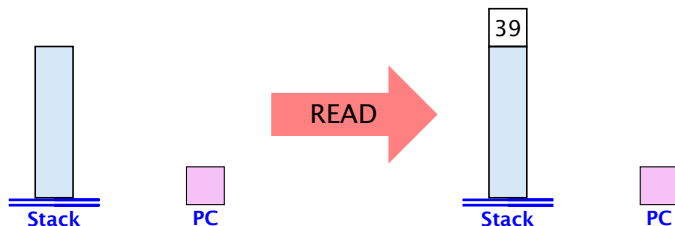
9 Von MiniJava zur JVM

Bevor wir erklären, wie man **MiniJava** in **JVM**-Code übersetzt, erklären wir, was die einzelnen Befehle bewirken.

Idee:

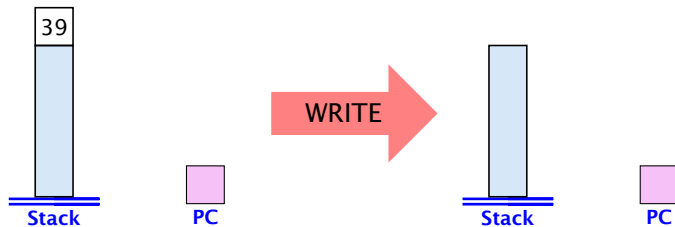
- ▶ Befehle, die Argumente benötigen, erwarten sie am oberen Ende des Stack.
- ▶ Nach ihrer Benutzung werden die Argumente vom Stack herunter geworfen.
- ▶ Mögliche Ergebnisse werden oben auf dem Stack abgelegt.

Read



... falls 39 eingegeben wurde

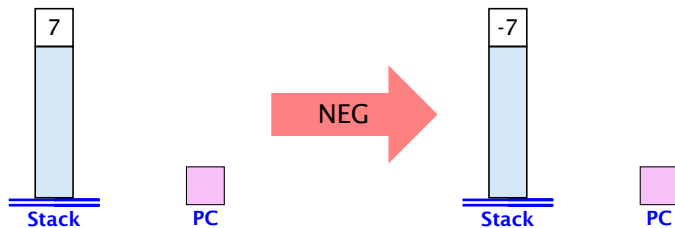
Write



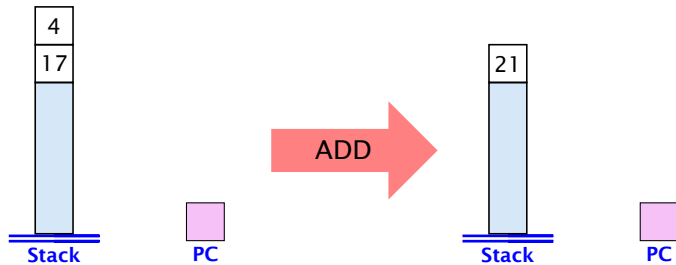
... wobei 39 ausgegeben wird

- ▶ Unäre Operatoren modifizieren die oberste Zelle.
- ▶ Binäre Operatoren verkürzen den Stack.

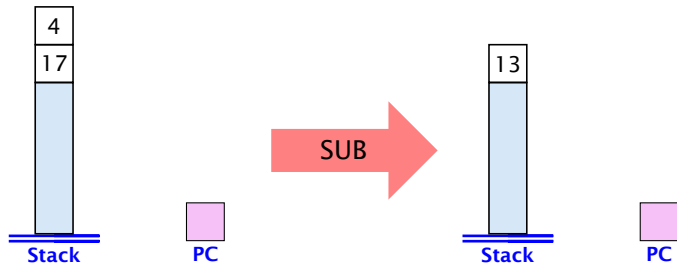
Negation



Addition

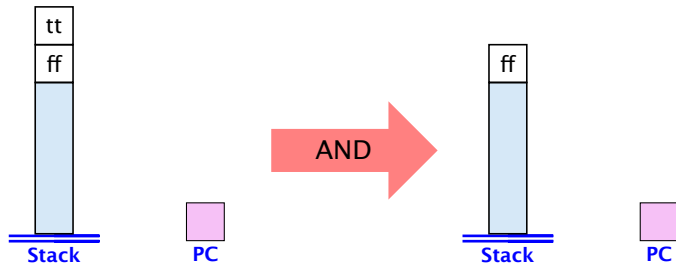


Subtraction

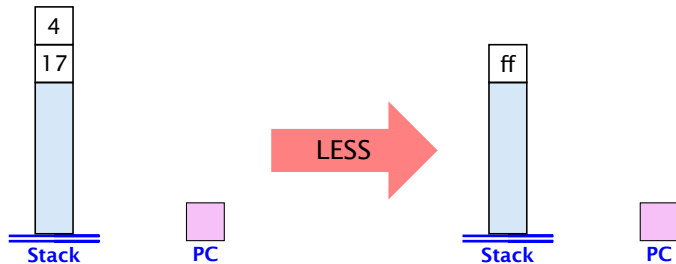


- ▶ Die übrigen arithmetischen Operationen `MUL`, `DIV`, `MOD` funktionieren völlig analog.
- ▶ Die logischen Operationen `NOT`, `AND`, `OR` ebenfalls – mit dem Unterschied, dass sie statt mit ganzen Zahlen, mit Intern-Darstellungen von `true` und `false` arbeiten (hier: `tt` und `ff`).
- ▶ Auch die Vergleiche arbeiten so – nur konsumieren sie ganze Zahlen und liefern einen logischen Wert.

Boolsche Operationen



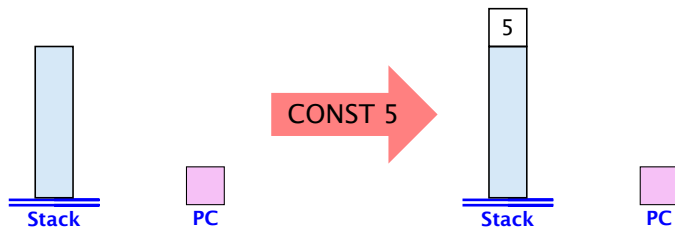
Vergleiche



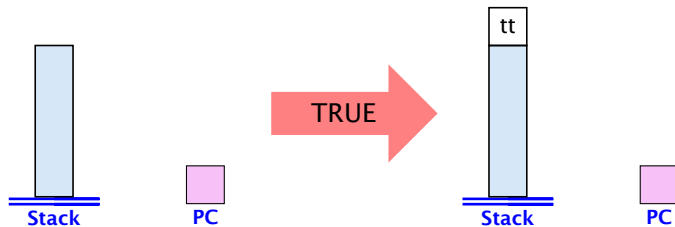
Laden und Speichern

- ▶ Konstanten-Lade-Befehle legen einen neuen Wert oben auf dem Stack ab.
- ▶ **LOAD** i legt dagegen den Wert aus der i -ten Zelle oben auf dem Stack ab.
- ▶ **STORE** i speichert den obersten Wert in der i -ten Zelle ab.

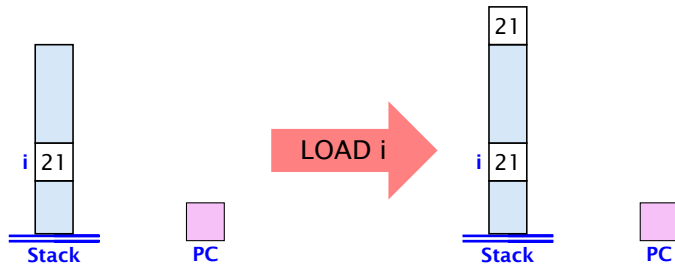
Laden und Speichern



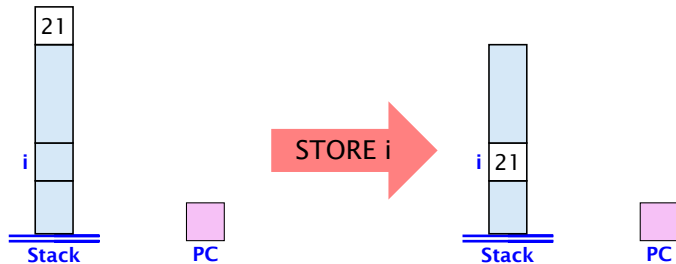
Laden und Speichern



Laden und Speichern



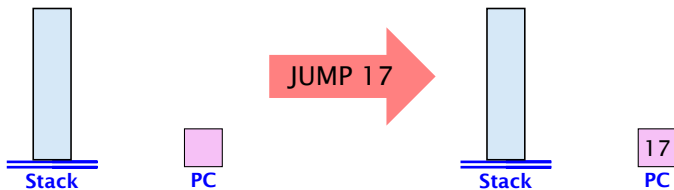
Laden und Speichern



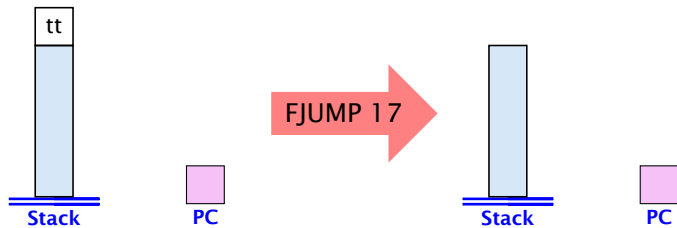
Sprünge

- ▶ Sprünge verändern die Reihenfolge, in der die Befehle abgearbeitet werden, indem sie den PC modifizieren.
- ▶ Ein unbedingter Sprung überschreibt einfach den alten Wert des PC mit einem neuen.
- ▶ Ein bedingter Sprung tut dies nur, sofern eine geeignete Bedingung erfüllt ist.

Sprünge



Sprünge



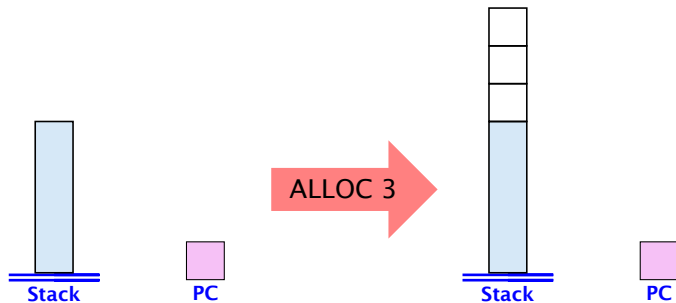
Sprünge



Allokation von Speicherplatz

- ▶ Wir beabsichtigen, jeder Variablen unseres **Minijava**-Programms eine Speicher-Zelle zuzuordnen.
- ▶ Um Platz für **i** Variablen zu schaffen, muss der SP einfach um **i** erhöht werden.
- ▶ Das ist die Aufgabe von **ALLOC i**.

Speicherplatzallokation



Ein Beispielprogramm

```
0  CONST 17
1  CONST 4
2  ADD
3  CONST 2
4  MUL
5  WRITE
6  HALT
```

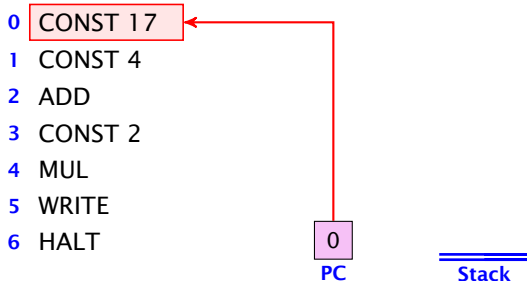


PC



Stack

Ein Beispielprogramm



Ein Beispielprogramm

0 CONST 17

1 CONST 4

2 ADD

3 CONST 2

4 MUL

5 WRITE

6 HALT

1
PC

17
Stack

Ein Beispielprogramm

0 CONST 17
1 CONST 4
2 ADD
3 CONST 2
4 MUL
5 WRITE
6 HALT

2
PC

21
17
Stack

Ein Beispielprogramm

0 CONST 17
1 CONST 4
2 ADD
3 CONST 2
4 MUL
5 WRITE
6 HALT

3
PC

21
Stack

Ein Beispielprogramm

0 CONST 17
1 CONST 4
2 ADD
3 CONST 2
4 MUL
5 WRITE
6 HALT

4
PC

42
21
Stack

Ein Beispielprogramm

0 CONST 17
1 CONST 4
2 ADD
3 CONST 2
4 MUL
5 WRITE
6 HALT

5
PC

42
Stack

Ausführung eines JVM-Programms

```
PC = 0;
IR = Code[PC];
while (IR != HALT) {
    PC = PC + 1;
    execute(IR);
    IR = Code[PC];
}
```

- ▶ **IR** = **I**nstruction **R**egister, d.h. eine Variable, die den nächsten auszuführenden Befehl enthält.
- ▶ **execute(IR)** führt den Befehl in **IR** aus.
- ▶ **Code[PC]** liefert den Befehl, der in der Zelle in **Code** steht, auf die **PC** zeigt.

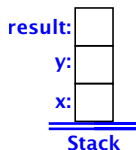
9.1 Übersetzung von Deklarationen

Betrachte die Deklaration:

```
int x, y, result;
```

Idee:

Wir reservieren der Reihe nach Variablen im Speicher:



D.h.: Übersetzung von `int x1, ..., xn` = ALLOC n

9.2 Übersetzung von Ausdrücken

Idee:

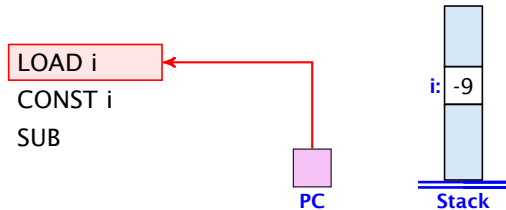
Übersetze Ausdruck `expr` in eine Folge von Befehlen, die den Wert von `expr` berechnet und dann oben auf dem Stack ablegt.

Übersetzung von `x` = LOAD `i` (`x` die `i`-te Variable)

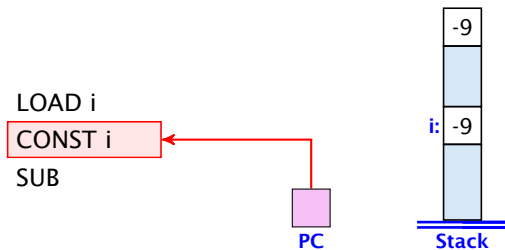
Übersetzung von `17` = CONST 17

Übersetzung von `x-1` = LOAD `i`
CONST 1
SUB

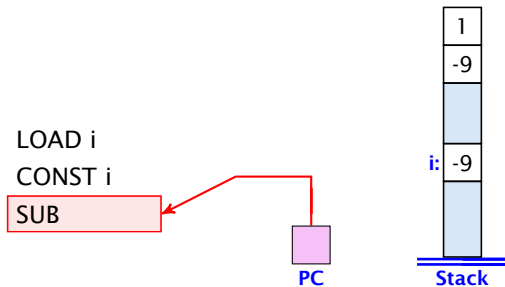
Beispiel



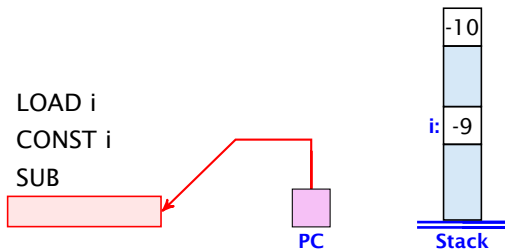
Beispiel



Beispiel



Beispiel



9.2 Übersetzung von Ausdrücken

Allgemein:

Übersetzung von $-expr$ = Übersetzung von $expr$
NEG

Übersetzung von $expr_1 + expr_2$ = Übersetzung von $expr_1$
Übersetzung von $expr_2$
ADD

analog für die anderen Operatoren...

Beispiel

Sei $expr$ der Ausdruck: $(x + 7) * (y - 14)$ wobei x und y die 0. und 1. Variable sind. Dann liefert die Übersetzung:

```
LOAD 0
CONST 7
ADD
LOAD 1
CONST 14
SUB
MUL
```

9.3 Übersetzung von Zuweisungen

Idee:

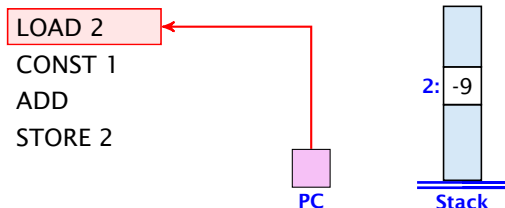
- ▶ Übersetze den Ausdruck auf der rechten Seite. Das liefert eine Befehlsfolge, die den Wert der rechten Seite oben auf dem Stack ablegt.
- ▶ Speichere nun diesen Wert in der Zelle für die linke Seite ab!

Sie x die i . Variable:

Übersetzung von $x = \text{expr}$ = Übersetzung von expr
STORE i

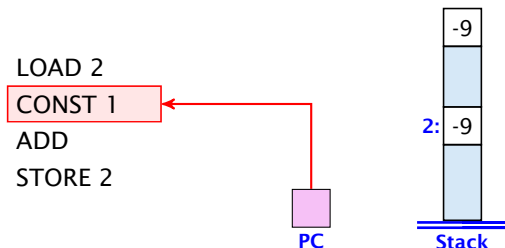
Beispiel

Für $x = x + 1$ (x die 2. Variable) liefert das:



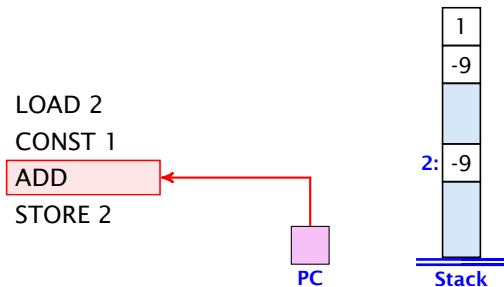
Beispiel

Für $x = x + 1$ (x die 2. Variable) liefert das:



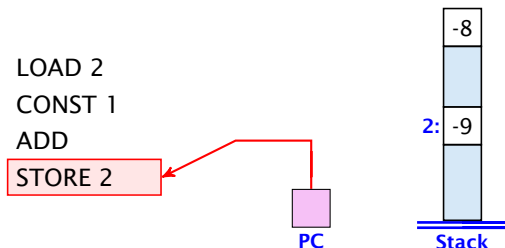
Beispiel

Für $x = x + 1$ (x die 2. Variable) liefert das:



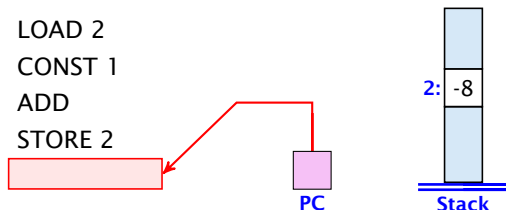
Beispiel

Für $x = x + 1$ (x die 2. Variable) liefert das:



Beispiel

Für $x = x + 1$ (x die 2. Variable) liefert das:



9.3 Übersetzung von Zuweisungen

Bei der Übersetzung von `x = read()` und `write(expr);` gehen wir analog vor.

Sei `x` die `i`. Variable:

Übersetzung von `x = read()` = Übersetzung von `READ`
`STORE i`

Übersetzung von `write(expr)` = Übersetzung von `expr`
`WRITE`

9.4 Übersetzung von If-Statements

Bezeichne `stmt` das `If`-Statement:

```
if ( cond ) stmt1 else stmt2
```

Idee:

- ▶ Wir erzeugen erstmal die Befehlsfolgen für `cond`, `stmt1`, und `stmt2`.
- ▶ Diese ordnen wir hintereinander an.
- ▶ Dann fügen wir Sprünge so ein, dass in Abhängigkeit des Ergebnisses der Auswertung der Bedingung jeweils entweder nur `stmt1` oder nur `stmt2` ausgeführt wird.

9.4 Übersetzung von If-Statements

Übersetzung von `stmt` = Übersetzung von `cond`
FJUMPA
Übersetzung von `stmt1`
JUMP B
A: Übersetzung von `stmt2`
B: ...

- ▶ Marke A markiert den Beginn des `else`-Teils.
- ▶ Marke B markiert den ersten Befehl hinter dem `if`-Statement.
- ▶ Falls die Bedingung sich zu `false` evaluiert, wird der `then`-Teil übersprungen (mithilfe von FJUMP A).
- ▶ Nach dem `then`-Teil muss in jedem Fall hinter dem `if`-Statement fortgefahren werden. Dazu dient JUMP B.

Beispiel

Für das Statement

```
if (x < y) y = y - x;  
else x = x - y;
```

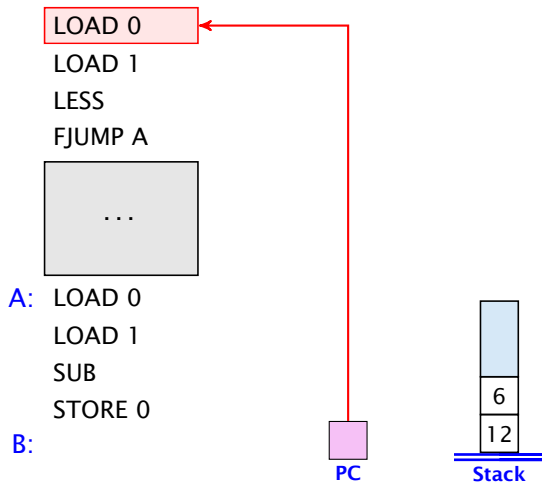
(x und y die 0. und 1. Variable) ergibt das:

LOAD 0
LOAD 1
LESS
FJUMP A

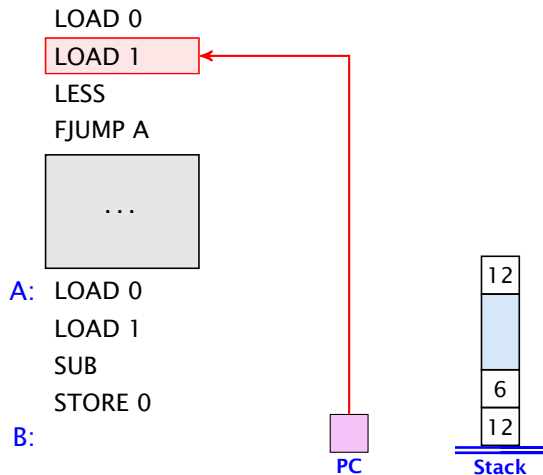
LOAD 1
LOAD 0
SUB
STORE 1
JUMP B

A: LOAD 0
LOAD 1
SUB
STORE 0
B: ...

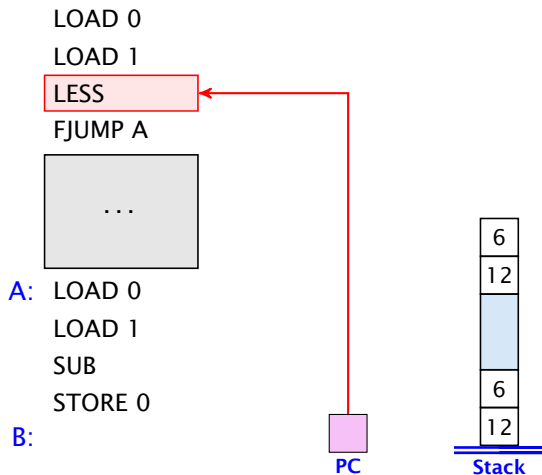
Beispiel



Beispiel



Beispiel



Beispiel

LOAD 0

LOAD 1

LESS

FJUMP A

...

A: LOAD 0

LOAD 1

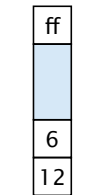
SUB

STORE 0

B:



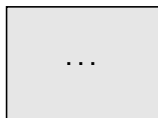
PC



Stack

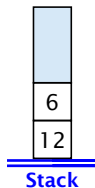
Beispiel

LOAD 0
LOAD 1
LESS
FJUMP A



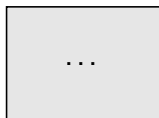
A: LOAD 0
LOAD 1
SUB
STORE 0

B:



Beispiel

LOAD 0
LOAD 1
LESS
FJUMP A

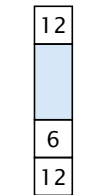


A: LOAD 0
LOAD 1
SUB
STORE 0

B:



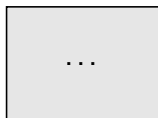
PC



Stack

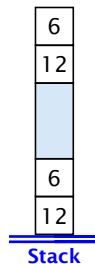
Beispiel

LOAD 0
LOAD 1
LESS
FJUMP A



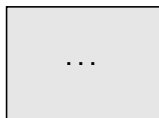
A: LOAD 0
LOAD 1
SUB
STORE 0

B:



Beispiel

LOAD 0
LOAD 1
LESS
FJUMP A



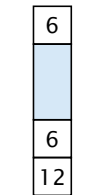
A: LOAD 0
LOAD 1
SUB

STORE 0

B:



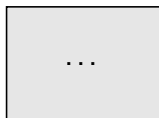
PC



Stack

Beispiel

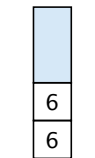
LOAD 0
LOAD 1
LESS
FJUMP A



A: LOAD 0
LOAD 1
SUB
STORE 0



PC



Stack

9.5 Übersetzung von While-Statements

Bezeichne `stmt` das `while`-Statement:

```
while ( cond ) stmt1
```

Idee:

- ▶ Wir erzeugen erstmal die Befehlsfolgen für `cond` und `stmt1`
- ▶ Diese ordnen wir hintereinander an.
- ▶ Dann fügen wir Sprünge so ein, dass in Abhängigkeit der Bedingung entweder hinter das `while`-statement gesprungen wird oder `stmt1` ausgeführt wird.
- ▶ Nach Ausführung von `stmt1` müssen wir allerdings wieder an den Anfang des Codes zurückspringen.

9.5 Übersetzung von While-Statements

Übersetzung von `stmt` = A: Übersetzung von `cond`
FJUMP B
Übersetzung von `stmt1`
JUMP A
B: ...

- ▶ Marke A markiert den Beginn des `while`-statements.
- ▶ Marke B markiert den ersten Befehl hinter dem `while`-Statement.
- ▶ Falls die Bedingung sich zu `false` evaluiert, wird die Schleife verlassen (mithilfe von `FJUMP B`).
- ▶ Nach Abarbeitung des Rumpfes muss das `while`-Statement erneut abgearbeitet werden. Dazu dient `JUMP A`.

Beispiel

Für das Statement

```
while (1 < x) x = x - 1;
```

(x die 0. Variable) ergibt das:

A: CONST 1	LOAD 0
LOAD 0	CONST 1
LESS	SUB
FJUMP B	STORE 0
	JUMP A

B:

9.6 Übersetzung von Statement-Folgen

Idee:

- ▶ Wir erzeugen zuerst Befehlsfolgen für die einzelnen Statements in der Folge.
- ▶ Dann konkatenieren wir diese.

Übersetzung von $stmt_1 \dots stmt_k$ = Übersetzung von $stmt_1$
...
Übersetzung von $stmt_k$

Beispiel

Für die Statementfolge

$$y = y * x$$
$$x = x - 1$$

(x und y die 0. Variable und 1. Variable) ergibt das:

LOAD 1

LOAD 0

MUL

STORE 1

LOAD 0

CONST 1

SUB

STORE 0

9.7 Übersetzung ganzer Programme

Angenommen das Program `prog` besteht aus einer Deklaration von `n` Variablen, gefolgt von Statementfolge `ss`.

Idee:

- ▶ Zuerst allokieren wir Platz für die deklarierten Variablen.
- ▶ Dann kommt der Code für `ss`.
- ▶ Dann `HALT`.

Übersetzung von `prog` = ALLOC n
Übersetzung von `ss`
HALT

Beispiel

Für das Programm

```
int x, y;  
x = read();  
y = 1;  
while (1 < x) {  
    y = y * x;  
    x = x - 1;  
}  
write(y);
```

(**x** und **y** die 0. und 1. Variable) erhalten wir das folgende.

Beispiel

ALLOC 2
READ
STORE 0
CONST 1
STORE 1

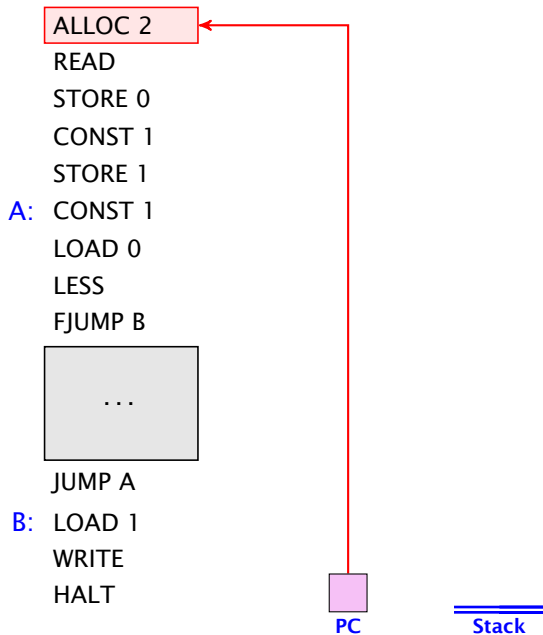
A: CONST 1
LOAD 0
LESS
FJUMP B

LOAD 1
LOAD 0
MUL
STORE 1

LOAD 0
CONST 1
SUB
STORE 0
JUMP A

B: LOAD 1
WRITE
HALT

Beispiel



Beispiel

ALLOC 2

READ

STORE 0

CONST 1

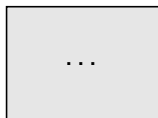
STORE 1

A: CONST 1

LOAD 0

LESS

FJUMP B

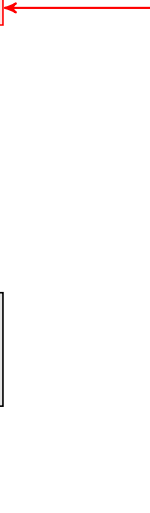
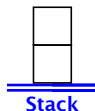


JUMP A

B: LOAD 1

WRITE

HALT



Beispiel

ALLOC 2

READ

STORE 0

CONST 1

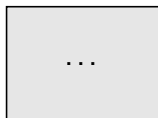
STORE 1

A: CONST 1

LOAD 0

LESS

FJUMP B



JUMP A

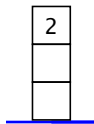
B: LOAD 1

WRITE

HALT



PC



Stack

Beispiel

ALLOC 2

READ

STORE 0

CONST 1

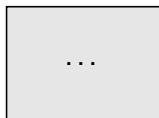
STORE 1

A: CONST 1

LOAD 0

LESS

FJUMP B

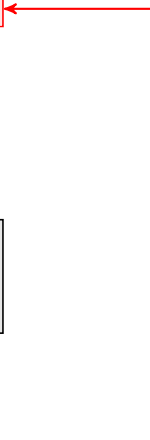
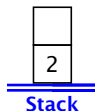


JUMP A

B: LOAD 1

WRITE

HALT



Beispiel

ALLOC 2

READ

STORE 0

CONST 1

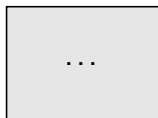
STORE 1

A: CONST 1

LOAD 0

LESS

FJUMP B

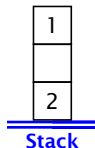


JUMP A

B: LOAD 1

WRITE

HALT



Beispiel

ALLOC 2

READ

STORE 0

CONST 1

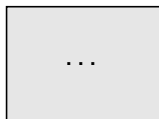
STORE 1

A: CONST 1

LOAD 0

LESS

FJUMP B



JUMP A

B: LOAD 1

WRITE

HALT



PC



Stack



Beispiel

ALLOC 2

READ

STORE 0

CONST 1

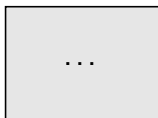
STORE 1

A: CONST 1

LOAD 0

LESS

FJUMP B



JUMP A

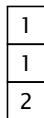
B: LOAD 1

WRITE

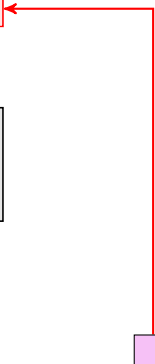
HALT



PC



Stack



Beispiel

ALLOC 2

READ

STORE 0

CONST 1

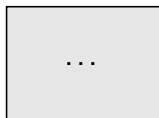
STORE 1

A: CONST 1

LOAD 0

LESS

FJUMP B



JUMP A

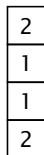
B: LOAD 1

WRITE

HALT



PC



Stack

Beispiel

ALLOC 2

READ

STORE 0

CONST 1

STORE 1

A: CONST 1

LOAD 0

LESS

FJUMP B

...

JUMP A

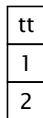
B: LOAD 1

WRITE

HALT



PC



Stack



Beispiel

ALLOC 2

READ

STORE 0

CONST 1

STORE 1

A: CONST 1

LOAD 0

LESS

FJUMP B



JUMP A

B: LOAD 1

WRITE

HALT



PC



Stack

Beispiel

ALLOC 2

READ

STORE 0

CONST 1

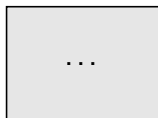
STORE 1

A: CONST 1

LOAD 0

LESS

FJUMP B



JUMP A

B: LOAD 1

WRITE

HALT



PC



Stack



Beispiel

ALLOC 2

READ

STORE 0

CONST 1

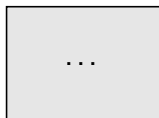
STORE 1

A: CONST 1

LOAD 0

LESS

FJUMP B



JUMP A

B: LOAD 1

WRITE

HALT



PC



Stack



Beispiel

ALLOC 2

READ

STORE 0

CONST 1

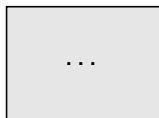
STORE 1

A: CONST 1

LOAD 0

LESS

FJUMP B



JUMP A

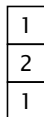
B: LOAD 1

WRITE

HALT



PC



Stack



Beispiel

ALLOC 2

READ

STORE 0

CONST 1

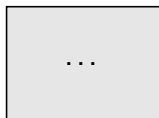
STORE 1

A: CONST 1

LOAD 0

LESS

FJUMP B



JUMP A

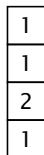
B: LOAD 1

WRITE

HALT



PC



Stack

Beispiel

ALLOC 2

READ

STORE 0

CONST 1

STORE 1

A: CONST 1

LOAD 0

LESS

FJUMP B

...

JUMP A

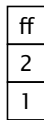
B: LOAD 1

WRITE

HALT



PC



Stack



Beispiel

ALLOC 2

READ

STORE 0

CONST 1

STORE 1

A: CONST 1

LOAD 0

LESS

FJUMP B



JUMP A

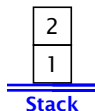
B: LOAD 1

WRITE

HALT



PC



Stack

Beispiel

ALLOC 2

READ

STORE 0

CONST 1

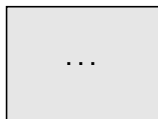
STORE 1

A: CONST 1

LOAD 0

LESS

FJUMP B



JUMP A

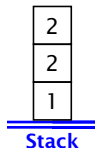
B: LOAD 1

WRITE

HALT



PC



Stack

Beispiel

ALLOC 2

READ

STORE 0

CONST 1

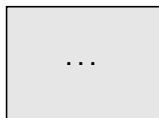
STORE 1

A: CONST 1

LOAD 0

LESS

FJUMP B



JUMP A

B: LOAD 1

WRITE

HALT



PC



Stack

9 Von MiniJava zur JVM

Bemerkungen:

- ▶ Die Übersetzungsfunktion, die für ein **MiniJava**-Programm **JVM**-Code erzeugt, arbeitet rekursiv auf der Struktur des Programms.
- ▶ Im Prinzip lässt sie sich zu einer Übersetzungsfunktion von ganz **Java** erweitern.
- ▶ Zu lösende Übersetzungs-Probleme:
 - ▶ mehr Datentypen;
 - ▶ Prozeduren;
 - ▶ Klassen und Objekte.

TODO

wie könnte man einen stackframe realisieren??

Objektorientierte Programmierung

Bis jetzt kennen wir (fast) nur primitive Datentypen.

Diese entsprechen weitestgehend der Hardware des Rechners (z.B. besitzt ein Rechner Hardware um zwei `floats` zu addieren).

Wir möchten Dinge der realen Welt modellieren, dafür benötigen wir komplexere Datentypen.

Lösung: selbstdefinierte Datentypen

Objektorientierte Programmierung

Angenommen wir möchten eine Adressverwaltung schreiben.
Dazu müßten wir zunächst eine Adresse **modellieren**:

TODO

real Modellierung Adresse <-> Modell _____

Zumindest für diesen Fall, ist die Modellierung sehr einfach.

Datentyp ist hier nur eine **Komposition** (Zusammensetzung) von
anderen einfacheren Grundtypen

Wir visualisieren den Datentyp hier über ein UML-Diagramm. Dies ist eine grafische Modellierungssprache um Software zu spezifizieren. UML ist nicht speziell für **Java** entwickelt worden; deshalb unterscheidet sich die Syntax leicht.

Objektorientierte Programmierung

Wir werden diesem Grundprinzip, dass man Objekte **nur** über Methoden ändern sollte nicht immer folgen...

Wie benutzt man den Datentyp?

Geht aus der Ansammlung der Grundtypen nicht hervor. Wenn der Datentyp sehr komplex ist (Atomreaktor), kann man leicht Fehler machen, und einen ungültigen Zustand erzeugen.

Grundidee:

Ändere Variablen des Datentyps nur über Funktionen/Methoden.

Falls diese korrekt implementiert sind, kann man keinen ungültigen Zustand erzeugen.

Daten und Methoden
gehören zusammen
(abstrakter Datentyp)

Objektorientierte Programmierung

Ein (abstrakter) Datentyp besteht aus Daten und einer Menge von Methoden (Schnittstelle) um diese Daten zu manipulieren.

Datenkapselung / Information Hiding

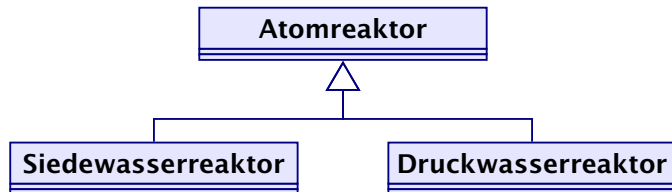
Die Implementierung des Datentyps wird vor dem Benutzer versteckt.

- ▶ minimiert Fehler durch unsachgemäßen Zugriff
- ▶ **Enkopplung** von Teilproblemen
 - ▶ gut für Implementierung, aber auch
 - ▶ Fehlersuche und Wartung
- ▶ erlaubt es die Implementierung später anzupassen (↑**rapid prototyping**)
- ▶ erzwingt in der Designphase über das **was** und nicht über das **wie** nachzudenken....

Objektorientierte Programmierung

Generalisierung + Vererbung

Identifiziere Ähnlichkeiten zwischen Datentypen und lagere gemeinsame Teile in einen anderen Datentyp aus.



- ▶ vermeidet Copy&Paste...
- ▶ verringert den Wartungsaufwand...

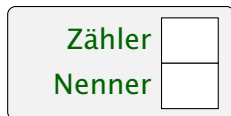
Objektorientierte Programmierung

Klasse = Implementierung eines abstrakten Datentyps

Objekt = Instanz/Variable einer Klasse

Beispiel: Rationale Zahlen

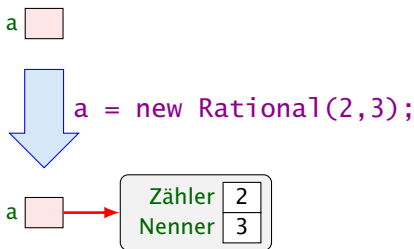
- ▶ Eine rationale Zahl $q \in \mathbb{Q}$ hat die Form $\frac{x}{y}$, wobei $x, y \in \mathbb{Z}$.
- ▶ x und y heißen Zähler und Nenner von q .
- ▶ Ein Objekt vom Typ `Rational` sollte deshalb als Komponenten `int`-Variablen `zaehler` und `nenner` erhalten:



- ▶ Die Daten eines Objektes heißen **Instanz-Variablen** oder **Attribute**.

Beispiel: Rationale Zahlen

- ▶ `Rational name;` deklariert eine Variable für Objekte der Klasse `Rational`.
- ▶ Das Kommando `new Rational(...)` legt das Objekt an, ruft einen **Konstruktor** für dieses Objekt auf, und liefert einen **Verweis** auf das neue Objekt zurück.

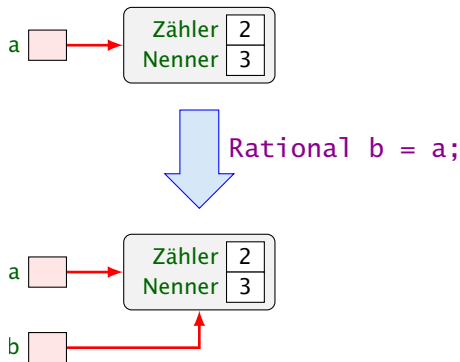


- ▶ Der Konstruktor ist eine Prozedur, die die Attribute des neuen Objektes initialisieren kann.

Referenzen

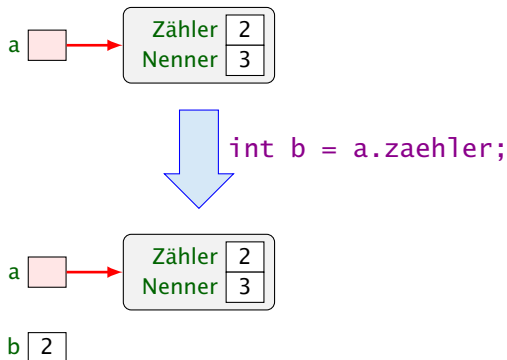
Der Wert der `Rational`-Variablen ist eine **Referenz/Verweis** auf einen Speicherbereich.

`Rational b = a;` kopiert den Verweis aus `a` in die Variable `b`:



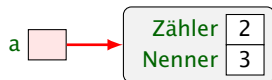
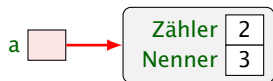
Beispiel: Rationale Zahlen

`a.zaehler` liefert den Wert des Attributs `zaehler` des Objektes auf das `a` verweist:

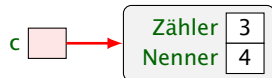
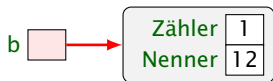
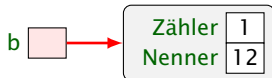


Beispiel: Rationale Zahlen

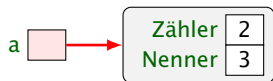
`a.add(b)` ruft die Operation `add` für `a` mit dem zusätzlichen aktuellen Parameter `b` auf:

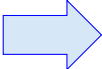


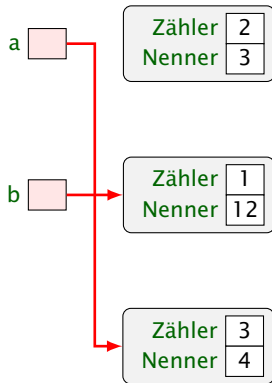
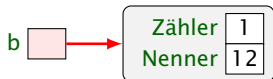
`Rational c = a.add(b);` 



Beispiel: Rationale Zahlen



Rational a = a.add(b); 



Die Operationen auf Objekten einer Klasse heißen auch **Methoden**, genauer: **Objekt-Methoden**.

Zusammenfassung

Eine Klassendeklaration besteht folglich aus:

- ▶ **Attributen** für die verschiedenen Wertkombinationen der Objekte;
- ▶ **Konstruktoren** zur Initialisierung der Objekte;
- ▶ **Methoden**, d.h. Operationen auf Objekten.

Diese Elemente heißen auch **Members** der Klasse.

Implementierung

```
1 public class Rational {
2     // Attribute:
3     private int zaehler, nenner;
4     // Konstruktoren:
5     public Rational(int x, int y) {
6         zaehler = x;
7         nenner = y;
8     }
9     public Rational(int x) {
10        zaehler = x;
11        nenner = 1;
12    }
```

"Rational.java"

Implementierung

```
13 // Objekt-Methoden:
14 public Rational add (Rational r) {
15     int x = zaehler * r.nenner + r.zaehler * nenner;
16     int y = nenner * r.nenner;
17     return new Rational (x,y);
18 }
19 public boolean equals (Rational r) {
20     return (zaehler * r.nenner == r.zaehler * nenner);
21 }
22 public String toString() {
23     if (nenner == 1) return "" + zaehler;
24     if (nenner > 0) return zaehler + "/" + nenner;
25     return (-zaehler) + "/" + (-nenner);
26 }
27 } // end of class Rational
```

"Rational.java"

Bemerkungen:

- ▶ Jede Klasse **sollte** in einer separaten Datei des entsprechenden Namens stehen.
- ▶ Die Schlüsselworte **public** bzw. **private** klassifizieren, für wen die entsprechenden Members sichtbar, d.h. zugänglich sind.
- ▶ **private** heißt: nur für Members der gleichen Klasse sichtbar.
- ▶ **public** heißt: innerhalb des gesamten Programms sichtbar.
- ▶ Nicht klassifizierte Members sind nur innerhalb des aktuellen **↑Package** sichtbar.

Implementierung

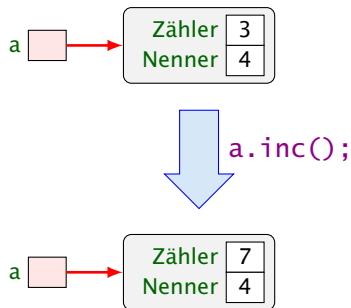
Bemerkungen:

- ▶ Konstruktoren haben den gleichen Namen wie die Klasse.
- ▶ Es kann mehrere geben, sofern sie sich im Typ ihrer Argumente unterscheiden.
- ▶ Konstruktoren haben **keine** Rückgabewerte und darum auch keinen Rückgabotyp.
- ▶ Methoden haben dagegen **stets** einen Rückgabe-Typ, evt. **void**.

```
1 public void inc(int b) {  
2     zaehler = zaehler + b * nenner;  
3 }
```

Implementierung

Die Objekt-Methode `inc()` modifiziert das Objekt, für das sie aufgerufen wird.



Implementierung

- ▶ Die Objektmethode `equals()` ist nötig, da der Operator `==` bei Objekten die **Identität** der Objekte testet, d.h. die Gleichheit der Referenz!!!
- ▶ Die Objektmethode `toString()` liefert eine **String**-Darstellung des Objekts.
- ▶ Sie wird implizit aufgerufen, wenn das Objekt als Argument für die Konkatination `+` auftaucht.
- ▶ Innerhalb einer Objektmethode/eines Konstruktors kann auf die Attribute des Objektes **direkt** zugegriffen werden.
- ▶ **private**-Klassifizierung bezieht sich auf die Klasse nicht das Objekt: die Attribute **aller Rational**-Objekte sind für **add** sichtbar!!!

11 Abstrakte Datentypen

Erinnerung:

- ▶ Abstrakter Datentyp spezifiziert nur die Operationen
- ▶ Implementierung und andere Details sind verborgen

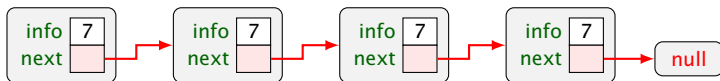
Dieses ist ein sehr puristischer Ansatz. Im folgenden werden wir häufig nicht ganz so streng sein, und manchmal Zugriff auf die Datenstruktur auch über direkte Manipulation von Attributen gestatten.

11.1 Listen

Nachteil von Feldern:

- ▶ feste Größe
- ▶ Einfügen neuer Elemente nicht möglich
- ▶ Streichen ebenfalls nicht

Idee: Listen



Listen – Version A

- `info` : Element der Liste;
- `next` : Verweis auf nächstes Element;
- `null` : leeres Objekt.

Operationen:

- `void insert(int x)` : fügt neues `x` hinter dem aktuellen Element ein;
- `void delete()` : entfernt Knoten hinter dem aktuellen Element;
- `String toString()` : liefert eine `String`-Darstellung.

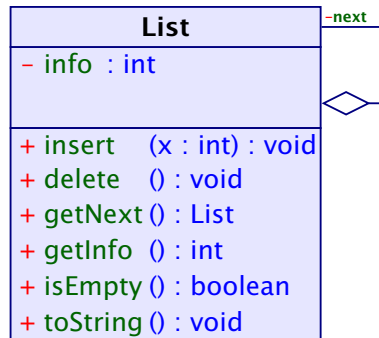
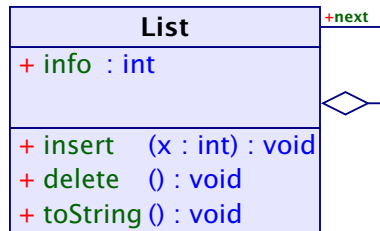
Listen – Puristische Version

Operationen:

- `void insert(int x)` : fügt neues `x` hinter dem aktuellen Element ein;
- `void delete()` : entfernt Knoten hinter dem aktuellen Element;
- `List getNext()` : liefert die Liste, die man erhalten würde wenn man das erste Element löscht;
- `int getInfo()` : liefert das erste Listenelement zurück
- `boolean isEmpty()` : wahr falls Liste leer;
- `String toString()` : liefert eine `String`-Darstellung.

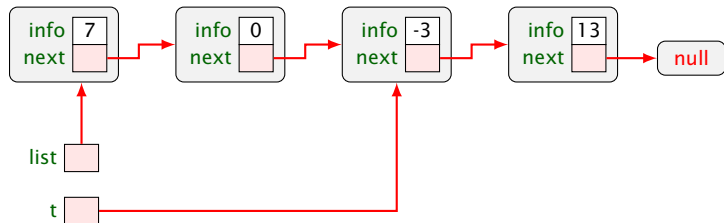
Modellierung

Die beiden Modellierungen als UML-Diagramm:



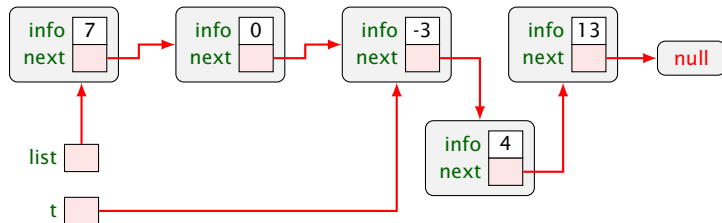
Im Folgenden implementieren wir die Version A.

Listen - Insert

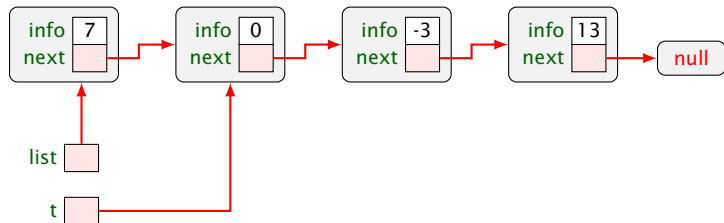


`t.insert(4)`

Listen - Insert

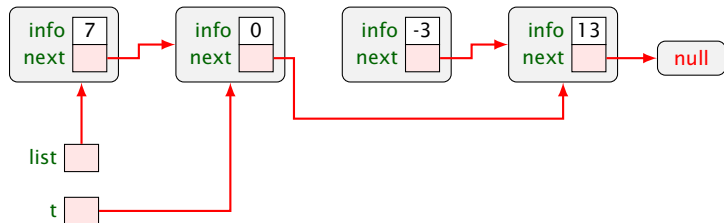


Listen - Delete



`t.delete()`

Listen - Delete



11.1 Listen

Weitere Operationen:

- ▶ Liste auf Leerheit testen
- ▶ Neue Listen erzeugen (\Rightarrow Konstruktoren)
 - ▶ z.B. eine einelementige Liste
 - ▶ eine bestehende Liste verlängern
- ▶ Umwandlung zwischen Listen und Feldern...

Das `null`-Objekt versteht keinerlei Objektmethoden; da wir `null` als leere Liste interpretieren, müssen wir uns etwas einfallen lassen...

Listen - Implementierung

```
1 public class List {
2     public int info;
3     public List next;
4
5     // Konstruktoren:
6     public List (int x, List l) {
7         info = x;
8         next = l;
9     }
10    public List (int x) {
11        info = x;
12        next = null;
13    }
14 // continued...
```

Listen - Implementierung

```
15 // Objekt-Methoden:
16 public void insert(int x) {
17     next = new List(x,next);
18 }
19 public void delete() {
20     if (next != null)
21         next = next.next;
22 }
23 public String toString() {
24     String result = "[" + info;
25     for(List t = next; t != null; t = t.next)
26         result = result + ", " + t.info;
27     return result + "]";
28 }
29 // continued...
```

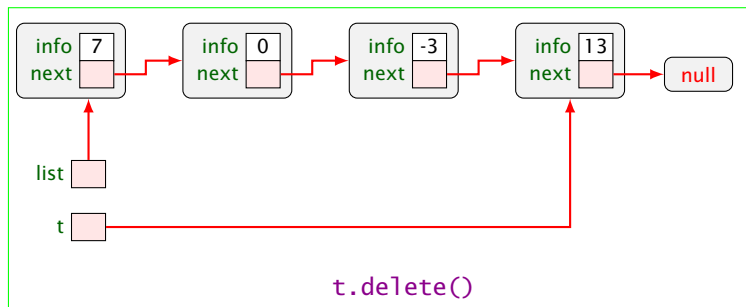
Erläuterungen

- ▶ Die Attribute sind `public` und daher beliebig einsehbar und modifizierbar; sehr fehleranfällig.
- ▶ `insert()` legt einen neuen Listenknoten an, und fügt ihn hinter dem aktuellen Knoten ein.
- ▶ `delete()` setzt den aktuellen `next`-Verweis auf das übernächste Element um.

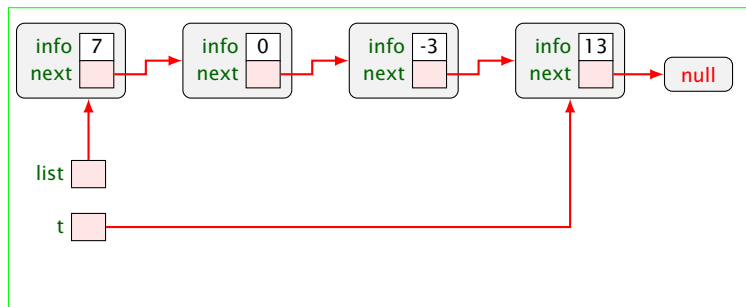
Achtung:

Wenn `delete()` mit dem letzten Listenelement aufgerufen wird, zeigt `next` auf `null`; wir tun dann nichts...

Listen - Delete



Listen - Delete

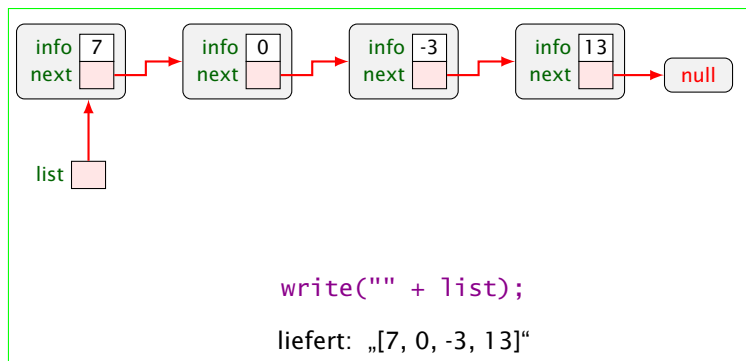


Weil Objektmethoden nur für von `null` verschiedene Objekte aufgerufen werden können, kann die leere Liste nicht mittels `toString()` als `String` dargestellt werden.

Der Konkatenations-Operator `+` ist so schlau, vor Aufruf von `toString()` zu überprüfen, ob ein `null`-Objekt vorliegt. Ist das der Fall, wird "null" ausgegeben.

Für eine andere Darstellung benötigen wir eine Klassenmethode `toString(List l)`;

Listen - toString()



Listen - toString()



```
write("" + list);
```

liefert: „null“

Listen - Implementierung

```
30 // Klassen-Methoden:
31 public static boolean isEmpty(List l) {
32     return (l == null);
33 }
34 public static String toString(List l) {
35     if (l == 0)
36         return "[]";
37     else
38         return l.toString();
39 }
40 // continued...
```

Der Aufruf erfolgt dann über `List.isEmpty(a)` bzw. `List.toString(a)` für eine Liste `a`. Leider funktioniert letzteres nicht zusammen mit dem Konkatenationsoperator. Über diesen wird weiterhin „null“ ausgegeben.

Listen - Implementierung

```
41     public static List arrayToList(int[] a) {
42         List result = null;
43         for(int i = a.length-1; i >= 0; --i)
44             result = new List(a[i], result);
45         return result;
46     }
47     public int[] listToArray() {
48         List t = this;
49         int n = length();
50         int[] a = new int[n];
51         for(int i = 0; i < n; ++i) {
52             a[i] = t.info;
53             t = t.next;
54         }
55         return a;
56     }
57     // continued...
```

Listen – Implementierung

- ▶ Damit das erste Element der Ergebnisliste `a[0]` enthält, beginnt die Iteration in `arrayToList()` beim **größten** Element.
- ▶ `listToArray()` ist als Objekt-Methode realisiert und funktioniert darum nur für **nicht-leere** Listen.
- ▶ Wir benötigen die Länge einer Liste:

```
58     private int length() {
59         int result = 1;
60         for(List t = next; t != null; t = t.next)
61             result++;
62         return result;
63     }
64 } // end of class List
```

Listen – Implementierung

- ▶ Weil `length()` als `private` deklariert ist, kann es nur von den Methoden der Klasse `List` benutzt werden.
- ▶ Damit `length()` auch für `null` funktioniert, hätten wir analog zu `toString()` auch noch eine Klassen-Methode `int length(List l)` definieren können.
- ▶ Diese Klassen-Methode würde uns ermöglichen, auch eine Klassen-Methode `static int [] listToArray (List l)` zu definieren, die auch für leere Listen definiert ist.

Es ist eine generelle Stilfrage ob man eine leere Liste als `null` implementieren sollte. Die meisten `Java`-Bibliotheken nutzen ein spezielles Objekt, das eine leere Liste/Collection etc. repräsentiert. Dann kann man z.B. immer `a.toString()` aufrufen anstatt `List.toString(a)` etc.

Mergesort – Sortieren durch Mischen

Mergesort ist ein schneller Sortieralgorithmus der auf der Mischoperation beruht.



John von Neumann (1945)

Mergesort – Sortieren durch Mischen

Die Mischoperation

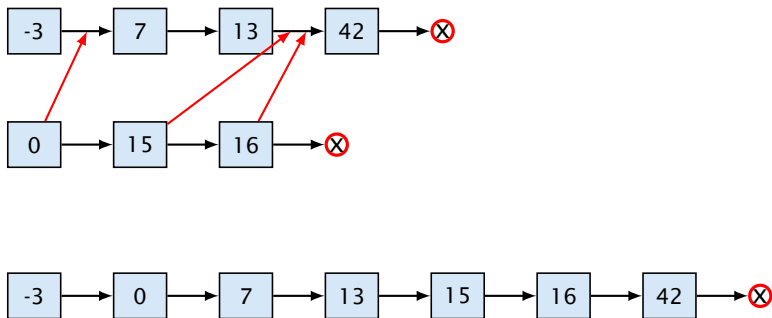
Input: zwei sortierte Listen

Output: eine gemeinsame sortierte Liste

Später bauen wir damit einen Sortieralgorithmus...

Beispiel – Mischen

Hier benutzen wir das Symbol \otimes für das `null`-Objekt.

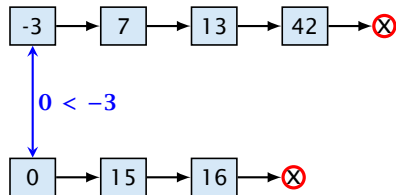


Mergesort – Sortieren durch Mischen

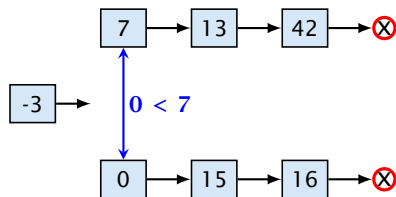
Idee:

- ▶ Konstruiere sukzessive die Ausgabe-Liste aus den der Argument-Listen.
- ▶ Um das nächste Element für die Ausgabe zu finden, vergleichen wir die beiden kleinsten Elemente der noch verbliebenen Inputlisten.
- ▶ Falls m und n die Längen der Argumentlisten sind, sind offenbar maximal nur $m + n - 1$ Vergleiche nötig.

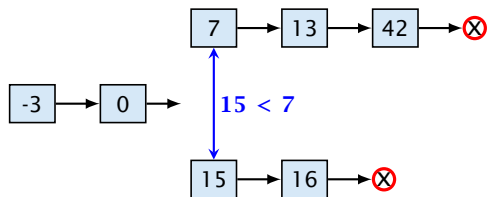
Beispiel – Mischen



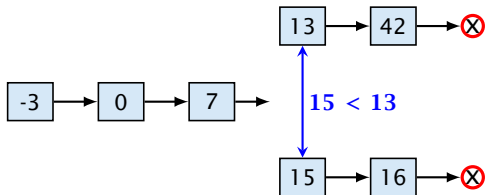
Beispiel – Mischen



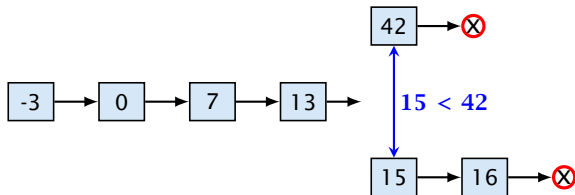
Beispiel – Mischen



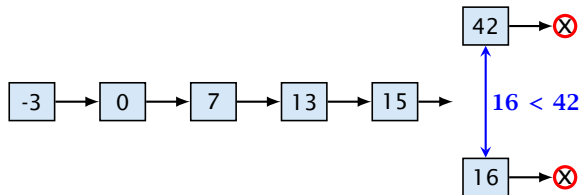
Beispiel – Mischen



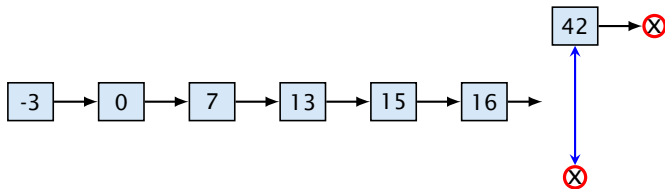
Beispiel – Mischen



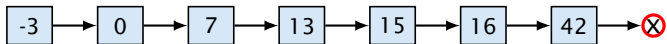
Beispiel – Mischen



Beispiel – Mischen



Beispiel – Mischen



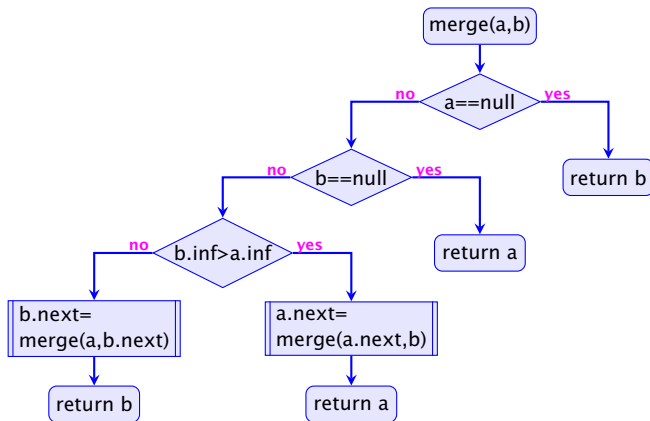
Rekursive Implementierung

- ▶ Falls eine der beiden Listen **a** und **b** leer ist, geben wir die andere aus.
- ▶ Andernfalls gibt es in jeder der beiden Listen ein erstes (kleinstes) Element.
- ▶ Von diesen beiden Elementen nehmen wir ein kleinstes.
- ▶ Dahinter hängen wir die Liste, die wir durch Mischen der verbleibenden Elemente erhalten. . .

Mergesort – Implementierung

```
1 public static List merge(List a, List b) {
2     if (b == null)
3         return a;
4     if (a == null)
5         return b;
6     if (b.info > a.info) {
7         a.next = merge(a.next, b);
8         return a;
9     } else {
10        b.next = merge(a, b.next);
11        return b;
12    }
13 }
```

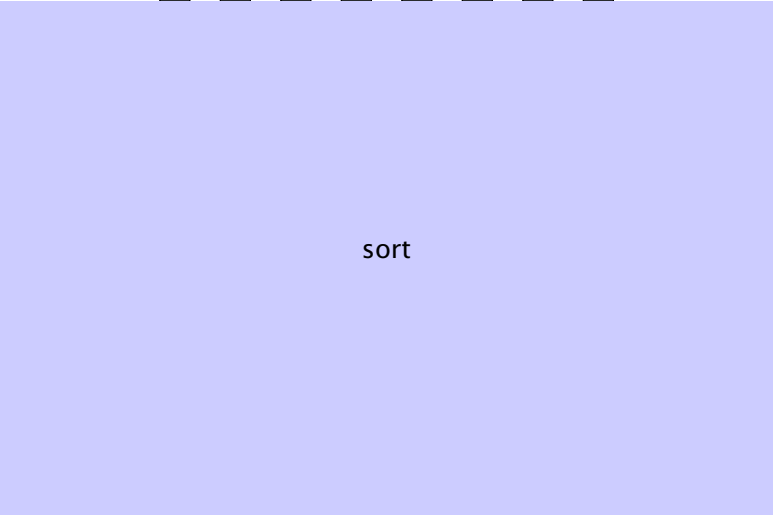
Kontrollfluss



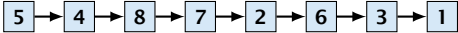
Sortieren durch Mischen:

1. Teile zu sortierende Liste in zwei Teillisten;
2. sortiere jede Hälfte für sich;
3. mische die Ergebnisse!

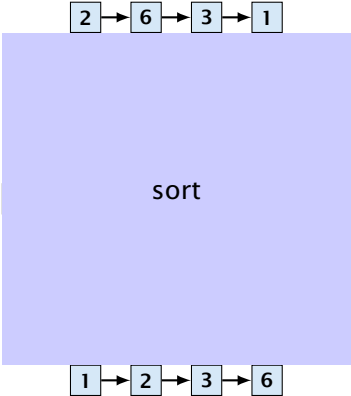
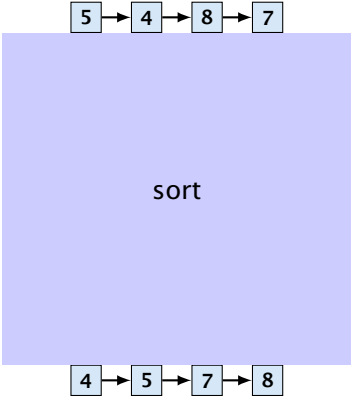
Mergesort



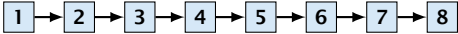
Mergesort



split



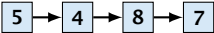
merge



Mergesort



split



split

split



merge

merge



merge



Mergesort



split



split

split



split

split

split

split



merge

merge

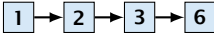
merge

merge



merge

merge



merge



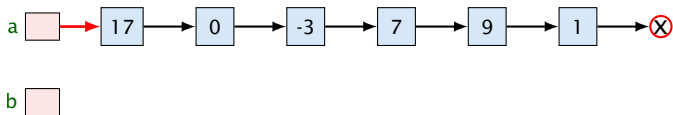
Mergesort – Implementierung

```
1 public static List sort(List a) {  
2     if (a == null || a.next == null)  
3         return a;  
4     List b = a.half(); // Halbiere!  
5     a = sort(a);  
6     b = sort(b);  
7     return merge(a,b);  
8 }
```

Mergesort – Implementierung

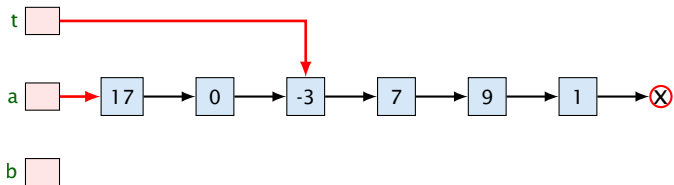
```
1 public List half() {
2     int n = length();
3     List t = this;
4     for (int i = 0; i < n/2-1; i++)
5         t = t.next;
6     List result = t.next;
7     t.next = null;
8     return result;
9 }
```

Halbieren

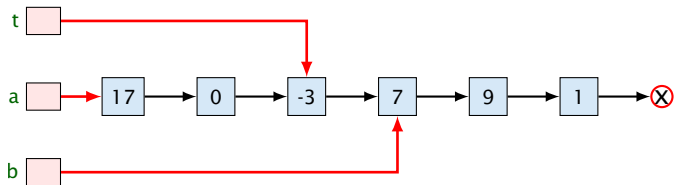


a.half()

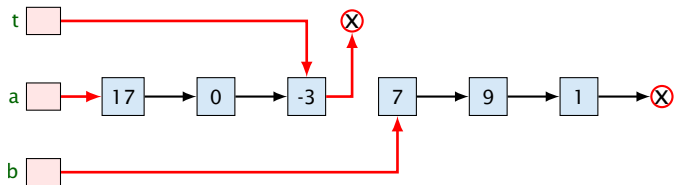
Halbieren



Halbieren



Halbieren



Mergesort – Analyse

- ▶ Sei $V(n)$ die Anzahl der Vergleiche, die Mergesort maximal zum Sortieren einer Liste der Länge n benötigt.
Dann gilt:

$$V(1) = 0$$

$$V(2n) \leq 2 \cdot V(n) + 2 \cdot n$$

- ▶ Für $n = 2^k$, sind das dann nur $k \cdot n = n \log_2 n$ Vergleiche!!!

Dies ist wesentlich effizienter als die Methode „Sortieren durch Einfügen“, die wir vorher kennengelernt haben.

Achtung:

- ▶ Unsere Funktion `sort()` zerstört ihr Argument!
- ▶ Alle Listenknoten der Eingabe werden weiterverwendet.
- ▶ Die Idee des Sortierens durch Mischen könnte auch mithilfe von Feldern realisiert werden (wie?)
- ▶ Sowohl das Mischen wie das Sortieren könnte man statt rekursiv auch iterativ implementieren (wie?)

11.2 Keller (Stacks)

Operationen:

- `boolean isEmpty()` : testet auf Leerheit;
- `int pop()` : liefert oberstes Element;
- `void push(int x)` : legt `x` oben auf dem Keller ab;
- `String toString()` : liefert eine String-Darstellung

Weiterhin müssen wir einen leeren Keller anlegen können.

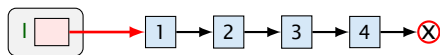
Modellierung Stack

Stack	
+ Stack	()
+ isEmpty	() : boolean
+ push	(x : int) : void
+ pop	() : int
+ toString	() : String

Stack via List

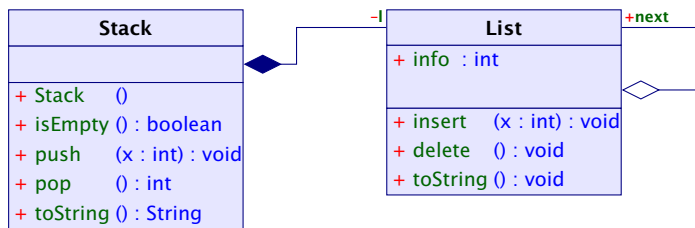
Idee

- ▶ Realisiere **Stack** mithilfe einer Liste:



- ▶ Das Attribut **l** zeigt auf das oberste Kellerelement.

Modellierung Stack via List



Die **gefüllte Raute** bezeichnet eine **Komposition**. Die Liste existiert nur solange wie der Stack (d.h. wird üblicherweise durch diesen erzeugt und zerstört). Außerdem kann die Liste nur Teil eines Stacks sein.

Stack – Implementierung

```
1 public class Stack {
2     private List l;
3     // Konstruktor :
4     public Stack() {
5         l = null;
6     }
7     // Objektmethoden :
8     public boolean isEmpty() {
9         return l == null;
10    }
11    // continued...
```

Stack – Implementierung

```
12     public int pop() {
13         int result = l.info;
14         l = l.next;
15         return result;
16     }
17     public void push(int a) {
18         l = new List(a,l);
19     }
20     public String toString() {
21         return List.toString(l);
22     }
23 } // end of class Stack
```

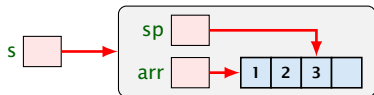
Bemerkungen

- ▶ Implementierung ist sehr einfach;
- ▶ nutzt gar nicht alle Features von `List`;
- ▶ **Nachteil:** Die Listenelemente sind evt. über den gesamten Speicher verstreut:
⇒ schlechtes Cache-Verhalten!

Zweite Idee:

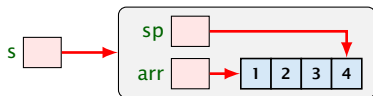
- ▶ Realisiere Keller mithilfe eines Feldes, und eines Stackpointers, der auf das oberste Element zeigt.
- ▶ Läuft das Feld über ersetzen wir es durch ein größeres.

Stack via Array



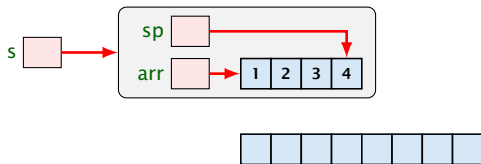
`s.push(4)`

Stack via Array



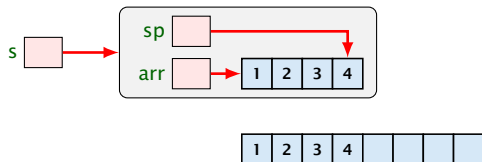
`s.push(5)`

Stack via Array



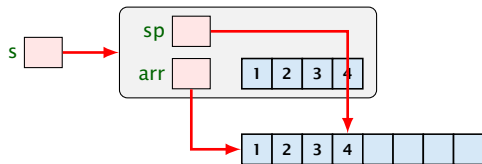
`s.push(5)`

Stack via Array



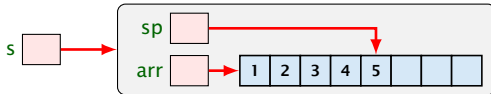
`s.push(5)`

Stack via Array

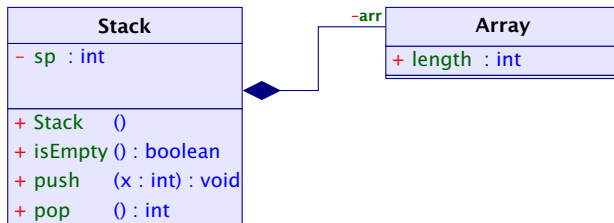


`s.push(5)`

Stack via Array



Modellierung Stack



Implementierung

```
1 public class Stack {
2     private int sp;
3     private int[] arr;
4     // Konstruktoren:
5     public Stack() {
6         sp = -1;
7         arr = new int[4];
8     }
9     // Objekt-Methoden:
10    public boolean isEmpty() {
11        return sp < 0;
12    }
13    // continued...
```


Implementierung

```
14     public int pop() {
15         return arr[sp--];
16     }
17     public void push(int x) {
18         ++sp;
19         if (sp == arr.length) {
20             int[] b = new int[2*sp];
21             for (int i = 0; i < sp; ++i) b[i] = arr[i];
22             arr = b;
23         }
24         a[sp] = x;
25     }
26     public toString() {...}
27 } // end of class Stack
```

11.2 Keller (Stacks)

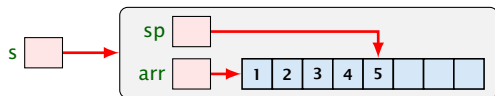
Nachteil:

- ▶ Es wird zwar neuer Platz allokiert, aber nie welcher freigegeben.

Erste Idee:

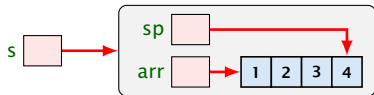
- ▶ Sinkt der Pegel wieder auf die Hälfte, geben wir diese frei. . .

Stack via Array



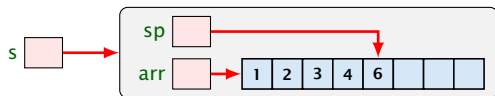
`s.pop()`

Stack via Array



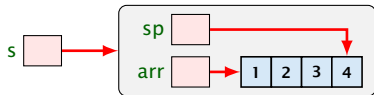
`s.push(6)`

Stack via Array



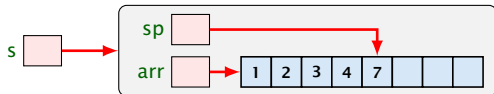
`s.pop()`

Stack via Array



`s.push(7)`

Stack via Array



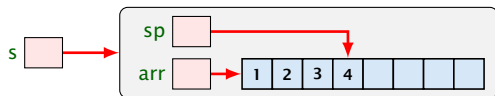
11.2 Keller (Stacks)

- ▶ Im schlimmsten Fall müssen bei **jeder** Operation sämtliche Elemente kopiert werden.

Zweite Idee:

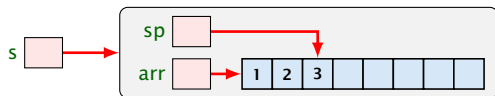
- ▶ Wir geben erst frei, wenn der Pegel auf **ein Viertel** fällt – und dann auch nur die Hälfte!

Stack via Array



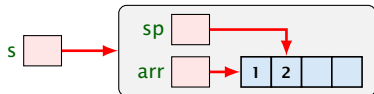
`s.pop()`

Stack via Array



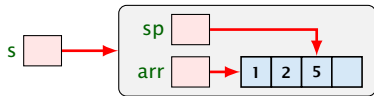
`s.pop()`

Stack via Array



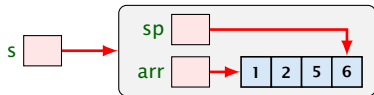
s.push(5)

Stack via Array



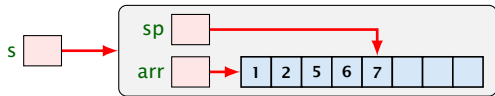
`s.push(6)`

Stack via Array



`s.push(7)`

Stack via Array



11.2 Keller (Stacks)

Beobachtung:

- ▶ Vor jedem Kopieren werden mindestens halb so viele Operationen ausgeführt, wie Elemente kopiert werden.
- ▶ Gemittelt über die gesamte Folge der Operationen werden pro Operation maximal zwei Zahlen kopiert (↑amortisierte Aufwandsanalyse)

Implementierung

```
1 public int pop() {
2     int result = a[sp];
3     if (sp == a.length/4 && sp >= 2) {
4         int[] b = new int[2*sp];
5         for(int i = 0; i < sp; ++i)
6             b[i] = a[i];
7         a = b;
8     }
9     sp--;
10    return result;
11 }
```


11.3 Schlangen (Queues)

(Warte-) Schlangen verwalten ihre Elemente nach dem **FIFO**-Prinzip (**F**irst-**I**n-**F**irst-**O**ut).

Operationen:

`boolean isEmpty()` : testet auf Leerheit;
`int dequeue()` : liefert erstes Element;
`void enqueue(int x)` : reiht `x` in die Schlange ein;
`String toString()` : liefert eine String-Darstellung.

Weiterhin müssen wir eine leere Schlange anlegen können.

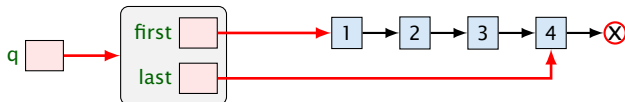
Modellierung Queue

Queue	
+	Queue ()
+	isEmpty () : boolean
+	enqueue (x : int) : void
+	dequeue () : int
+	toString () : String

Queue via List

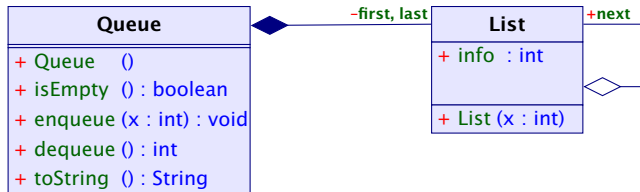
Erste Idee:

- ▶ Realisiere Schlange mithilfe einer Liste:



- ▶ **first** zeigt auf das nächste zu entnehmende Element;
- ▶ **last** zeigt auf das Element hinter dem eingefügt wird;

Modellierung: Queue via List



Objekte der Klasse **Queue** enthalten zwei Verweise auf Objekte der Klasse **List**.

Queue – Implementierung

```
1 public class Queue {
2     private List first, last;
3     // Konstruktor:
4     public Queue() {
5         first = last = null;
6     }
7     // Objekt-Methoden:
8     public boolean isEmpty() {
9         return List.isEmpty(first);
10    }
11    // continued...
```

Queue – Implementierung

```
12     public int dequeue() {
13         int result = first.info;
14         if (last == first) last = null;
15         first = first.next;
16         return result;
17     }
18     public void enqueue(int x) {
19         if (first == null) first = last = new List(x);
20         else { last.insert(x); last = last.next; }
21     }
22     public String toString() {
23         return List.toString(first);
24     }
25 } // end of class Queue
```

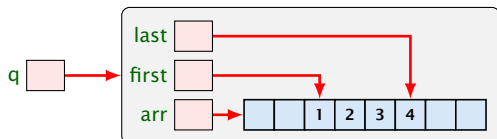
Bemerkungen

- ▶ Implementierung ist wieder sehr einfach;
- ▶ nutzt mehr Features von `List`;
- ▶ **Nachteil:** Die Listenelemente sind evt. über den gesamten Speicher verstreut:
⇒ schlechtes Cache-Verhalten!

Zweite Idee:

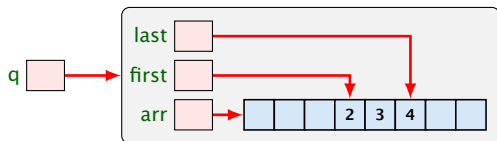
- ▶ Realisiere Keller mithilfe eines Feldes, und zweier Pointer, die auf erstes bzw. letztes Element zeigen.
- ▶ Läuft das Feld über ersetzen wir es durch ein größeres.

Queue via Array



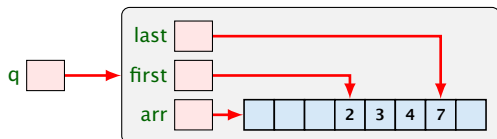
`q.dequeue()`

Queue via Array



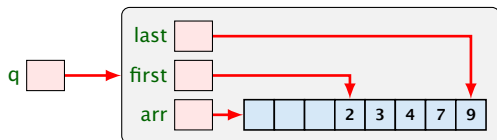
`q.enqueue(7)`

Queue via Array



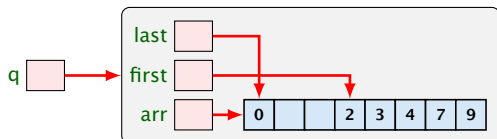
`q.enqueue(9)`

Queue via Array



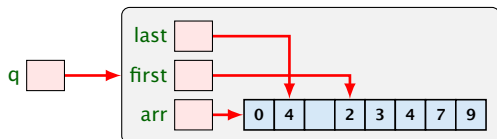
`q.enqueue(0)`

Queue via Array



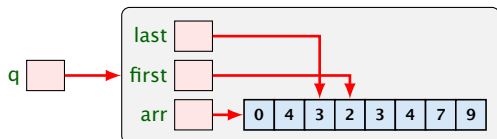
`q.enqueue(4)`

Queue via Array



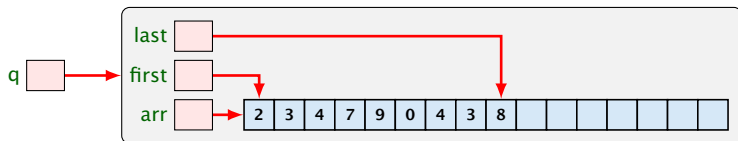
`q.enqueue(3)`

Queue via Array

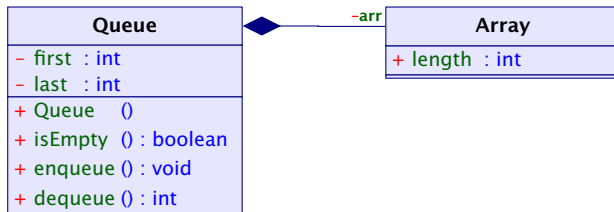


`q.enqueue(8)`

Queue via Array



Modellierung: Queue via Array



Implementierung

```
1 public class Queue {
2     private int first, last;
3     private int[] arr;
4     // Konstruktor:
5     public Queue() {
6         first = last = -1;
7         arr = new int[4];
8     }
9     // Objekt-Methoden:
10    public boolean isEmpty() { return first == -1; }
11    public String toString() {...}
12    //continued...
```

Implementierung von enqueue()

- ▶ Falls die Schlange leer war, muss `first` und `last` auf 0 gesetzt werden.
- ▶ Andernfalls ist das Feld `a` genau dann voll, wenn das Element `x` an der Stelle `first` eingetragen werden sollte.
- ▶ In diesem Fall legen wir ein Feld doppelter Größe an.

Die Elemente `a[first], ..., a[a.length-1]`, `a[0], a[1], ..., a[first-1]` kopieren wir nach `b[0], ..., b[a.length-1]`.

- ▶ Dann setzen wir `first = 0; last = a.length; a = b;`
- ▶ Nun kann `x` an der Stelle `a[last]` abgelegt werden.

Implementierung

```
13     public void enqueue(int x) {
14         if (first == -1) {
15             first = last = 0;
16         } else {
17             int n = a.length;
18             last = (last + 1) x n;
19             if (last == first) {
20                 int[] b = new int[2*n];
21                 for (int i = 0; i < n; ++i)
22                     b[i] = arr[(first + i) x n];
23                 first = 0;
24                 last = n;
25                 arr = b;
26             }
27         } // end if and else
28         arr[last] = x;
29     }
```

Implementierung von dequeue()

- ▶ Falls nach Entfernen von $a[first]$ die Schlange leer ist, werden $first$ und $last$ auf -1 gesetzt.
- ▶ Andernfalls wird $first$ um 1 (modulo der Länge von arr) inkrementiert.

Für eine evt. Freigabe unterscheiden wir zwei Fälle.

1. Ist $first < last$, liegen die Schlangen-Elemente an den Stellen $arr[first], \dots, arr[last]$. Sind dies höchstens $n/4$, werden sie an die Stellen $b[0], \dots, b[last-first]$ kopiert.

Implementierung

```
13 public int dequeue() {
14     int result = a[first];
15     if (last == first) {
16         first = last = -1;
17         return result;
18     }
19     int n = a.length;
20     first = (first+1) % n;
21     int diff = last - first;
22     if (diff > 0 && diff < n/4) {
23         int[] b = new int[n/2];
24         for(int i = first; i <= last; ++i)
25             b[i-first] = a[i];
26         last = last - first;
27         first = 0;
28         arr = b;
29     } else // continued...
```

Implementierung von dequeue()

2. Ist $last < first$, liegen die Schlangen-Elemente an den Stellen $arr[0], \dots, arr[last]$ und $arr[first], \dots, arr[a.length-1]$.

Sind dies höchstens $n/4$, werden sie an die Stellen $b[0], \dots, b[last]$ sowie $b[first-n/2], \dots, b[n/2-1]$ kopiert.

- ▶ $first$ und $last$ müssen die richtigen neuen Werte erhalten.
- ▶ Dann kann a durch b ersetzt werden.

Implementierung

```
22     if (diff < 0 && diff + n < n/4) {
23         int[] b = new int[n/2];
24         for (int i = 0; i <= last; ++i)
25             b[i] = arr[i];
26         for (int i = first; i < n; ++i)
27             b[i-n/2] = arr[i];
28         first = first-n/2;
29         arr = b;
30     }
31     return result;
32 }
```

11 Abstrakte Datentypen

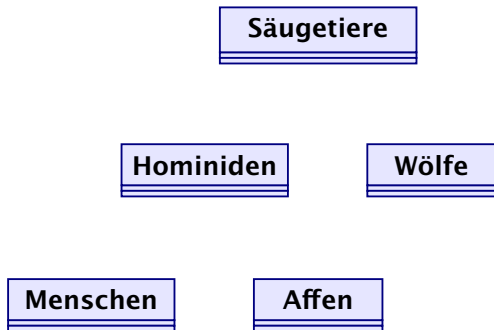
Zusammenfassung

- ▶ Der Datentyp `List` ist nicht sehr **abstract**, dafür extrem flexibel (gut für **rapid prototyping**)
- ▶ Für die **nützlichen** (eher) abstrakten Datentypen `Stack` und `Queue` lieferten wir zwei Implementierungen. Einer sehr einfache, und eine cache-effiziente.
- ▶ **Achtung:** oft werden bei diesen Datentypen noch weitere Operationen zur Verfügung gestellt.

12 Vererbung

Beobachtung

Oft werden mehrere Klassen von Objekten benötigt, die zwar ähnlich, aber doch verschieden sind.



12 Vererbung

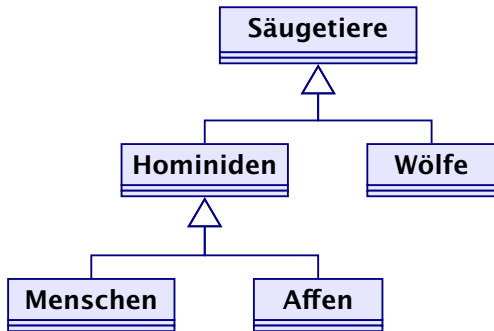
Idee:

- ▶ Finde Gemeinsamkeiten heraus!
- ▶ Organisiere in einer Hierarchie!
- ▶ Implementiere zuerst was allen gemeinsam ist!
- ▶ Implementiere dann nur noch den Unterschied!

⇒ **incrementelles Programmieren**

⇒ **Software Reuse**

12 Vererbung

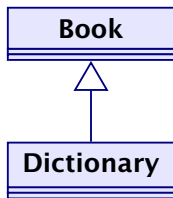


12 Vererbung

Prinzip

- ▶ Die Unterklasse verfügt über all Members der Oberklasse und eventuell noch über weitere.
- ▶ Das Übernehmen von Members der Oberklasse in die Unterklasse nennt man **Vererbung** (oder **inheritance**).

Beispiel



Implementierung

```
1 public class Book {
2     protected int pages;
3     public Book() {
4         pages = 150;
5     }
6     public void page_message() {
7         System.out.println("Number of pages: "+pages);
8     }
9 } // end of class Book
10 // continued...
```

Implementierung

```
1 public class Dictionary extends Book {
2     private int defs;
3     public Dictionary(int x) {
4         pages = 2*pages;
5         defs = x;
6     }
7     public void defs_message() {
8         System.out.println("Number of defs: "+defs);
9         System.out.println("Defs per page: "+defs/pages);
10    }
11 } // end of class Dictionary
```

Erläuterungen

- ▶ `class A extends B { ... }` deklariert die Klasse `A` als Unterklasse der Klasse `B`.
- ▶ Alle Members von `B` stehen damit automatisch auch der Klasse `A` zur Verfügung.
- ▶ Als `protected` klassifizierte Members sind auch in der Unterklasse `sichtbar`.
- ▶ Als `private` deklarierte Members können dagegen in der Unterklasse `nicht` direkt aufgerufen werden, da sie dort nicht sichtbar sind.
- ▶ Wenn ein Konstruktor der Unterklasse `A` aufgerufen wird, wird `implizit` zuerst der Konstruktor `B()` der Oberklasse aufgerufen.

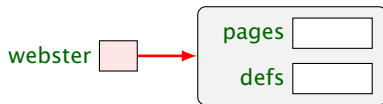
Beispiel

```
Dictionary webster = new Dictionary(12400);  
liefert
```

webster

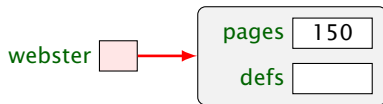
Beispiel

Dictionary webster = new Dictionary(12400);
liefert



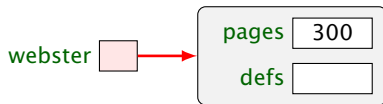
Beispiel

Dictionary webster = new Dictionary(12400);
liefert



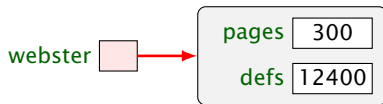
Beispiel

Dictionary webster = new Dictionary(12400);
liefert



Beispiel

Dictionary webster = new Dictionary(12400);
liefert



Methodenaufruf

```
1 public class Words {
2     public static void
      main(String[] args) {
3         Dictionary webster = new
      Dictionary(12400);
4         webster.page_message();
5         webster.defs_message();
6     } // end of main
7 } // end of class Words
```

- ▶ Das neue Objekt `webster` enthält die Attribute `pages` und `defs`, sowie die Objekt-Methoden `page_message()` und `defs_message()`.
- ▶ Kommen in der Unterklasse nur weitere Members hinzu, spricht man von einer `is_a`-Beziehung. (Oft müssen aber Objekt-Methoden der Oberklasse in der Unterklasse umdefiniert werden.)

Methodenaufruf

Die Programmausführung liefert:

Number of pages: 300

Number of defs: 12400

Defs per page: 41

12.1 Das Schlüsselwort `super`

- ▶ Manchmal ist es erforderlich, in der Unterklasse **explizit** die Konstruktoren oder Objekt-Methoden der Oberklasse aufzurufen. Das ist der Fall, wenn
 - ▶ Konstruktoren der Oberklasse aufgerufen werden sollen, die Parameter besitzen;
 - ▶ Objekt-Methoden oder Attribute der Oberklasse und Unterklasse gleiche Namen haben.
- ▶ Zur Unterscheidung der aktuellen Klasse von der Oberklasse dient das Schlüsselwort **super**.

Beispiel

```
1 public class Book {
2     protected int pages;
3     public Book(int x) {
4         pages = x;
5     }
6     public void message() {
7         System.out.println("Number of pages: "+pages);
8     }
9 } // end of class Book
10 //continued...
```


Beispiel

```
11 public class Dictionary extends Book {
12     private int defs;
13     public Dictionary(int p, int d) {
14         super(p);
15         defs = d;
16     }
17     public void message() {
18         super.message();
19         System.out.println("Number of defs: "+defs);
20         System.out.println("Defs per page: "+defs/pages);
21     }
22 } // end of class Dictionary
```

Erläuterungen

„super“ als Konstruktoraufruf

- ▶ `super(...)`; ruft den entsprechenden Konstruktor der Oberklasse auf.
- ▶ Analog gestattet `this(...)`; den entsprechenden Konstruktor der eigenen Klasse aufzurufen.
- ▶ Ein solcher expliziter Aufruf muss stets ganz am Anfang eines Konstruktors stehen.

„super.“ zum Zugriff auf members der Oberklasse

Deklariert eine Klasse `A` einen Member `memb` gleichen Namens wie in einer Oberklasse, so ist nur noch der Member `memb` aus `A` sichtbar.

- ▶ Methoden mit unterschiedlichen Argument-Typen werden als verschieden angesehen.
- ▶ `super.memb` greift für das aktuelle Objekt `this` auf Attribute oder Objekt-Methoden `memb` der Oberklasse zu.
- ▶ Eine andere Verwendung von `super.` ist **nicht gestattet**.

Verschattung von Variablen

Falls `memb` eine Methode ist:

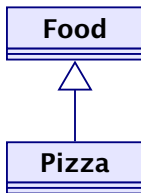
- ▶ Wenn `memb` eine Methode mit den gleichen Argumenttypen (in der gleichen Reihenfolge), und dem gleichen Rückgabetypen ist, dann ist zunächst nur `memb` aus `A` sichtbar (**Überschreiben**).
- ▶ Wenn `memb` eine Methode mit unterschiedlichen Argumenttypen ist, dann sind sowohl `memb` aus `A` als auch die Methode der Oberklasse sichtbar (**Überladen**).
- ▶ Wenn die Argumenttypen übereinstimmen, aber der Rückgabetyper nicht, dann erhält man einen Compilerfehler.

Verschattung von Variablen

Falls **memb** eine Variable ist:

- ▶ Direkt (d.h. ohne **super.**) ist nur **memb** aus **A** sichtbar. **memb** kann einen anderen Typ als in der Oberklasse haben.

12.2 Private Variablen und Methoden



Das Programm `Eating` soll die Anzahl der **Kalorien pro Mahlzeit** ausgeben.

Implementierung

```
1 public class Eating {
2     public static void main (String[] args) {
3         Pizza special = new Pizza(275);
4         System.out.print("Calories per serving: " +
5             special.caloriesPerServing());
6     } // end of main
7 } // end of class Eating
```

Implementierung

```
7 public class Food {
8     private int CALORIES_PER_GRAM = 9;
9     private int fat, servings;
10    public Food (int numFatGrams, int numServings) {
11        fat = numFatGrams;
12        servings = numServings;
13    }
14    private int calories() {
15        return fat * CALORIES_PER_GRAM;
16    }
17    public int caloriesPerServing() {
18        return calories() / servings;
19    }
20 } // end of class Food
```


Implementierung + Erläuterungen

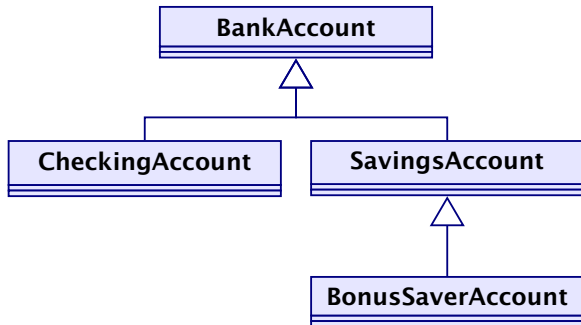
```
21 public class Pizza extends Food {  
22     public Pizza (int amountFat) {  
23         super(amountFat,8);  
24     }  
25 } // end of class Pizza
```

- ▶ Die Unterklasse `Pizza` verfügt über alle Members der Oberklasse `Food` — nicht alle `direkt` zugänglich.
- ▶ Die Attribute und die Objekt-Methode `calories()` der Klasse `Food` sind privat, und damit für Objekte der Klasse `Pizza` verborgen.
- ▶ Trotzdem können sie von der `public` Objekt-Methode `caloriesPerServing` benutzt werden.

Ausgabe des Programms:

Calories per serving: 309

12.3 Überschreiben von Methoden



Aufgabe

- ▶ Implementierung von einander abgeleiteter Formen von Bankkonten.
- ▶ Jedes Konto kann eingerichtet werden, erlaubt Einzahlungen und Auszahlungen.
- ▶ Verschiedene Konten verhalten sich unterschiedlich in Bezug auf Zinsen und Kosten von Kontobewegungen.

Einige Konten

```
1 public class Bank {
2     public static void main(String[] args) {
3         SavingsAccount savings =
4             new SavingsAccount(4321, 5028.45, 0.02);
5         BonusSaverAccount bigSavings =
6             new BonusSaverAccount (6543, 1475.85, 0.02);
7         CheckingAccount checking =
8             new CheckingAccount (9876,269.93, savings);
9 //continued...
```

Die Parameter beschreiben id, initialer Kontostand, und Zinssatz für die ersten beiden Typen. Für den `CheckingAccount` gibt es keine Zinsen. Der dritte Parameter ist ein zugehöriger `SavingsAccount`.

Einige Kontenbewegungen

```
10     savings.deposit(148.04);
11     bigSavings.deposit(41.52);
12     savings.withdraw(725.55);
13     bigSavings.withdraw(120.38);
14     checking.withdraw(320.18);
15 } // end of main
16 } // end of class Bank
```

Implementierung

```
1 public class BankAccount {
2     // Attribute aller Konten-Klassen:
3     protected int account;
4     protected double balance;
5     // Konstruktor:
6     public BankAccount (int id, double initial) {
7         account = id; balance = initial;
8     }
9     // Objekt-Methoden:
10    public void deposit(double amount) {
11        balance = balance + amount;
12        System.out.println(
13            "Deposit into account "    + account + "\n"
14            + "Amount:\t\t"          + amount + "\n"
15            + "New balance:\t"       + balance + "\n");
16    }
17 //continued...
```

Erläuterungen

- ▶ Anlegen eines Kontos `BankAccount` speichert eine (hoffentlich neue) Kontonummer sowie eine Anfangseinlage.
- ▶ Die zugehörigen Attribute sind `protected`, d.h. können nur von Objekt-Methoden der Klasse bzw. ihrer Unterklassen modifiziert werden.
- ▶ die Objekt-Methode `deposit` legt Geld aufs Konto, d.h. modifiziert den Wert von `balance` und teilt die Kontobewegung mit.

Finden Sie das Sicherheitsproblem?

Implementierung

```
18     public boolean withdraw(double amount) {
19         System.out.println(
20             "Withdrawal from account "+ account + "\n"
21             + "Amount:\t\t" + amount);
22         if (amount > balance) {
23             System.out.println(
24                 "Sorry, insufficient funds...\n");
25             return false;
26         }
27         balance = balance - amount;
28         System.out.println(
29             "New balance:\t"+ balance + "\n");
30         return true;
31     }
32 } // end of class BankAccount
```


- ▶ Die Objekt-Methode `withdraw()` nimmt eine Auszahlung vor.
- ▶ Falls die Auszahlung scheitert, wird eine Mitteilung gemacht.
- ▶ Ob die Auszahlung erfolgreich war, teilt der Rückgabewert mit.
- ▶ Ein `CheckingAccount` verbessert ein normales Konto, indem im Zweifelsfall auf die Rücklage eines Sparkontos zurückgegriffen wird.

Ein Girokonto

```
1 public class CheckingAccount extends BankAccount {
2     private SavingsAccount overdraft;
3     // Konstruktor:
4     public CheckingAccount(int id, double initial,
5         SavingsAccount savings) {
6         super(id, initial);
7         overdraft = savings;
8     }
9     //continued...
```

Modifiziertes withdraw()

```
10 // modifiziertes withdraw():
11 public boolean withdraw(double amount) {
12     if (!super.withdraw(amount)) {
13         System.out.print("Using overdraft...\n");
14         if (!overdraft.withdraw(amount-balance)) {
15             System.out.println(
16                 "Overdraft source insufficient.\n");
17             return false;
18         } else {
19             balance = 0;
20             System.out.println(
21                 "New balance on account "
22                 + account + ": 0\n");
23         }
24     }
25     return true;
26 }
27 } // end of class Checking_Account
```

Erläuterungen

- ▶ Die Objekt-Methode `withdraw` wird neu definiert, die Objekt-Methode `deposit` wird übernommen.
- ▶ Der Normalfall des Abhebens erfolgt (als Seiteneffekt) beim Testen der ersten `if`-Bedingung.
- ▶ Dazu wird die `withdraw`-Methode der Oberklasse aufgerufen.
- ▶ Scheitert das Abheben mangels Geldes, wird der Fehlbetrag vom Rücklagen-Konto abgehoben.
- ▶ Scheitert auch das, erfolgt keine Konto-Bewegung, dafür eine Fehlermeldung.
- ▶ Andernfalls sinkt der aktuelle Kontostand auf `0` und die Rücklage wird verringert.

Ein Sparbuch

```
1 public class SavingsAccount extends BankAccount {
2     protected double interestRate;
3     // Konstruktor:
4     public SavingsAccount(int id,double init,double rate){
5         super(id, init);
6         interestRate = rate;
7     }
8     // zusaetzliche Objekt-Methode:
9     public void add_interest() {
10        balance = balance * (1 + interestRate);
11        System.out.println(
12            "Interest added to account: "+ account
13            + "\nNew balance:\t" + balance + "\n");
14    }
15 } // end of class SavingsAccount
```

- ▶ Die Klasse `SavingsAccount` erweitert die Klasse `BankAccount` um das zusätzliche Attribut `double interestRate` (Zinssatz) und eine Objekt-Methode, die die Zinsen gutschreibt.
- ▶ Alle sonstigen Attribute und Objekt-Methoden werden von der Oberklasse geerbt.
- ▶ Die Klasse `BonusSaverAccount` erhöht zusätzlich den Zinssatz, führt aber Strafkosten fürs Abheben ein.

Ein Bonus-Sparbuch

```
1 public class BonusSaverAccount extends SavingsAccount {
2     private int penalty;
3     private double bonus;
4     // Konstruktor:
5     public BonusSaverAccount(int id, double init,
6                               double rate) {
7         super(id, init, rate);
8         penalty = 25;
9         bonus = 0.03;
10    }
11    // Modifizierung der Objekt-Methoden:
12    public boolean withdraw(double amount) {
13        boolean res;
14        if (res = super.withdraw(amount + penalty))
15            System.out.print(
16                "Penalty incurred:\t"+ penalty +"\n");
17        return res;
18    }
19    //continued...
```

Ein Bonus-Sparbuch

```
18     public void addInterest() {
19         balance = balance * (1 + interestRate + bonus);
20         System.out.println(
21             "Interest added to account: " + account
22             + "\nNew balance:\t" + balance + "\n");
23     }
24 } // end of class BonusSaverAccount
```


Programmausgabe

Deposit into account 4321

Amount: 148.04

New balance: 5176.49

Deposit into account 6543

Amount: 41.52

New balance: 1517.37

Withdrawal from account 4321

Amount: 725.55

New balance: 4450.94

Penalty incurred: 25

Withdrawal from account 6543

Amount: 145.38

New balance: 1371.989999999998

Withdrawal from account 9876

Amount: 320.18

Sorry, insufficient funds...

Using overdraft...

Withdrawal from account 4321

Amount: 50.25

New balance: 4400.69

New balance on account 9876: 0

13 Polymorphie

Problem:

- ▶ Unsere Datenstrukturen `List`, `Stack` und `Queue` können einzig und allein `int`-Werte aufnehmen.
- ▶ Wollen wir `String`-Objekte oder andere Arten von Zahlen ablegen, müssen wir die jeweilige Datenstruktur grade nochmal definieren.

13.1 Unterklassen-Polymorphie

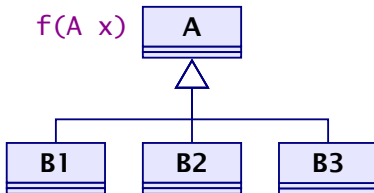
Idee:

- ▶ Eine Operation `meth (A x)` lässt sich auch mit einem Objekt aus einer Unterklasse von `A` aufrufen!!!
- ▶ Kennen wir eine gemeinsame Oberklasse `Base` für alle möglichen aktuellen Parameter unserer Operation, dann definieren wir `meth` einfach für `Base`...
- ▶ Eine Funktion, die für mehrere Argumenttypen definiert ist, heißt auch **polymorph**.

Anstatt



besser



Ermittlung der aufgerufenen Methode

Betrachte einen Aufruf $e_0.f(e_1, \dots, e_k)$.

- ▶ Bestimme die **statischen** Typen T_0, \dots, T_k der Ausdrücke e_0, \dots, e_k .
- ▶ Suche in einer Oberklasse von T_0 nach einer Methode mit Namen f , deren Liste von Argumenttypen bestmöglich zu der Liste T_1, \dots, T_k passt.
Der Typ I dieser rein statisch gefundenen Methode ist die **Signatur** der Methode f an dieser Aufrufstelle im Programm.
- ▶ Der **dynamische** Typ D des Objekts, zu dem sich e_0 auswertet, gehört zu einer Unterklasse von T_0 .
- ▶ Die Methode f wird nun aufgerufen, deren Typ I ist und die in der nächsten Oberklasse von D implementiert wird.

Die Klasse `Object`

- ▶ Die Klasse `Object` ist eine gemeinsame Oberklasse für **alle** Klassen.
- ▶ Eine Klasse ohne angegebene Oberklasse ist eine direkte Unterklasse von `Object`.

Die Klasse `Object`

Einige nützliche Methoden der Klasse `Object`:

- ▶ `String toString()` liefert Darstellung als `String`;
- ▶ `boolean equals(Object obj)` testet auf **Objekt-Identität** oder Referenz-Gleichheit:

```
1 public boolean equals(Object obj) {  
2     return this == obj;  
3 }
```

- ▶ `int hashCode()` liefert eindeutige Nummer für das Objekt.
- ▶ ...viele weitere **geheimnisvolle Methoden**, die u.a. mit **paralleler Programmausführung** zu tun haben.

Achtung: `Object`-Methoden können aber in Unterklassen durch geeignete Methoden überschrieben werden.

Beispiel

```
1 public class Poly {
2     public String toString() { return "Hello"; }
3 }
4 public class PolyTest {
5     public static String addWorld(Object x) {
6         return x.toString() + " World!";
7     }
8     public static void main(String[] args) {
9         Object x = new Poly();
10        System.out.println(addWorld(x));
11    }
12 }
```

liefert: "Hello World!"

- ▶ Die Klassen-Methode `addWorld()` kann auf jedes Objekt angewendet werden.
- ▶ Die Klasse `Poly` ist eine Unterklasse von `Object`.
- ▶ Einer Variable der Klasse `A` kann ein Objekt **jeder Unterklasse** von `A` zugewiesen werden.
- ▶ Darum kann `x` das neue `Poly`-Objekt aufnehmen.

Die Klasse `Poly` enthält keinen explizit definierten Konstruktor.

Eine Klasse `A`, die keinen anderen Konstruktor besitzt, erhält einen **Default-Konstruktor** `public A()`.

Beispiel

```
1 public class Poly {
2     public String greeting() { return "Hello"; }
3 }
4 public class PolyTest {
5     public static void main(String[] args) {
6         Object x = new Poly();
7         System.out.println(x.greeting()+" World!");
8     }
9 }
```

liefert: **Compilerfehler**

```
Method greeting() not found in class java.lang.Object.
    System.out.print(x.greeting()+" World!\n");
                        ^
```

1 error

Erklärung

- ▶ Die Variable `x` ist als `Object` deklariert.
- ▶ Der Compiler weiss nicht, ob der aktuelle Wert von `x` ein Objekt aus einer Unterklasse ist, in welcher die Objektmethode `greeting()` definiert ist.
- ▶ Darum lehnt er dieses Programm ab.

Ausweg

Benutze einen expliziten **cast** in die entsprechende Unterklasse!

```
1 public class Poly {
2     public String greeting() { return "Hello"; }
3 }
4 public class PolyTest {
5     public void main(String[] args) {
6         Object x = new Poly();
7         if (x instanceof Poly)
8             System.out.print(((Poly) x).greeting()+
9                 "World!\n");
10        else
11            System.out.print("Sorry: no cast
12                possible!\n");
13    }
14 }
```

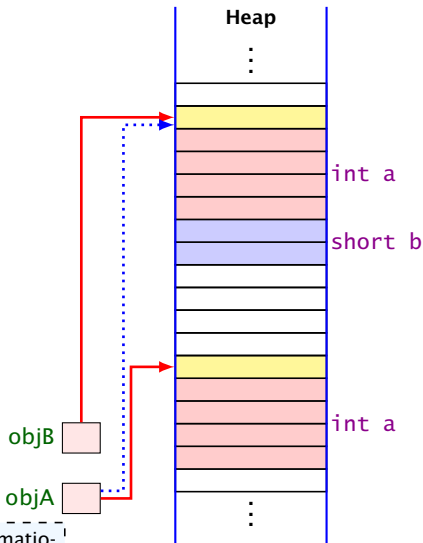
Java vergisst die Zugehörigkeit zu B nicht vollständig. Bei einem Aufruf von Objektmethoden, werden evt. von B überschriebene Methoden aufgerufen.

- ▶ Eine Variable `x` einer Klasse `A` kann Objekte `b` aus sämtlichen Unterklassen `B` von `A` aufnehmen.
- ▶ Durch diese Zuweisung vergisst `Java` die Zugehörigkeit zu `B`, da `Java` alle Werte von `x` als Objekte der Klasse `A` behandelt.
- ▶ Mit dem Ausdruck `x instanceof B` können wir zur **Laufzeit** die Klassenzugehörigkeit von `x` testen;
- ▶ Sind wir uns sicher, dass `x` aus der Klasse `B` ist, können wir in diesen Typ **casten**.
- ▶ Ist der aktuelle Wert der Variablen `x` bei dem versuchten Cast tatsächlich ein Objekt (einer Unterklasse) der Klasse `B`, liefert der Ausdruck genau dieses Objekt zurück. Andernfalls wird eine **Exception** ausgelöst.

Was passiert hier eigentlich?

```
public ClassA {  
    int a;  
}  
public ClassB extends classA {  
    short b;  
}  
public class Test {  
    public static void main() {  
        ClassA objA = new ClassA();  
        ClassB objB = new ClassB();  
        objA = objB;  
    }  
}
```

Ein Objekt vom Typ `classB` ist auch ein Objekt vom Typ `classA`.



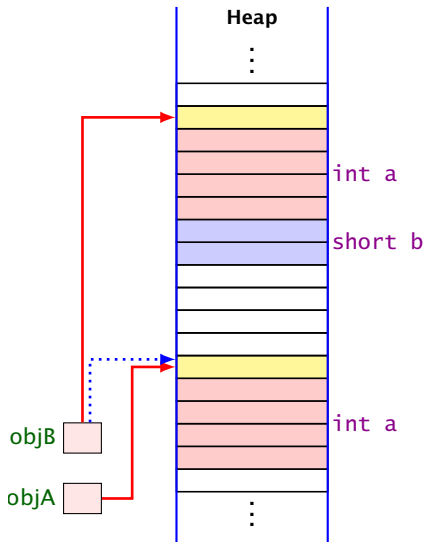
Die gelben Felder enthalten Verweise auf Typinformationen, die aber für diesen Fall der Zuweisung nicht benötigt werden.

Was passiert hier eigentlich?

```
objB = (classB) objA;
```

Die Typinformationen der Objekte werden geprüft (zur Laufzeit) um sicherzustellen, dass `objA` ein `classB`-Objekt ist, d.h., das es insbesondere `short b` enthält.

Hier gibt es einen Laufzeitfehler.



Methodenaufruf

Der Aufruf einer **statischen** Methode:

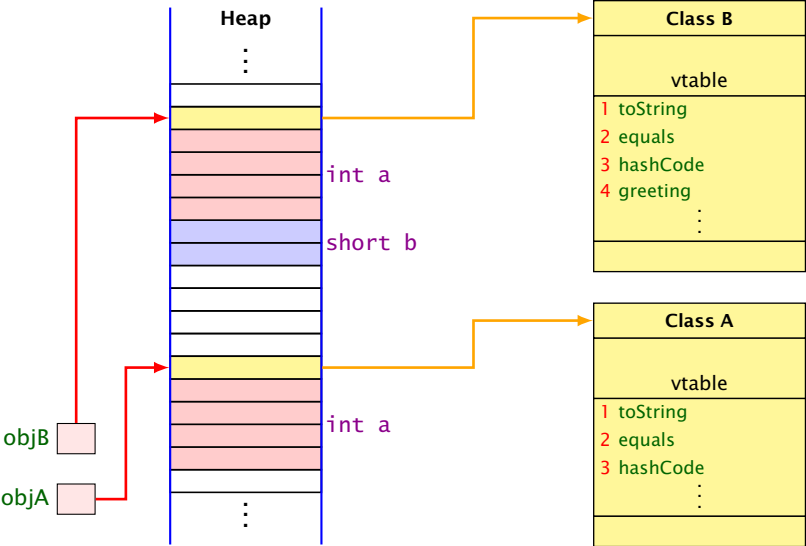
1. Aktuelle Parameter und Rücksprungadresse auf den Stack legen.
2. Zum Code der Funktion springen.

Aufruf einer Objektmethode:

1. Aktuelle Parameter (auch **this**) und Rücksprungadresse auf den Stack legen.
2. **Problem:** Die aufgerufene Funktion ist zur Compilezeit noch nicht bekannt; existiert vielleicht nicht einmal.

Die Funktion `addWorld()` im vorherigen Beispiel könnte schon existieren, bevor die Klasse `Poly` geschrieben wird. Wie kann dann `addWorld()` die richtige `toString()`-Funktion aufrufen?

Methodenaufruf



Methodenaufruf

Ein Aufruf `obj.equals()` wird wie folgt verarbeitet.

- Suche die `vtable` des Objekts auf das `obj` zeigt.
- Suche in dieser `vtable` nach dem Index von `equals()`.
- Springe an die dort gespeicherte Sprungadresse.

- ▶ Jede Klasse hat eine Tabelle (`vtable`) mit Methoden, die zu dieser Klasse gehören. Darin wird die Adresse des zugehörigen Codes gespeichert.
- ▶ Ein Aufruf einer Objektmethode (z.B. `equals`) sucht in dieser Tabelle nach der Sprungadresse.
- ▶ Beim **Überschreiben** einer Methode in einer Unterklasse wird dieser Eintrag auf die Sprungadresse der neuen Funktion geändert.
- ▶ **Dynamische Methodenbindung**

Wichtig

Der Index der Funktionen innerhalb der (`vtable`) ist in jeder abgeleiteten Klasse gleich.

Beispiel — Listen

```
1 public class List {
2     public Object info;
3     public List next;
4     public List(Object x, List l) {
5         info = x;
6         next = l;
7     }
8     public void insert(Object x) {
9         next = new List(x,next);
10    }
11    public void delete() {
12        if (next != null) next = next.next;
13    }
14 // continued...
```

Beispiel — Listen

```
14     public String toString() {
15         String result = "[" + info;
16         for (List t = next; t != null; t = t.next)
17             result = result + ", " + t.info;
18         return result + "]";
19     }
20     ...
21 } // end of class List
```

- ▶ Die Implementierung funktioniert ganz analog zur Implementierung für `int`.
- ▶ Die `toString()`-Methode ruft implizit die (stets vorhandene) `toString()`-Methode der Listenelemente auf.

Beispiel — Listen

Achtung:

```
1 //...
2 Poly x = new Poly();
3 List list = new List(x);
4 x = list.info;
5 System.out.println(x);
6 //...
```

liefert einen **Compilerfehler**. Der Variablen `x` dürfen nur Unterklassen von `Poly` zugewiesen werden.

Beispiel — Listen

Stattdessen:

```
1 //...
2 Poly x = new Poly();
3 List list = new List(x);
4 x = (Poly) list.info;
5 System.out.println(x);
6 //...
```

Das ist hässlich!!! Geht das nicht besser???

13.2 Generische Klassen

Idee:

- ▶ Java verfügt über generische Klassen...
- ▶ Anstatt das Attribut `info` als `Object` zu deklarieren, geben wir der Klasse einen `Typ-Parameter T` für `info` mit!
- ▶ Bei Anlegen eines Objekts der Klasse `List` bestimmen wir, welchen `Typ T` und damit `info` haben soll...

Beispiel — Listen

```
1 public class List<T> {
2     public T info;
3     public List<T> next;
4     public List (T x, List<T> l) {
5         info = x;
6         next = l;
7     }
8     public void insert(T x) {
9         next = new List<T> (x, next);
10    }
11    public void delete() {
12        if (next != null) next = next.next;
13    }
14    //continued...
```


Beispiel — Listen

```
15     public static void main (String [] args) {
16         List<Poly> list
17             = new List<Poly> (new Poly(), null);
18         System.out.println(list.info.greeting());
19     }
20 } // end of class List
```

- ▶ Die Implementierung funktioniert ganz analog zur Implementierung für `Object`.
- ▶ Der Compiler weiß aber nun in `main`, dass `list` vom Typ `List` ist mit Typparameter `T = Poly`.
- ▶ Deshalb ist `list.info` vom Typ `Poly`.
- ▶ Folglich ruft `list.info.greeting()` die entsprechende Methode der Klasse `Poly` auf.

Bemerkungen

- ▶ Typ-Parameter dürfen nur in den Typen von Objekt-Attributen und Objekt-Methoden verwendet werden!!!
- ▶ Jede Unterklasse einer parametrisierten Klasse muss mindestens die gleichen Parameter besitzen:

`A<S,T> extends B<T>` ist erlaubt.

`A<S> extends B<S,T>` ist **verboten**.

- ▶ `PoLy` ist eine Unterklasse von `Object`; aber `List<PoLy>` ist **keine** Unterklasse von `List<Object>`!!!

Bemerkungen

- ▶ Für einen Typ-Parameter **T** kann man auch eine Oberklasse oder ein Interface angeben, das **T** auf jeden Fall erfüllen soll...

```
1 public interface Executable {
2     void execute();
3 }
4 public class ExecutableList<E extends Executable> {
5     E element;
6     ExecutableList<E> next;
7     void executeAll() {
8         element.execute();
9         if (next == null) return;
10        else next.executeAll ();
11    }
12 }
```

Bemerkungen

- ▶ Beachten Sie, dass hier ebenfalls das Schlüsselwort `extends` benutzt wird!
- ▶ Auch gelten hier weitere Beschränkungen, wie eine parametrisierte Klasse eine Oberklasse sein kann.
- ▶ Auch Interfaces können parametrisiert werden.
- ▶ Insbesondere kann `Comparable` parametrisiert werden — und zwar mit der Klasse, mit deren Objekten man vergleichen möchte...

```
1 public class Test implements Comparable<Test> {  
2     public int compareTo (Test x) { return 0; }  
3 }
```

TODO

primitive types are immutable

13.3 Wrapper-Klassen

Problem

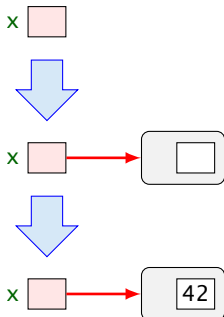
- ▶ Der Datentyp `String` ist eine Klasse;
- ▶ Felder sind Klassen; **aber**
- ▶ **Basistypen** wie `int`, `boolean`, `double` sind keine Klassen!
(Eine Zahl ist eine Zahl und kein Verweis auf eine Zahl.)

Ausweg

- ▶ Wickle die Werte eines Basis-Typs in ein Objekt ein!
⇒ **Wrapper-Objekte** aus **Wrapper-Klassen**.

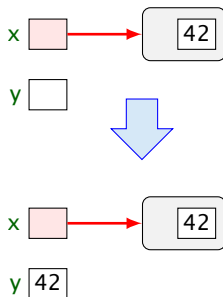
Beispiel

Die Zuweisung `Integer x = new Integer(42);` bewirkt:



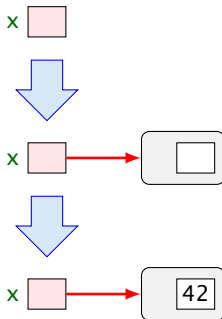
Beispiel

Eingewickelte Werte können auch wieder ausgewickelt werden.
Bei Zuweisung `int y = x;` erfolgt **automatische Konvertierung**:



Beispiel

Umgekehrt wird bei Zuweisung eines `int`-Werts an eine `Integer`-Variable: `Integer x = 42;` automatisch der Konstruktor aufgerufen:



Man nennt diese Konvertierungen **boxing-** bzw. **unboxing-conversions**

Nützliches

Gibt es erst einmal die Klasse `Integer`, lassen sich dort auch viele andere nützliche Dinge ablegen.

Beispiele:

- ▶ `public static int MIN_VALUE = -2147483648;`
liefert den kleinsten `int`-Wert;
- ▶ `public static int MAX_VALUE = 2147483647;` liefert
den größten `int`-Wert;
- ▶ `public static int parseInt(String s) throws
NumberFormatException;` berechnet aus dem
`String`-Objekt `s` die dargestellte Zahl — sofern `s` einen
`int`-Wert darstellt.

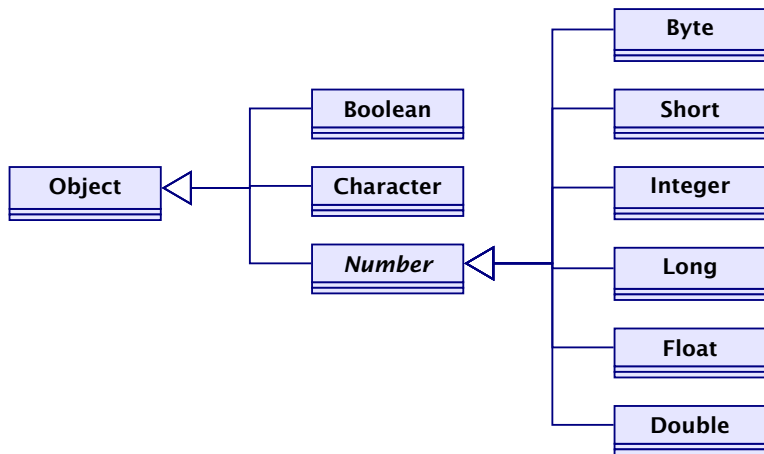
Andernfalls wird eine `Exception` geworfen.

Bemerkungen

- ▶ Außer dem Konstruktor: `public Integer(int value);` gibt es u.a. `public Integer(String s) throws NumberFormatException;`
- ▶ Dieser Konstruktor liefert zu einem `String`-Objekt `s` ein `Integer`-Objekt, dessen Wert `s` darstellt.
- ▶ `public boolean equals(Object obj);` liefert `true` genau dann wenn `obj` den gleichen `int`-Wert enthält.

Ähnliche Wrapper-Klassen gibt es auch für die übrigen Basistypen...

Wrapper-Klassen



Die Klasse **Number** ist hier in italics geschrieben, da es sich um eine **abstrakte Klasse** handelt.

Bemerkungen

- ▶ Sämtliche Wrapper-Klassen für Typen `type` (außer `char`) verfügen über
 - ▶ Konstruktoren aus Basiswerten bzw. String-Objekten;
 - ▶ eine statische Methode `type parseType(String s)`;
 - ▶ eine Methode `boolean equals(Object obj)` die auf Gleichheit testet (auch `Character`).
- ▶ Bis auf `Boolean` verfügen alle über Konstanten `MIN_VALUE` und `MAX_VALUE`.
- ▶ `Character` enthält weitere Hilfsfunktionen, z.B. um Ziffern zu erkennen, Klein- in Großbuchstaben umzuwandeln. . .
- ▶ Die numerischen Wrapper-Klassen sind in der gemeinsamen Oberklasse `Number` zusammengefasst.
- ▶ Diese Klasse ist **↑abstrakt** d.h. man kann keine `Number`-Objekte anlegen.

Spezielles

- ▶ `Double` und `Float` enthalten zusätzlich die Konstanten

`NEGATIVE_INFINITY` = `-1.0/0`

`POSITIVE_INFINITY` = `+1.0/0`

`NaN` = `0.0/0`

- ▶ Zusätzlich gibt es die Tests

- ▶ `public static boolean isInfinite(double v);`

- `public static boolean isNaN(double v);`

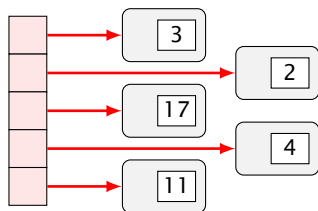
- (analog für `float`)

- ▶ `public boolean isInfinite();`

- `public boolean isNaN();`

mittels derer man auf (Un)Endlichkeit der Werte testen kann.

Integer vs. Int



Integer[]



int[]

- + **Integers** können in polymorphen Datenstrukturen hausen.
- Sie benötigen mehr als doppelt so viel Platz.
- Sie führen zu vielen kleinen (evt.) über den gesamten Speicher verteilten Objekten
⇒ schlechteres Cache-Verhalten.

14 Abstrakte Klassen, finale Klassen, Interfaces

- ▶ Eine **abstrakte** Objekt-Methode ist eine Methode, für die keine Implementierung bereit gestellt wird.
- ▶ Eine Klasse, die abstrakte Objekt-Methoden enthält, heißt ebenfalls **abstrakt**.
- ▶ Für eine abstrakte Klasse können offenbar keine Objekte angelegt werden.
- ▶ Mit abstrakten Klassen können wir Unterklassen mit verschiedenen Implementierungen der gleichen Objekt-Methoden zusammenfassen.

Auswertung von Ausdrücken

```
1 public abstract class Expression {
2     private int value;
3     private boolean evaluated = false;
4     public int getValue() {
5         if (evaluated) return value;
6         else {
7             value = evaluate();
8             evaluated = true;
9             return value;
10        }
11    }
12    abstract protected int evaluate();
13 } // end of class Expression
```

- ▶ Die Unterklassen von **Expression** repräsentieren die verschiedenen Arten von Ausdrücken.
- ▶ Allen Unterklassen gemeinsam ist eine Objekt-Methode **evaluate()** — immer mit einer anderen Implementierung.

Abstrakte Methoden und Klassen

- ▶ Eine abstrakte Objekt-Methode wird durch das Schlüsselwort `abstract` gekennzeichnet.
- ▶ Eine Klasse, die eine abstrakte Methode enthält, muss selbst ebenfalls als `abstract` gekennzeichnet sein.
- ▶ Für die abstrakte Methode muss der vollständige Kopf angegeben werden — inklusive den Parametertypen und den (möglicherweise) geworfenen Exceptions.
- ▶ Eine abstrakte Klasse kann konkrete Methoden enthalten, hier: `int getValue()`.

Beispiel

- ▶ Die Methode `evaluate()` soll den Ausdruck auswerten.
- ▶ Die Methode `getValue()` speichert das Ergebnis in dem Attribut `value` ab und vermerkt, dass der Ausdruck bereits ausgewertet wurde.

Beispiel für einen Ausdruck:

```
1 public final class Const extends Expression {
2     private int n;
3     public Const(int x) { n = x; }
4     protected int evaluate() {
5         return n;
6     } // end of evaluate()
7 } // end of class Const
```

Das Schlüsselwort `final`

- ▶ Der Ausdruck `Const` benötigt ein Argument. Dieses wird dem Konstruktor mitgegeben und in einer privaten Variable gespeichert.
- ▶ Die Klasse ist als `final` deklariert.
- ▶ Zu als `final` deklarierten Klassen dürfen keine Unterklassen deklariert werden!!!
- ▶ Aus Sicherheits- wie Effizienz-Gründen sollten so viele Klassen wie möglich als `final` deklariert werden. . .
- ▶ Statt ganzer Klassen können auch einzelne Variablen oder Methoden als `final` deklariert werden.
- ▶ Finale Members dürfen nicht in Unterklassen umdefiniert werden.
- ▶ Finale Variablen dürfen zusätzlich nur initialisiert, aber nicht modifiziert werden ⇒ **Konstanten**.

Andere Ausdrücke

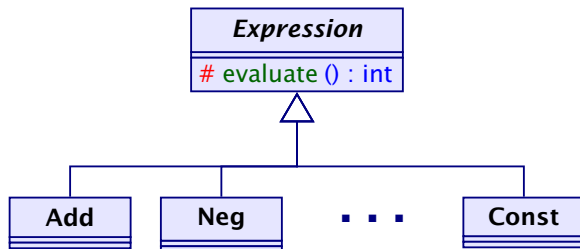
```
1 public final class Add extends Expression {
2     private Expression left, right;
3     public Add(Expression l, Expression r) {
4         left = l; right = r;
5     }
6     protected int evaluate() {
7         return left.getValue() + right.getValue();
8     } // end of evaluate()
9 } // end of class Add
10 public final class Neg extends Expression {
11     private Expression arg;
12     public Neg(Expression a) { arg = a; }
13     protected int evaluate() { return -arg.getValue(); }
14 } // end of class Neg
```

main()

```
1 public static void main(String[] args) {
2     Expression e = new Add (
3         new Neg (new Const(8)),
4         new Const(16));
5     System.out.println(e.getValue())
6 }
```

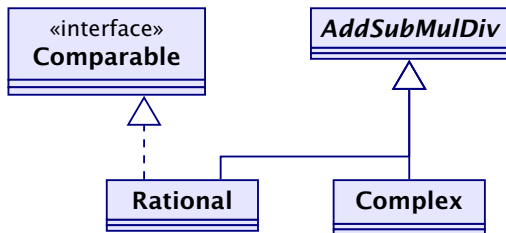
- ▶ Die Methode `getValue()` ruft eine Methode `evaluate()` sukzessive für jeden Teilausdruck von `e` auf.
- ▶ Welche konkrete Implementierung dieser Methode dabei jeweils gewählt wird, hängt von der konkreten Klasse des jeweiligen Teilausdrucks ab, d.h. entscheidet sich erst zur Laufzeit.
- ▶ Das nennt man auch **dynamische Bindung**.

Klassenhierarchie



Leider (zum Glück?) lässt sich nicht die ganze Welt hierarchisch organisieren...

Beispiel



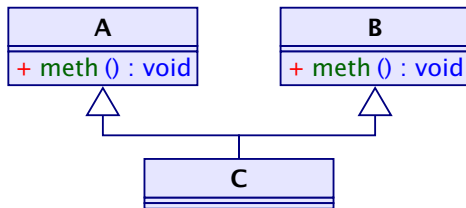
AddSubMulDiv = Objekte mit Operationen **add()**, **sub()**
mul(), und **div()**

Comparable = Objekte, die eine **compareTo()**-Operation besitzen.

Mehrfachvererbung

Mehrere direkte Oberklassen einer Klasse führen zu konzeptuellen Problemen:

- ▶ Auf welche Klasse bezieht sich `super`?
- ▶ Welche Objekt-Methode `meth()` ist gemeint, wenn mehrere Oberklassen `meth()` implementieren?



Interfaces

- ▶ Kein Problem entsteht, wenn die Objekt-Methode `meth()` in allen Oberklassen abstrakt ist,
- ▶ oder zumindest nur in maximal einer Oberklasse eine Implementierung besitzt.

Ein **Interface** kann aufgefasst werden als eine abstrakte Klasse, wobei:

- ▶ alle Objekt-Methoden abstrakt sind;
- ▶ es keine Klassen-Methoden gibt;
- ▶ alle Variablen **Konstanten** sind.

Beispiel

```
1 public interface Comparable {  
2     int compareTo(Object x);  
3 }
```

- ▶ **Object** ist die gemeinsame Oberklasse aller Klassen.
- ▶ Methoden in Interfaces sind automatisch Objektmethoden und **public**.
- ▶ Es muss eine **Obermenge** der in Implementierungen geworfenen Exceptions angegeben werden.
- ▶ Evt. vorkommende Konstanten sind automatisch **public static**.

Beispiel

```
1 public class Rational extends AddSubMulDiv
2     implements Comparable {
3     private int zaehler, nenner;
4     public int compareTo(Object cmp) {
5         Rational fraction = (Rational) cmp;
6         long left = (long)zaehler * (long)fraction.nenner;
7         long right = (long)nenner * (long)fraction.zaehler;
8         return left == right ? 0:
9             left < right ? -1:
10                1;
11     } // end of compareTo
12     ...
13 } // end of class Rational
```

Kann ich bei Comparable mal einen Typparameter angeben und mal nicht?

Erläuterungen

- ▶ `class A extends B implements B1, B2, ..., Bk {...}`
gibt an, dass die Klasse `A` als Oberklasse `B` hat und zusätzlich die Interfaces `B1, B2, ..., Bk` unterstützt, d.h. passende Objektmethoden zur Verfügung stellt.
- ▶ `Java` gestattet maximal eine Oberklasse, aber beliebig viele implementierte Interfaces.
- ▶ Die Konstanten des Interface können in implementierenden Klassen **direkt** benutzt werden.
- ▶ Interfaces können als Typen für formale Parameter, Variablen oder Rückgabewerte benutzt werden.
- ▶ Darin abgelegte Objekte sind dann stets aus einer implementierenden Klasse.
- ▶ Expliziter Cast in eine solche Klasse ist möglich (und leider auch oft nötig).

Erläuterungen

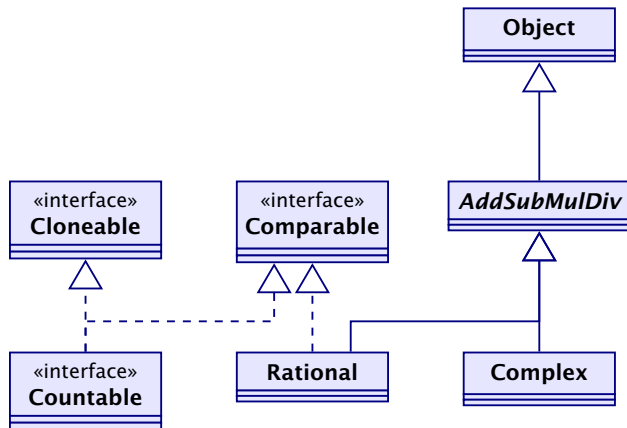
- ▶ Interfaces können andere Interfaces erweitern oder gar mehrere andere Interfaces zusammenfassen.
- ▶ Erweiternde Interfaces können Konstanten umdefinieren...
- ▶ Kommt eine Konstante gleichen Namens `const` in verschiedenen implementierten Interfaces `A` und `B` vor, kann man sie durch `A.const` und `B.const` unterscheiden.

Beispiel:

```
1 public interface Countable extends Comparable, Cloneable
   {
2     Countable next();
3     Countable prev();
4     int number();
5 }
```

- ▶ Das Interface `Countable` umfasst die (beide vordefinierten) Interfaces `Comparable` und `Cloneable`.
- ▶ Das vordefinierte Interface `Cloneable` verlangt eine Objektmethode `public Object clone()` die eine Kopie des Objekts anlegt.
- ▶ Eine Klasse, die `Countable` implementiert, muss über die Objektmethoden `compareTo()`, `clone()`, `next()`, `prev()` und `number()` verfügen.

Übersicht



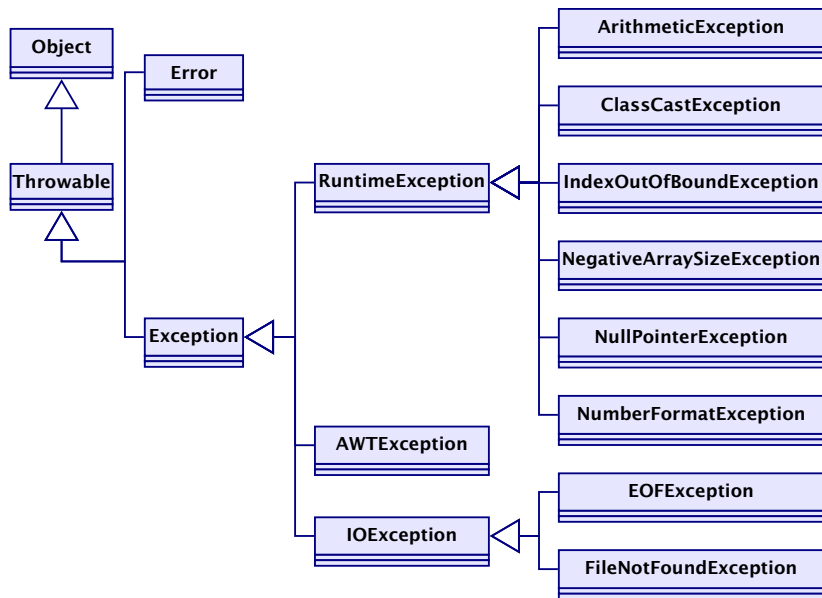
15 Fehlerobjekte: Werfen, Fangen, Behandeln

- ▶ Tritt während der Programm-Ausführung ein Fehler auf, wird die normale Programm-ausführung abgebrochen und ein Fehlerobjekt erzeugt (**geworfen**).
- ▶ Die Klasse **Throwable** fasst alle Arten von Fehlern zusammen.
- ▶ Ein Fehlerobjekt kann **gefangen** und geeignet **behandelt** werden.

Trennung von

- ▶ normalem Programm-Ablauf (der effizient und übersichtlich sein sollte); und
- ▶ Behandlung von Sonderfällen (wie illegalen Eingaben, falscher Benutzung, Sicherheitsattacken, . . .)

Fehlerklassen



Fehlerklassen

Die direkten Unterklassen von `Throwable` sind:

- ▶ `Error` — für fatale Fehler, die zur Beendigung des gesamten Programms führen, und
- ▶ `Exception` — für bewältigbare Fehler oder Ausnahmen.

Ausnahmen der Klasse `Exception`, die in einer Methode auftreten können und dort nicht selbst abgefangen werden, müssen **explizit** im Kopf der Methode aufgelistet werden!!!

- ▶ Die Unterklasse `RuntimeException` der Klasse `Exception` fasst die bei normaler Programmausführung evt. auftretenden Ausnahmen zusammen.
- ▶ Eine `RuntimeException` kann jederzeit auftreten. . .
- ▶ Sie braucht darum nicht im Kopf von Methoden deklariert zu werden.
- ▶ Sie kann, muss aber nicht abgefangen werden.

Arten der Fehlerbehandlung:

- ▶ Ignorieren;
- ▶ Abfangen und Behandeln dort, wo sie entstehen;
- ▶ Abfangen und Behandeln an einer anderen Stelle.

Fehlerbehandlung

Tritt ein Fehler auf und wird nicht behandelt, bricht die Programmausführung ab.

Beispiel:

```
1 public class Zero {
2     public static main(String[] args) {
3         int x = 10;
4         int y = 0;
5         System.out.println(x/y);
6     } // end of main()
7 } // end of class Zero
```

Fehlermeldung

Das Programm bricht wegen Division durch `(int)0` ab und liefert die Fehler-Meldung:

```
Exception in thread "main" java.lang.ArithmeticException: / by zero  
at Zero.main(Compiled Code)
```

Die Fehlermeldung besteht aus drei Teilen:

1. der `Thread`, in dem der Fehler auftrat;
2. `System.err.println(toString());`; d.h. dem **Namen** der Fehlerklasse, gefolgt von einer Fehlermeldung, die die Objekt-Methode `getMessage()` liefert, hier: „/ by zero“.
3. `printStackTrace(System.err);`; d.h. der **Funktion**, in der der Fehler auftrat, genauer: der Angabe sämtlicher Aufrufe im **Call-Stack**.

Fehlerbehandlung

Soll die Programm-Ausführung nicht beendet werden, muss der Fehler abgefangen werden.

Beispiel: NumberFormatException

```
1 public class Adding extends MiniJava {
2     public static void main(String[] args) {
3         int x = getInt("1. Zahl:\t");
4         int y = getInt("2. Zahl:\t");
5         write("Summe:\t\t" + (x+y));
6     } // end of main()
7     public static int getInt(String str) {
8 //continued...
```


- ▶ Das Programm liest zwei `int`-Werte ein und addiert sie.
- ▶ Bei der Eingabe können möglicherweise Fehler auftreten:
 - ▶ ... weil die Eingabe keine syntaktisch korrekte Zahl ist;
 - ▶ ... weil sonstige unvorhersehbare Ereignisse eintreffen.
- ▶ Die **Behandlung** dieser Fehler ist in der Funktion `getInt()` verborgen...

Fehlerbehandlung

```
9      String s;  
10     while (true) {  
11         try {  
12             s = readString(str);  
13             return Integer.parseInt(s);  
14         } catch (NumberFormatException e) {  
15             System.out.println(  
16                 "Falsche Eingabe! ...");  
17         } catch (IOException e) {  
18             System.out.println(  
19                 "Eingabepblem: Ende ...");  
20             System.exit(0);  
21         }  
22     } // end of while  
23 } // end of getInt()  
24 } // end of class Adding
```

Beispielablauf

```
> java Adding  
1. Zahl: abc  
Falsche Eingabe! ...  
1. Zahl: 0.3  
Falsche Eingabe! ...  
1. Zahl: 17  
2. Zahl: 25  
Summe: 42
```

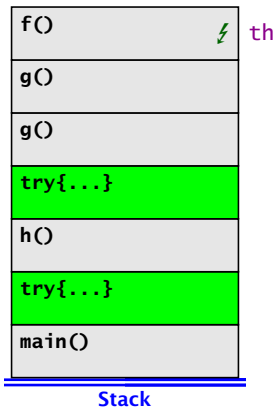
Ausnahmebehandlung

- ▶ Ein **Exception-Handler** besteht aus einem **try**-Block `try{ss}`, in dem der Fehler möglicherweise auftritt; gefolgt von einer oder mehreren **catch**-Regeln.
- ▶ Wird bei der Ausführung der Statement-Folge `ss` kein Fehlerobjekt erzeugt, fährt die Programm-Ausführung direkt hinter dem Handler fort.
- ▶ Wird eine Exception ausgelöst, durchsucht der Handler mithilfe des geworfenen Fehler-Objekts sequentiell die **catch**-Regeln.

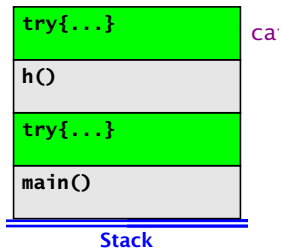
Ausnahmebehandlung

- ▶ Jede `catch`-Regel ist von der Form: `catch(Exc e) {...}` wobei `Exc` eine Klasse von Fehlern angibt und `e` ein formaler Parameter ist, an den das Fehler-Objekt gebunden wird.
- ▶ Eine Regel ist **anwendbar**, sofern das Fehlerobjekt aus (einer Unterklasse) von `Exc` stammt.
- ▶ Die erste `catch`-Regel, die anwendbar ist, wird angewendet. Dann wird der Handler verlassen.
- ▶ Ist keine `catch`-Regel anwendbar, wird der Fehler propagiert.

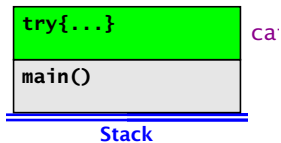
Was passiert auf dem Stack?



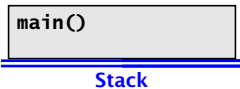
Was passiert auf dem Stack?



Was passiert auf dem Stack?



Was passiert auf dem Stack?



Ausnahmebehandlung

- ▶ Auslösen eines Fehlers verlässt abrupt die aktuelle Berechnung.
- ▶ Damit das Programm trotz Auftretens des Fehlers in einem geordneten Zustand bleibt, ist oft Aufräumarbeit erforderlich – z.B. das Schließen von I/O-Strömen.
- ▶ Dazu dient `finally { ss }` nach einem `try`-Statement.

Ausnahmebehandlung

- ▶ Die Folge `ss` von Statements wird **auf jeden Fall** ausgeführt.
- ▶ Wird kein Fehler im `try`-Block geworfen, wird sie im Anschluss an den `try`-Block ausgeführt.
- ▶ Wird ein Fehler geworfen und mit einer `catch`-Regel behandelt, wird sie nach dem Block der `catch`-Regel ausgeführt.
- ▶ Wird der Fehler von keiner `catch`-Regel behandelt, wird `ss` ausgeführt, und dann der Fehler weitergereicht.

Beispiel NullPointerException

```
1 public class Kill {
2     public static void kill() {
3         Object x = null; x.hashCode ();
4     }
5     public static void main(String[] args) {
6         try { kill();
7             } catch (ClassCastException b) {
8             System.out.println("Falsche Klasse!!!");
9             } finally {
10            System.out.println("Leider nix gefangen
11                ...");
12            }
13 } // end of main()
14 } // end of class Kill
```

Resultat:

```
> java Kill
```

```
Leider nix gefangen ...
```

```
Exception in thread "main" java.lang.NullPointerException  
    at Kill.kill(Compiled Code)  
    at Kill.main(Compiled Code)
```

Selbstdefinierte Fehler

Exceptions können auch

- ▶ selbst definiert und
- ▶ selbst geworfen werden.

Beispiel:

```
1 public class Killed extends Exception {
2     Killed() {}
3     Killed(String s) {super(s);}
4 } // end of class Killed
5 public class Kill {
6     public static void kill() throws Killed {
7         throw new Killed();
8     }
9 // continued...
```

Beispiel

```
10     public static void main(String[] args) {
11         try {
12             kill();
13         } catch (RuntimeException r) {
14             System.out.println("RunTimeException "+ r);
15         } catch (Killed b) {
16             System.out.println("Killed It!");
17             System.out.println(b);
18             System.out.println(b.getMessage());
19         }
20     } // end of main
21 } // end of class Kill
```

Selbstdefinierte Fehler

- ▶ Ein selbstdefinierter Fehler sollte als Unterklasse von `Exception` deklariert werden!
- ▶ Die Klasse `Exception` verfügt über die Konstruktoren
`public Exception();`
`public Exception(String str);`
(`str` ist die evt. auszugebende Fehlermeldung).
- ▶ `throw exc` löst den Fehler `exc` aus — sofern sich der Ausdruck `exc` zu einem Objekt einer Unterklasse von `Throwable` auswertet.
- ▶ Weil `Killed` keine Unterklasse von `RuntimeException` ist, wird die geworfene Exception erst von der zweiten `catch`-Regel gefangen.
- ▶ **Ausgabe:**
Killed It!
Killed
Null

- ▶ Fehler in **Java** sind Objekte und können vom Programm selbst behandelt werden.
- ▶ **try ... catch ... finally** gestattet, die Fehlerbehandlung deutlich von der normalen Programmausführung zu trennen.
- ▶ Die vordefinierten Fehlerarten reichen oft aus.
- ▶ Werden spezielle neue Fehler/Ausnahmen benötigt, können diese in einer Vererbungshierarchie organisiert werden.

Warnung

- ▶ Der Fehler-Mechanismus von **Java** sollte auch nur zur Fehler-Behandlung eingesetzt werden:
 - ▶ Installieren eines Handlers ist billig; fangen einer **Exception** dagegen teuer.
 - ▶ Ein normaler Programm-Ablauf kann durch eingesetzte **Exceptions** bis zur Undurchsichtigkeit verschleiert werden.
 - ▶ Was passiert, wenn **catch**- und **finally**-Regeln selbst wieder Fehler werfen?
- ▶ Fehler sollten dort behandelt werden, wo sie auftreten.
- ▶ Es ist besser **spezifischere** Fehler zu fangen als **allgemeine**
— z.B. mit `catch(Exception e) {}`

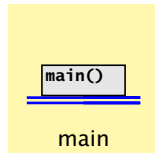
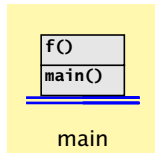
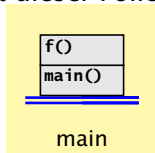
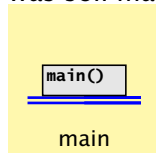
Threads – Einführung

- ▶ Die Ausführung eines **Java**-Programms besteht in Wahrheit nicht aus einem, sondern **mehreren** parallel laufenden **Threads**.
- ▶ Ein Thread ist ein sequentieller Ausführungsstrang.
- ▶ Der Aufruf eines Programms startet einen Thread **main**, der die Methode **main()** des Programms ausführt.
- ▶ Ein weiterer Thread, den das Laufzeitsystem parallel startet, ist die **Garbage Collection**.
- ▶ Die Garbage Collection soll mittlerweile nicht mehr erreichbare Objekte beseitigen und den von ihnen belegten Speicherplatz der weiteren Programmausführung zur Verfügung stellen.

Garbage Collector Thread

TODO

was soll man mit dieser Folie



Threads – Anwendungen

- ▶ Mehrere Threads sind auch nützlich, um
 - ▶ ...mehrere Eingabe-Quellen zu überwachen (z.B. Maus, Tastatur) ↑**Graphik**;
 - ▶ ...während der Blockierung einer Aufgabe etwas anderes Sinnvolles erledigen zu können;
 - ▶ ...die Rechenkraft mehrerer Prozessoren auszunutzen.
- ▶ Neue Threads können deshalb vom Programm selbst erzeugt und gestartet werden.
- ▶ Dazu stellt **Java** die Klasse **Thread** und das Interface **Runnable** bereit.

Erzeugen von Threads

TODO

BILD

Version A

```
1 public class MyThread extends Thread {
2     public void hello(String s) {
3         System.out.println(s);
4     }
5     public void run() {
6         hello("I'm running ...");
7     } // end of run()
8     public static void main(String[] args) {
9         MyThread t = new MyThread();
10        t.start();
11        System.out.println("Thread has been started
12                               ...");
13    } // end of main()
14 } // end of class MyThread
```

Erläuterungen

- ▶ Neue Threads werden für Objekte aus (Unter-) Klassen der Klasse `Thread` angelegt.
- ▶ Jede Unterklasse von `Thread` sollte die Objekt-Methode `public void run();` implementieren.
- ▶ Ist `t` ein `Thread`-Objekt, dann bewirkt der Aufruf `t.start();` das folgende:
 1. ein neuer Thread wird initialisiert;
 2. die (parallele) Ausführung der Objektmethode `run()` für `t` wird angestoßen;
 3. die eigene Programmausführung wird hinter dem Aufruf fortgesetzt.

Version B

```
1 public class MyRunnable implements Runnable {
2     public void hello(String s) {
3         System.out.println(s);
4     }
5     public void run() {
6         hello("I'm running ...");
7     } // end of run()
8     public static void main(String[] args) {
9         Thread t = new Thread(new MyRunnable());
10        t.start();
11        System.out.println("Thread has been started
12                               ...");
13    } // end of main()
14 } // end of class MyRunnable
```

Erläuterungen

- ▶ Auch das Interface `Runnable` verlangt die Implementierung einer Objektmethode `public void run()`;
- ▶ `public Thread(Runnable obj)`; legt für ein `Runnable`-Objekt `obj` ein `Thread`-Objekt an.
- ▶ Ist `t` das `Thread`-Objekt für das `Runnable obj`, dann bewirkt der Aufruf `t.start()`; das folgende:
 1. ein neuer Thread wird initialisiert;
 2. die (parallele) Ausführung der Objekt-Methode `run()` für `obj` wird angestoßen;
 3. die eigene Programm-Ausführung wird hinter dem Aufruf fortgesetzt.

Mögliche Ausführungen

Entweder

```
Thread has been started ...  
I'm running ...
```

oder

```
I'm running ...  
Thread has been started ...
```

TODO

auskommentierte Folie Seidl


Scheduling

- ▶ Ein Thread kann nur eine Operation ausführen, wenn ihm ein Prozessor (CPU) zur Ausführung zugeteilt worden ist.
- ▶ Im Allgemeinen gibt es mehr Threads als CPUs.
- ▶ Der **Scheduler** verwaltet die verfügbaren CPUs und teilt sie den Threads zu.
- ▶ Bei verschiedenen Programmläufen kann diese Zuteilung verschieden aussehen!!!
- ▶ Es gibt verschiedene Strategien, nach denen sich Scheduler richten können (↑**Betriebssysteme**). Z.B.:
 - ▶ Zeitscheibenverfahren
 - ▶ Naives Verfahren

Strategie

- ▶ Ein Thread erhält eine CPU nur für eine bestimmte Zeitspanne (**Time Slice**), in der er rechnen darf.
- ▶ Danach wird er unterbrochen. Dann darf ein anderer.

Beispiel: Zeitscheibenverfahren

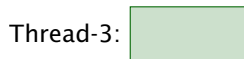
Thread-3: 

Thread-2: 

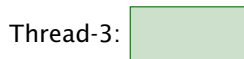
Thread-1: 

Schedule: 

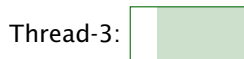
Beispiel: Zeitscheibenverfahren



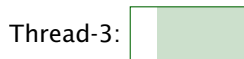
Beispiel: Zeitscheibenverfahren



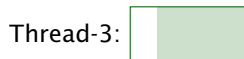
Beispiel: Zeitscheibenverfahren



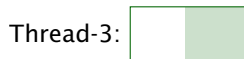
Beispiel: Zeitscheibenverfahren



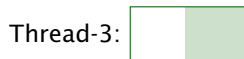
Beispiel: Zeitscheibenverfahren



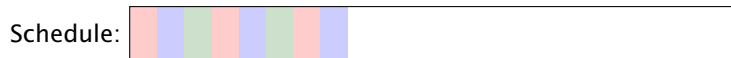
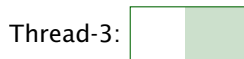
Beispiel: Zeitscheibenverfahren



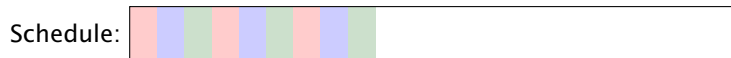
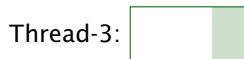
Beispiel: Zeitscheibenverfahren



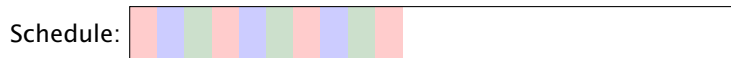
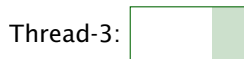
Beispiel: Zeitscheibenverfahren



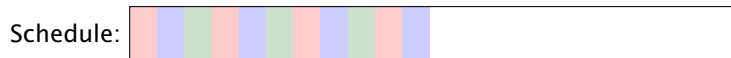
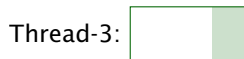
Beispiel: Zeitscheibenverfahren



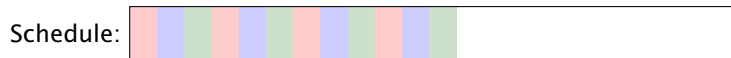
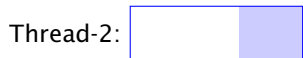
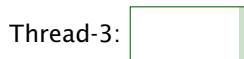
Beispiel: Zeitscheibenverfahren



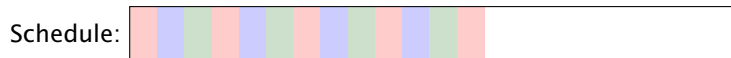
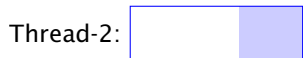
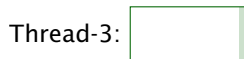
Beispiel: Zeitscheibenverfahren



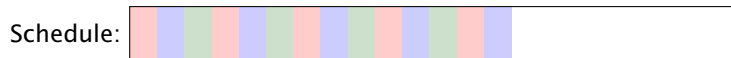
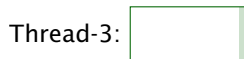
Beispiel: Zeitscheibenverfahren



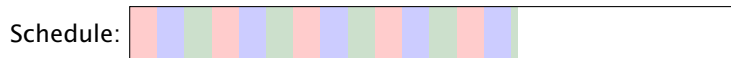
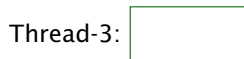
Beispiel: Zeitscheibenverfahren



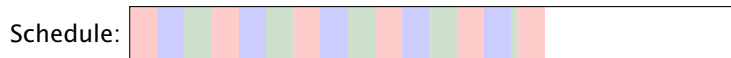
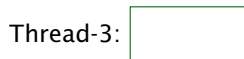
Beispiel: Zeitscheibenverfahren



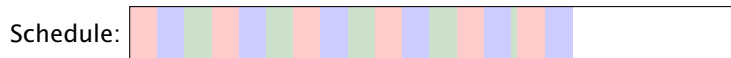
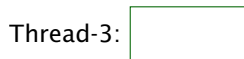
Beispiel: Zeitscheibenverfahren



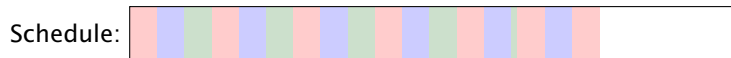
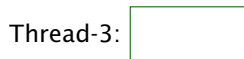
Beispiel: Zeitscheibenverfahren




Beispiel: Zeitscheibenverfahren



Beispiel: Zeitscheibenverfahren




Beispiel: Zeitscheibenverfahren

Thread-3: 


Thread-2: 

Thread-1: 

Schedule: 

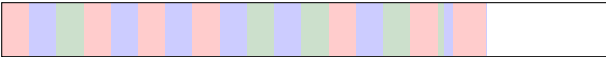
Beispiel: Zeitscheibenverfahren

Eine andere Ausführung:

Thread-3: 

Thread-2: 

Thread-1: 

Schedule: 


Erläuterungen – Zeitscheibenverfahren

- ▶ Ein Zeitscheiben-Scheduler versucht, jeden Thread **fair** zu behandeln, d.h. ab und zu Rechenzeit zuzuordnen — egal, welche Threads sonst noch Rechenzeit beanspruchen.
- ▶ Kein Thread hat jedoch Anspruch auf einen bestimmten Time-Slice.
- ▶ Für den Programmierer sieht es so aus, als ob sämtliche Threads „echt“ parallel ausgeführt werden, d.h. jeder über eine eigene CPU verfügt.

Strategie

- ▶ Erhält ein Thread eine CPU, darf er laufen, so lange er will...
- ▶ Gibt er die CPU wieder frei, darf ein anderer Thread arbeiten...

Beispiel – Naives Scheduling

Thread-3: 

Thread-2: 

Thread-1: 

Schedule: 

Beispiel

```
1 public class Start extends Thread {
2     public void run() {
3         System.out.println("I'm running...");
4         while(true) ;
5     }
6     public static void main(String[] args) {
7         (new Start()).start();
8         (new Start()).start();
9         (new Start()).start();
10        System.out.println("main is running...");
11        while(true) ;
12    }
13 } // end of class Start
```

Beispiel

Ausgabe (bei naivem Scheduling)

```
main is running...
```

Weil **main** nie fertig wird, erhalten die anderen Threads keine Chance, sie **verhungern**.

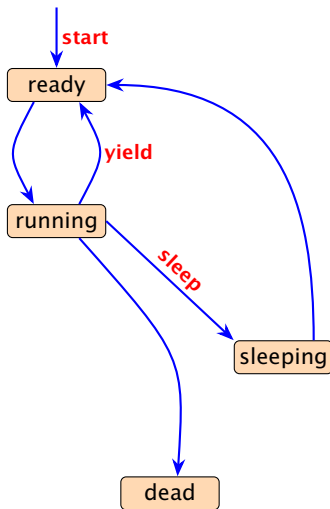
Faires Scheduling mit Zeitscheibenverfahren würde z.B. liefern:

```
I'm running...  
main is running...  
I'm running...  
I'm running...
```


Implementierung in Java

- ▶ **Java** legt nicht fest, wie intelligent der Scheduler ist.
 - ▶ Die aktuelle Implementierung unterstützt **fares** Scheduling.
 - ▶ Programme sollten aber für jeden Scheduler das **gleiche Verhalten** zeigen. Das heißt:
 - ▶ ... Threads, die aktuell nichts sinnvolles zu tun haben, z.B. weil sie auf Verstreichen der Zeit oder besseres Wetter warten, sollten stets ihre CPU anderen Threads zur Verfügung stellen.
 - ▶ ... Selbst wenn Threads etwas Vernünftiges tun, sollten sie ab und zu andere Threads laufen lassen.
- Achtung:** Threadwechsel ist teuer!!!
- ▶ Dazu verfügt jeder Thread über einen **Zustand**, der bei der Vergabe von Rechenzeit berücksichtigt wird.

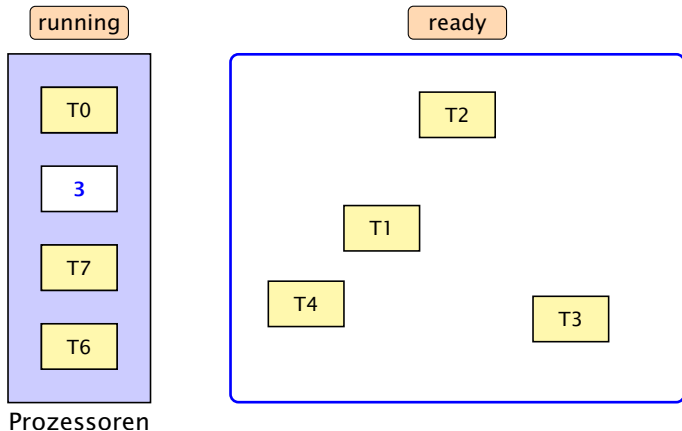
Threadzustände



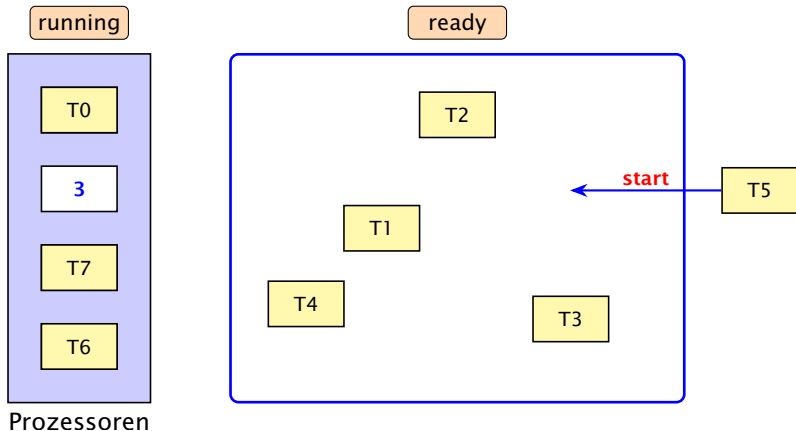
Threadzustände

- ▶ `public void start();` legt einen neuen Thread an, setzt den Zustand auf `ready` und übergibt damit den Thread dem Scheduler zur Ausführung.
- ▶ Der Scheduler ordnet den Threads, die im Zustand `ready` sind, Prozessoren zu („dispatching“). Aktuell laufende Threads haben den Zustand `running`.
- ▶ `public static void yield();` setzt den aktuellen Zustand zurück auf `ready` und unterbricht damit die aktuelle Programmausführung. Andere ausführbare Threads erhalten die Gelegenheit zur Ausführung.
- ▶ `public static void sleep(int msec) throws InterruptedException;` legt den aktuellen Thread für `msec` Millisekunden schlafen, indem der Thread in den Zustand `sleeping` wechselt.

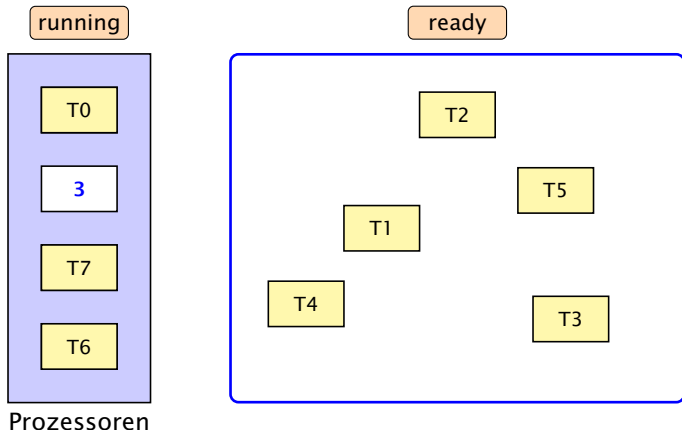
Threadzustände



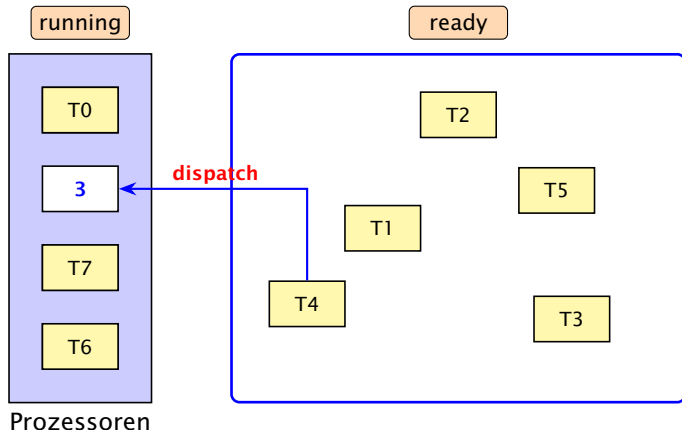
Threadzustände



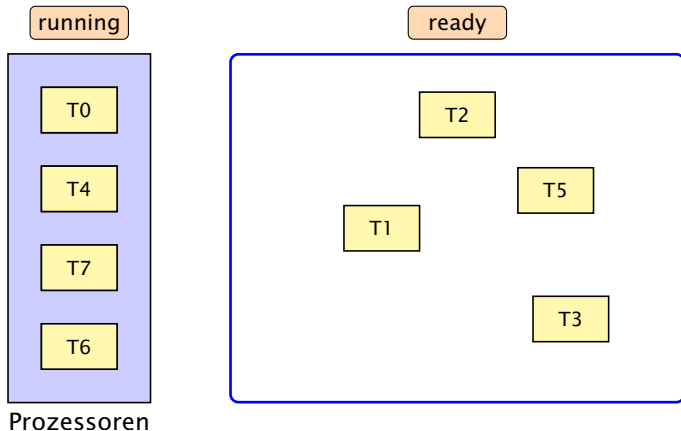
Threadzustände



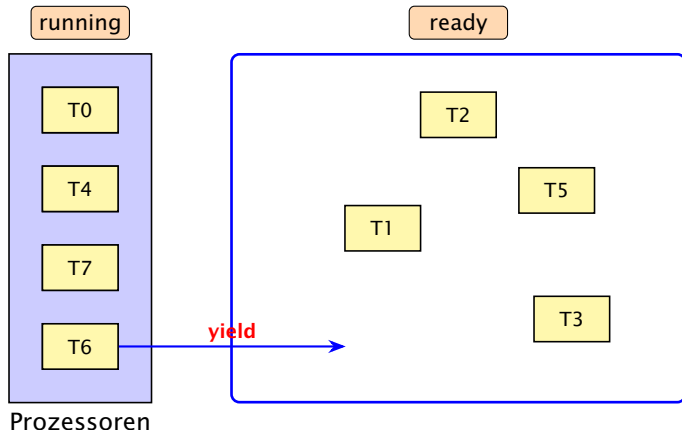
Threadzustände



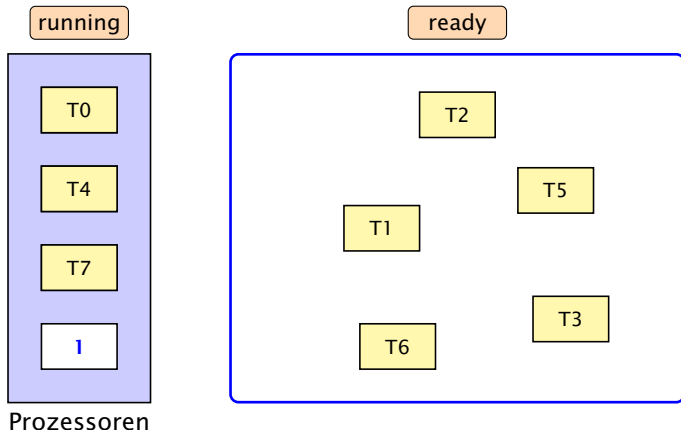
Threadzustände



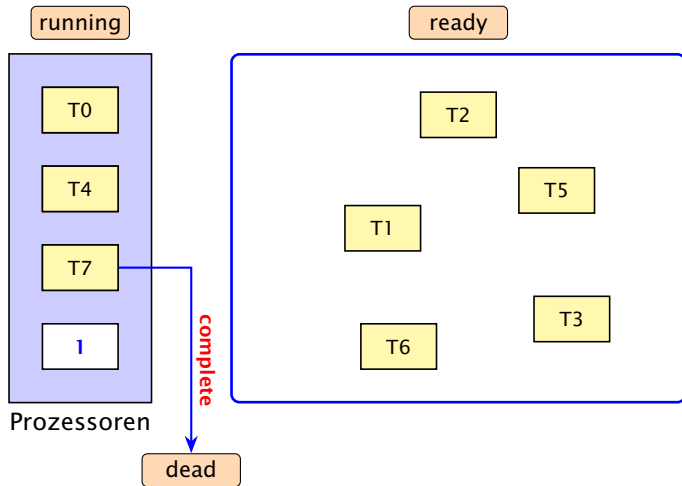
Threadzustände



Threadzustände



Threadzustände



16.2 Futures

- ▶ Die Berechnung eines Zwischenergebnisses kann lange dauern.
- ▶ Während dieser Berechnung kann möglicherweise etwas anderes sinnvolles berechnet werden.

Idee:

- ▶ Berechne das Zwischenergebnisses in einem eigenen Thread.
- ▶ Greife auf den Wert erst zu, wenn sich der Thread beendet hat.

16.2 Futures

Eine **Future** startet die Berechnung eines Werts, auf den später zugegriffen wird. Das generische Interface

```
public interface Callable<T> {  
    T call () throws Exception;  
}
```

aus `java.util.concurrent` beschreibt Klassen, für deren Objekte ein Wert vom Typ `T` berechnet werden kann.

```
1 public class Future<T> implements Runnable {  
2     private T value = null;  
3     private Exception exc = null;  
4     private Callable<T> work;  
5     private Thread task;  
6 // continued...
```

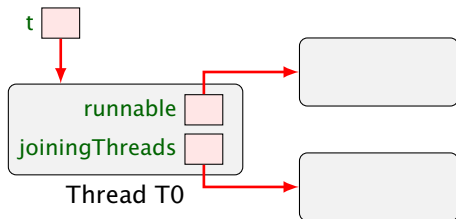
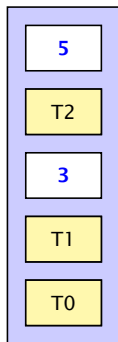
Implementierung

```
7     public Future<T>(Callable<T> w) {
8         work = w;
9         task = new Thread (this);
10        task.start();
11    }
12    public void run() {
13        try {value = work.call();}
14        catch (Exception e) { exc = e;}
15    }
16    public T get() throws Exception {
17        task.join();
18        if (exc != null) throw exc;
19        return value;
20    }
21 }
```

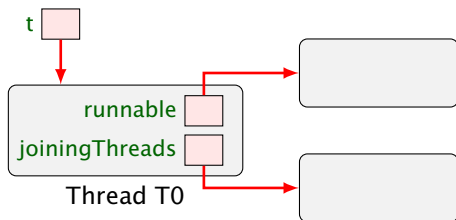
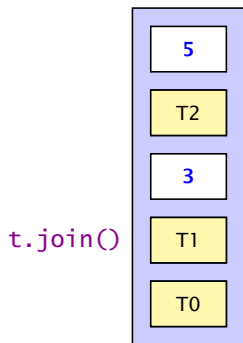
Erläuterungen

- ▶ Der Konstruktor erhält ein `Callable`-Objekt.
- ▶ Die Methode `run()` ruft für dieses Objekt die Methode `call()` auf und speichert deren Ergebnis in dem Attribut `value` — bzw. eine geworfene Exception in `exc` ab.
- ▶ Der Konstruktor legt ein Thread-Objekt für die Future an und startet diesen Thread, der dann `run()` ausführt.
- ▶ Die Methode `get()` wartet auf Beendigung des Threads. Dazu verwendet sie die Objekt-Methode `public final void join() throws InterruptedException` der Klasse `Thread...`
- ▶ Dann liefert `get()` den berechneten Wert zurück — falls keine Exception geworfen wurde. Andernfalls wird die Exception `exc` erneut geworfen.

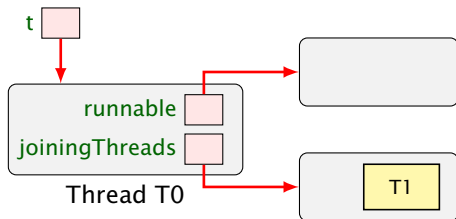
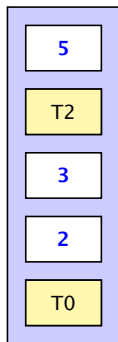
Die Join-Operation



Die Join-Operation



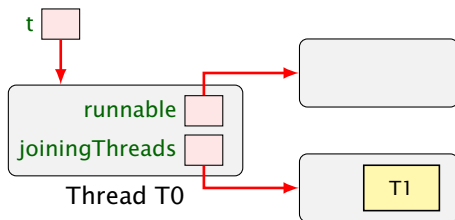
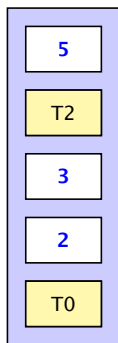
Die Join-Operation



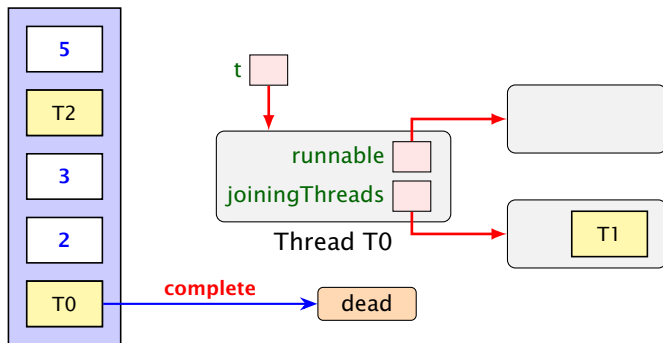
Erläuterungen

- ▶ Für jedes Threadobjekt `t` gibt es eine Schlange `ThreadQueue joiningThreads`.
- ▶ Threads, die auf Beendigung des Threads `t` warten, werden in diese Schlange eingefügt.
- ▶ Dabei gehen sie konzeptuell in einen Zustand `joining` über und werden aus der Menge der ausführbaren Threads entfernt.
- ▶ Beendet sich ein Thread, werden alle Threads, die auf ihn warteten, wieder aktiviert. . .

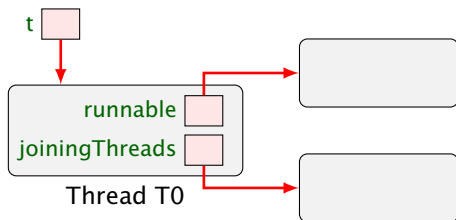
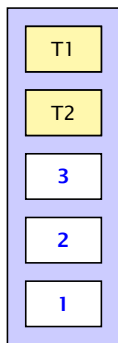
Die Join-Operation



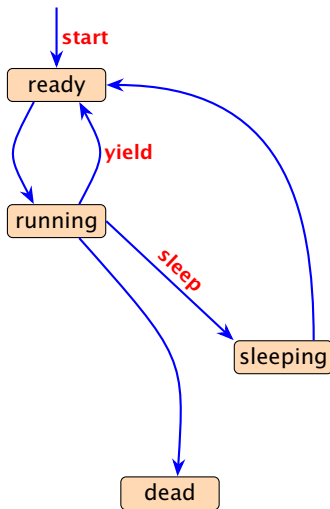
Die Join-Operation



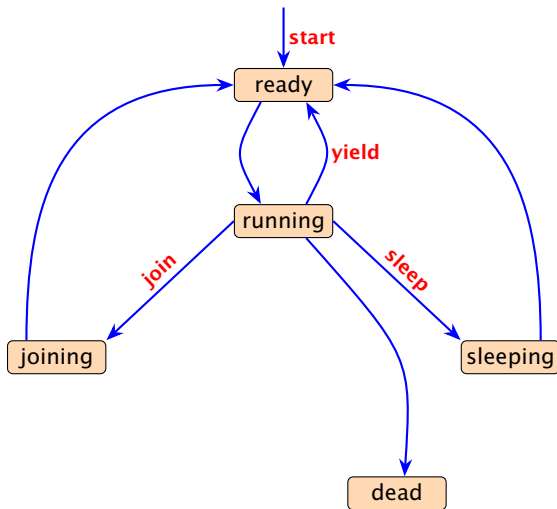
Die Join-Operation



Threadzustände



Threadzustände



Weiteres Beispiel

```
1 public class Join implements Runnable {
2     private static int count = 0;
3     private int n = count++;
4     private static Thread[] task = new Thread[3];
5     public void run() {
6         try {
7             if (n>0) {
8                 task[n-1].join();
9                 System.out.println("Thread-"+n+
10                    " joined Thread-"+(n-1));
11             }
12         } catch (InterruptedException e) {
13             System.err.println(e.toString());
14         }
15     } // continued...
```

Weiteres Beispiel

```
16     public static void main(String[] args) {
17         for(int i=0; i<3; i++)
18             task[i] = new Thread(new Join());
19         for(int i=0; i<3; i++)
20             task[i].start();
21     }
22 } // end of class Join
```

liefert:

```
> java Join
Thread-1 joined Thread-0
Thread-2 joined Thread-1
```

Variation

```
1 public class CW implements Runnable {
2     private static int count = 0;
3     private int n = count++;
4     private static Thread[] task = new Thread[3];
5     public void run() {
6         try { task[(n+1) % 3].join(); }
7         catch (InterruptedException e) {
8             System.err.println(e.toString());
9         }
10    }
11    public static void main(String[] args) {
12        for(int i=0; i<3; i++)
13            task[i] = new Thread(new CW());
14        for(int i=0; i<3; i++) task[i].start();
15    }
16 } // end of class CW
```

Variation

- ▶ Das Programm terminiert möglicherweise nicht...
- ▶ `task[0]` wartet auf `task[1]`,
`task[1]` wartet auf `task[2]`,
`task[2]` wartet auf `task[0]`

ist möglich...

`t.join` angewendet auf einen nicht gestarteten Thread, hat keine Auswirkungen. Deshalb kann das Programm je nach Scheduling auch durchlaufen...

Deadlock

- ▶ Jeder Thread geht in einen Wartezustand (hier: **joining**) über und wartet auf einen anderen Thread.
- ▶ Dieses Phänomen heißt auch **Circular Wait** oder **Deadlock** oder Verklemmung — eine unangenehme Situation, die man in seinen Programmen tunlichst vermeiden sollte.

Die Vermeidung von Deadlocks ist ein sehr schwieriges Problem.

16.3 Monitore

- ▶ Damit Threads sinnvoll miteinander kooperieren können, müssen sie miteinander Daten austauschen.
- ▶ Zugriff mehrerer Threads auf eine gemeinsame Variable ist problematisch, weil nicht feststeht, in welcher Reihenfolge die Threads auf die Variable zugreifen.
- ▶ Ein Hilfsmittel, um geordnete Zugriffe zu garantieren, sind **Monitore**.

Beispiel — Erhöhen einer Variablen

```
1 public class Inc implements Runnable {
2     private static int x = 0;
3     private static void pause(int t) {
4         try {
5             Thread.sleep((int) (Math.random()*t*1000));
6         } catch (InterruptedException e) {
7             System.err.println(e.toString());
8         }
9     }
10    public void run() {
11        String s = Thread.currentThread().getName();
12        pause(3); int y = x;
13        System.out.println(s+ " read "+y);
14        pause(4); x = y+1;
15        System.out.println(s+ " wrote "+(y+1));
16    }
17 // continued...
```

Beispiel

```
18     public static void main(String[] args) {
19         (new Thread(new Inc())).start();
20         pause(2);
21         (new Thread(new Inc())).start();
22         pause(2);
23         (new Thread(new Inc())).start();
24     }
25 } // end of class Inc
```

- ▶ `public static Thread currentThread();` liefert (eine Referenz auf) das ausführende Thread-Objekt.
- ▶ `public final String getName();` liefert den Namen des Thread-Objekts.
- ▶ Das Programm legt für 3 Objekte der Klasse `Inc` Threads an.
- ▶ Die Methode `run()` inkrementiert die Klassen-Variable `x`.

Beispiel

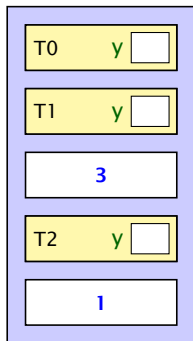
Mögliche Ausführung

```
> java Inc  
Thread-0 read 0  
Thread-0 wrote 1  
Thread-1 read 1  
Thread-2 read 1  
Thread-1 wrote 2  
Thread-2 wrote 2
```

x wurde dreimal erhöht, hat aber am Ende den Wert 2!!!

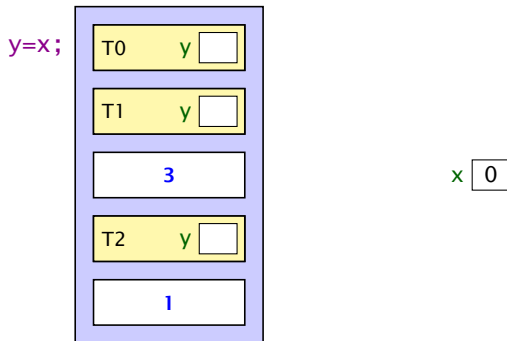
Beachte, dass das gleiche auch passieren könnte, wenn wir in der Methode `run()`, direkt `x=x+1` schreiben würden.

Erklärung

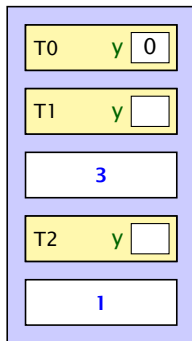


x 0

Erklärung

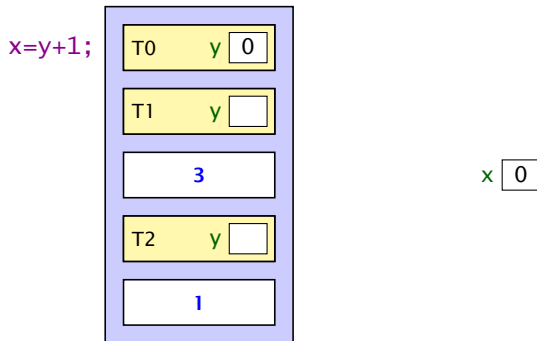


Erklärung

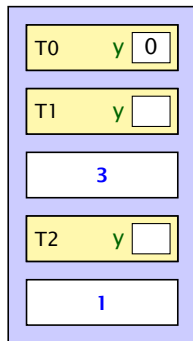


x 0

Erklärung

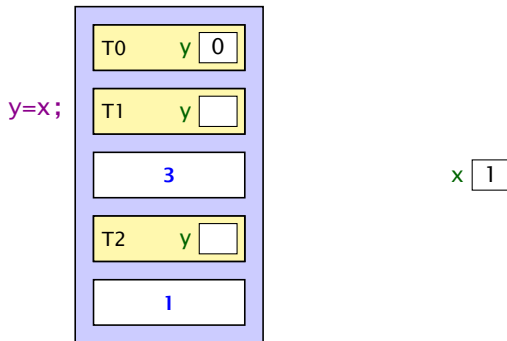


Erklärung

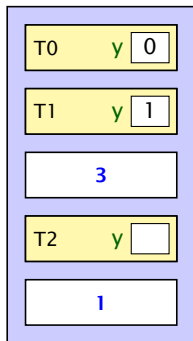


x 1

Erklärung

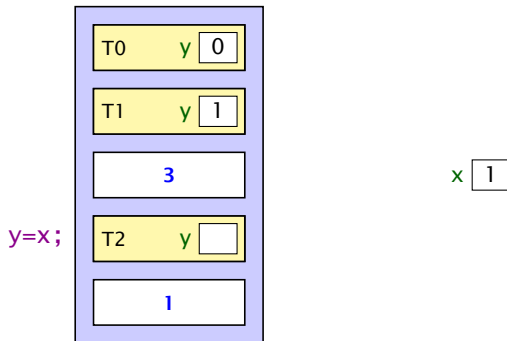


Erklärung

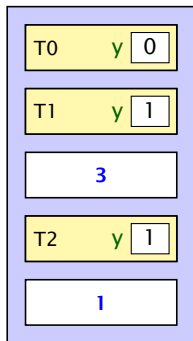


x 1

Erklärung

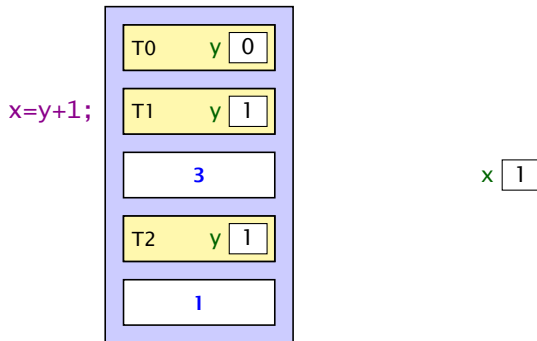


Erklärung

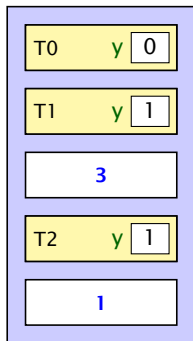


x 1

Erklärung

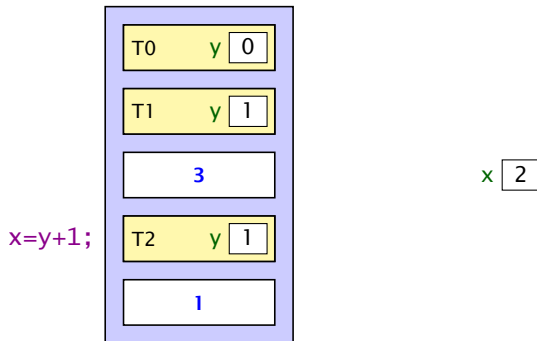


Erklärung

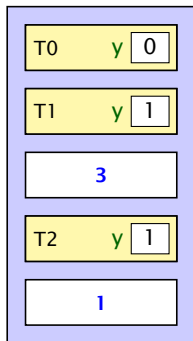


x 2

Erklärung



Erklärung

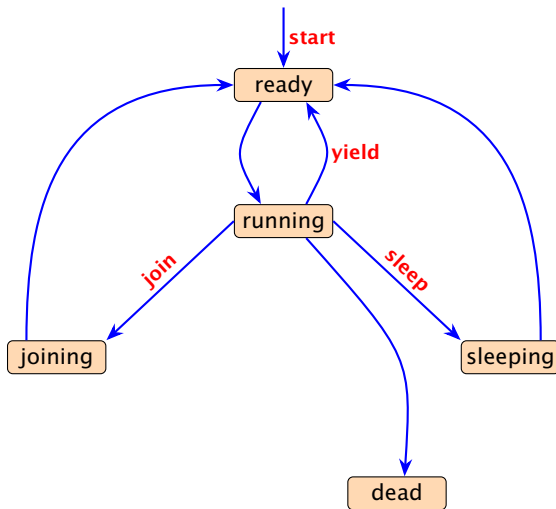


x 2

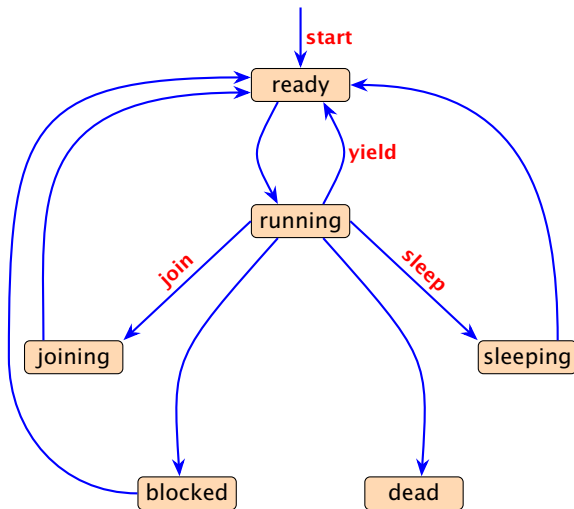
Monitore — Idee

- ▶ Inkrementieren der Variable `x` sollte ein **atomarer Schritt** sein, d.h. nicht von parallel laufenden Threads unterbrochen werden können.
- ▶ Mithilfe des Schlüsselworts **synchronized** kennzeichnen wir Objekt-Methoden einer Klasse `L` als ununterbrechbar.
- ▶ Für jedes Objekt `obj` der Klasse `L` kann zu jedem Zeitpunkt nur ein Aufruf `obj.synchMeth(...)` einer **synchronized**-Methode `synchMeth()` ausgeführt werden. Die Ausführung einer solchen Methode nennt man **kritischen Abschnitt** („critical section“) für die gemeinsame Resource `obj`.
- ▶ Wollen mehrere Threads gleichzeitig in ihren kritischen Abschnitt für das Objekt `obj` eintreten, werden alle bis auf einen **blockiert**.

Threadzustände



Threadzustände



Locks

- ▶ Jedes Objekt `obj` mit `synchronized`-Methoden verfügt über:
 1. über ein boolesches Flag `boolean locked`; sowie
 2. über eine Warteschlange `ThreadQueue blockedThreads`.
- ▶ Vor Betreten seines kritischen Abschnitts führt ein Thread (**implizit**) die atomare Operation `obj.lock()` aus:

```
1 private void lock() {
2     if (!locked) locked = true; // betrete krit.
        Abschnitt
3     else {                                // Lock bereits vergeben
4         Thread t = Thread.currentThread();
5         blockedThreads.enqueue(t);
6         t.state = blocked;                // blockiere
7     }
8 } // end of lock()
```

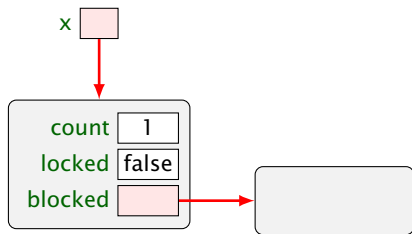
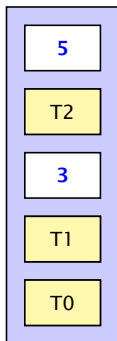
Locks

- ▶ Verlässt ein Thread seinen kritischen Abschnitt für `obj` (evt. auch mittels einer Exception), führt er (implizit) die atomare Operation `obj.unlock()` aus:

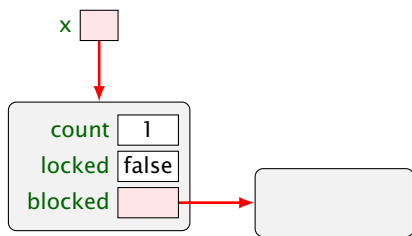
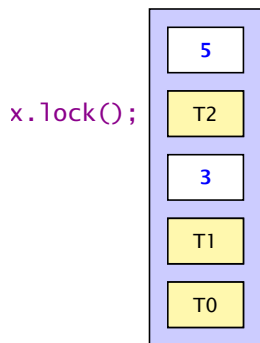
```
1 private void unlock() {
2     if (blockedThreads.empty())
3         locked = false; // Lock frei geben
4     else { // Lock weiterreichen
5         Thread t = blockedThreads.dequeue();
6         t.state = ready;
7     }
8 } // end of unlock()
```

- ▶ Dieses Konzept nennt man **Monitor**.

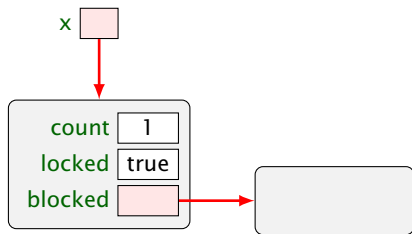
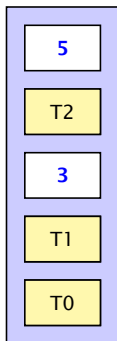
Beispiel



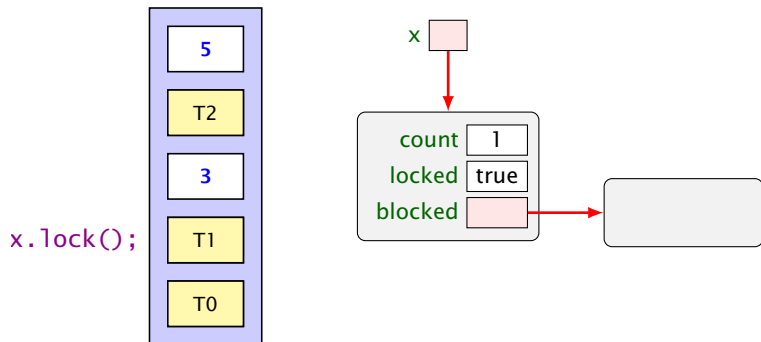
Beispiel



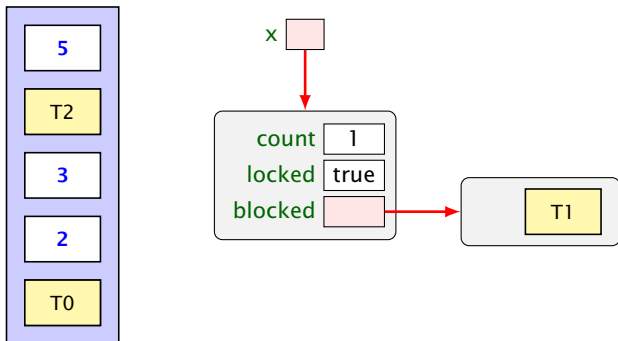
Beispiel



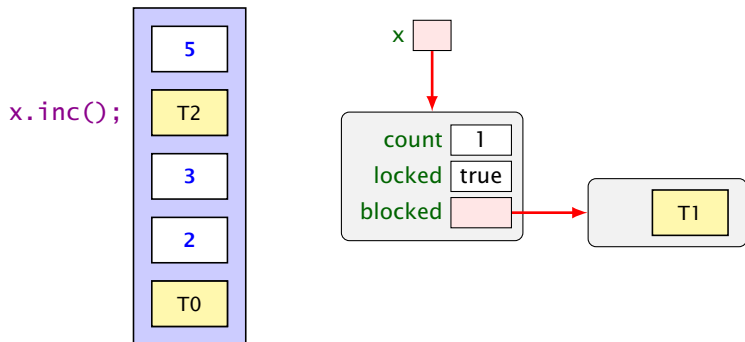
Beispiel



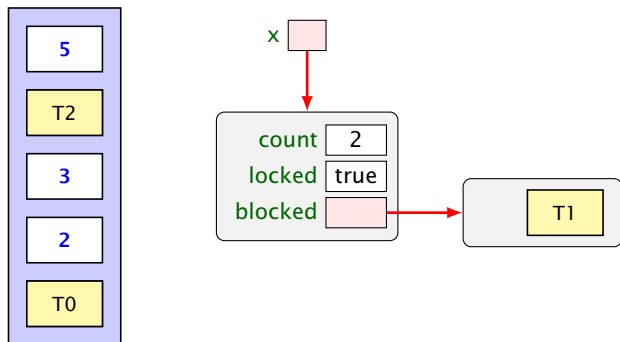
Beispiel



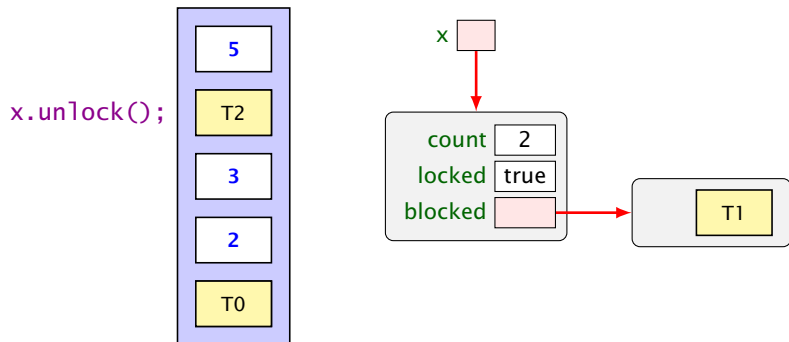
Beispiel



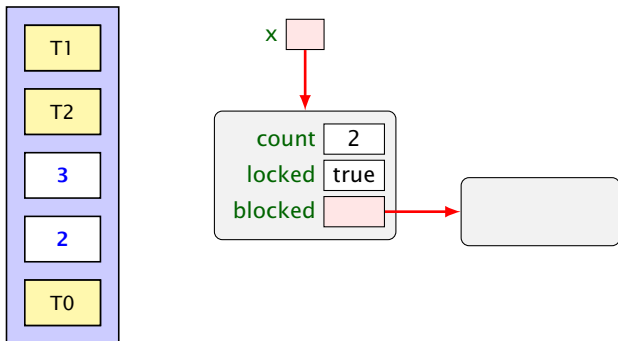
Beispiel



Beispiel

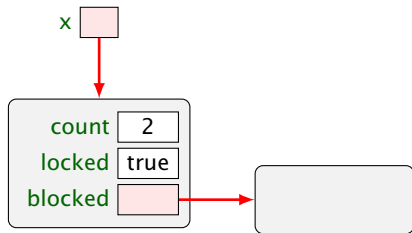
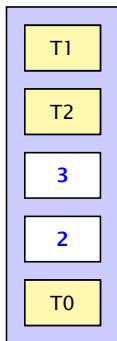


Beispiel

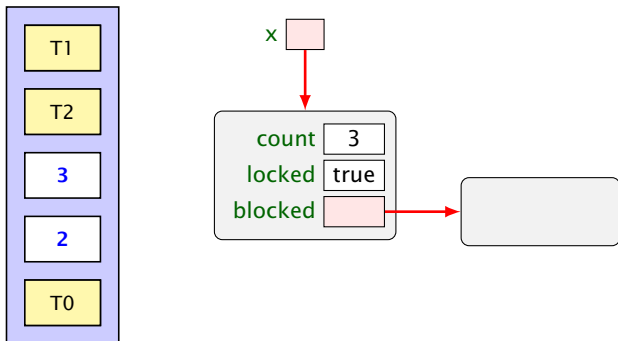


Beispiel

x.inc();

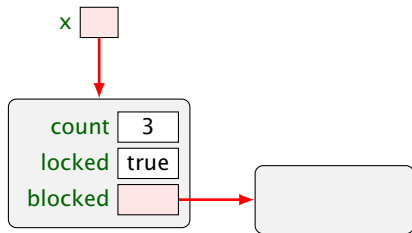
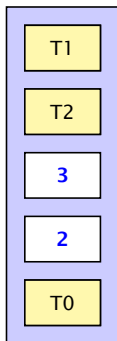


Beispiel

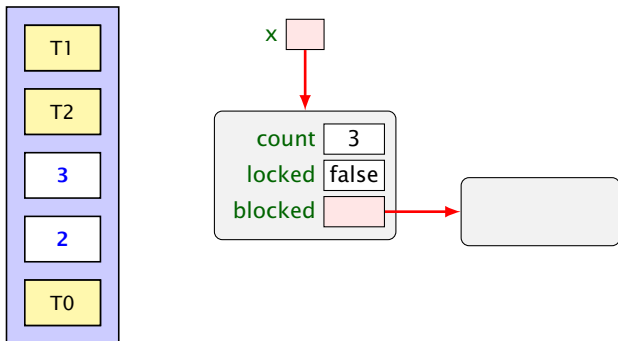


Beispiel

x.unlock();



Beispiel



Implementierung

```
public class Count {
    private int count = 0;
    public synchronized void inc() {
        String s = Thread.currentThread().getName();
        int y=count; System.out.println(s+" read "+y);
        count=y+1; System.out.println(s+" wrote "+count);
    }
} // end of class Count

public class IncSync implements Runnable {
    private static Count x = new Count();
    public void run() { x.inc(); }
    public static void main(String[] args) {
        (new Thread(new IncSynch())).start();
        (new Thread(new IncSynch())).start();
        (new Thread(new IncSynch())).start();
    }
} // end of class IncSync
```

Beispiel

liefert:

```
> java IncSync  
Thread-0 read 0  
Thread-0 wrote 1  
Thread-1 read 1  
Thread-1 wrote 2  
Thread-2 read 2  
Thread-2 wrote 3
```

Achtung:

- ▶ Die Operation `lock()` erfolgt nur, wenn der Thread nicht bereits **vorher** das Lock des Objekts erworben hat.
- ▶ Ein Thread, der das Lock eines Objekts `obj` besitzt, kann **weitere** Methoden für `obj` aufrufen, ohne sich selbst zu blockieren.

17 Graphische Benutzeroberflächen

Eine graphische Benutzer-Oberfläche (**GUI**) ist i.a. aus mehreren Komponenten zusammen gesetzt, die einen (hoffentlich **intuitiven Dialog** mit der Benutzerin ermöglichen sollen.

Idee:

- ▶ Einzelne Komponenten bieten der Benutzerin Aktionen an.
- ▶ Ausführen der Aktionen erzeugt **Ereignisse**.
- ▶ Ereignisse werden an die dafür zuständigen Listener-Objekte weiter gereicht **Ereignis-basiertes Programmieren**.

BILD

Ereignisse

- ▶ Maus-Bewegungen und -Klicks, Tastatureingaben etc. werden von der Peripherie registriert und an das ↑Betriebssystem weitergeleitet.
- ▶ Das Java-Laufzeitsystem nimmt die Signale vom Betriebssystem entgegen und erzeugt dafür AWTEvent-Objekte.
- ▶ Diese Objekte werden in eine AWTEventQueue eingetragen Producer!
- ▶ Die Ereignisschlange verwaltet die Ereignisse in der Reihenfolge, in der sie entstanden sind, kann aber auch mehrere ähnliche Ereignisse zusammenfassen. . .
- ▶ Der AWTEvent-Dispatcher ist ein weiterer Thread, der die Ereignis-Schlange abarbeitet Consumer!

- ▶ Abarbeiten eines Ereignisses bedeutet:
 1. Weiterleiten des **AWTEvent**-Objekts an das Listener-Objekt, das vorher zur Bearbeitung solcher Ereignisse **angemeldet** wurde;
 2. Aufrufen einer speziellen Methode des Listener-Objekts.
- ▶ Die Objekt-Methode des Listener-Objekts hat für die Reaktion des Applets zu sorgen.

GUI-Frameworks

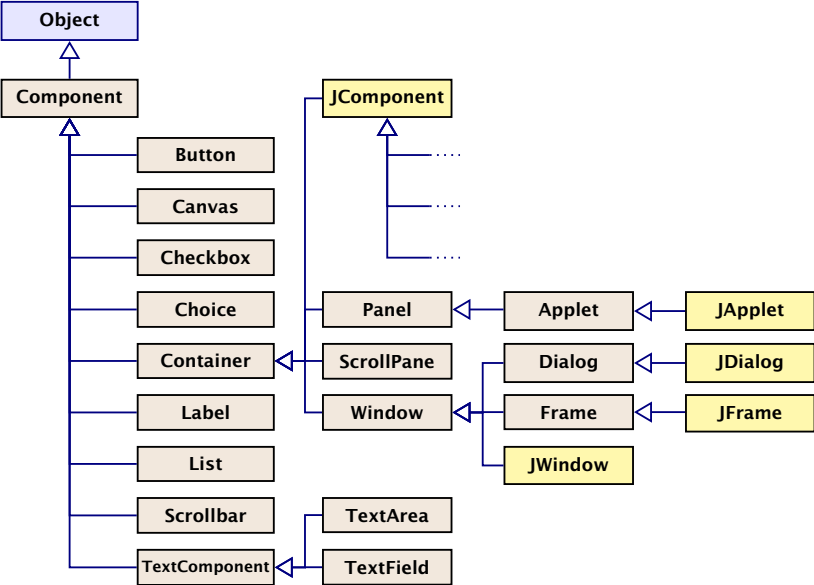
AWT, **A**bstr**W**indowing **T**oolkit.

- ▶ nutzt GUI-Elemente des Betriebssystem
- ▶ gut für Effizienz
- ▶ Anwendungen sehen auf verschiedenen Systemen unterschiedlich aus (kann Vorteil aber auch Nachteil sein)
- ▶ unterstützt üblicherweise nur Elemente die auf den meisten Systemen verfügbar sind
- ▶ funktioniert mit Applets

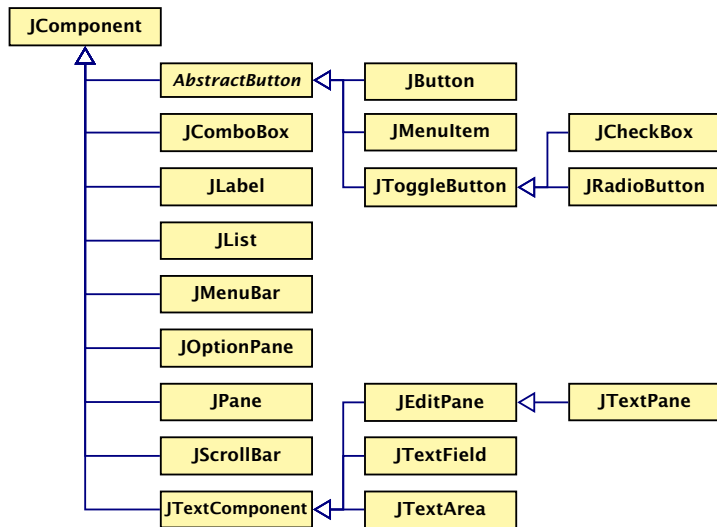
Swing

- ▶ fast alle GUI-Elemente sind in Java implementiert
- ▶ Anwendungen sehen überall gleich aus; (aber **skinnable**)
- ▶ reichhaltigere Sammlung von Elementen

Elemente in AWT und Swing



Elemente in AWT und Swing



Ein Button

```
1 import javax.swing.*;
2 import java.awt.*; import java.awt.event.*;
3 public class FirstButton extends JFrame implements
    ActionListener {
4     JLabel label;
5     JButton button;
6     public FirstButton() {
7         setLayout(new FlowLayout());
8         setSize(500,100);
9         setVisible(true);
10        setFont(new Font("SansSerif", Font.BOLD, 18));
11        label = new JLabel();
12        label.setText("This is my first button :-)");
13        add(label);
14        button = new JButton("Knopf");
15        button.addActionListener(this);
16        add(button);
17        revalidate();
18    }
```

Ein Button

```
19     public void actionPerformed(ActionEvent e) {
20         label.setText("Damn - you pressed it ...");
21         System.out.println(e);
22         remove(button);
23         // let layout manager recalculate positions
24         validate();
25         repaint();
26     }
27     public static void main(String args[]) {
28         new FirstButton();
29     }
30 } // end of FirstButton
```

`revalidate()` führt `validate()` aus und `repaint()` für Bereiche, die neu gezeichnet werden müssen (ermittelt über eine Heuristik). Funktioniert in diesem Beispiel nicht...

Erläuterungen

- ▶ Wir erzeugen einen `JFrame`; ein normales Fenster mit Menüleiste, etc.
- ▶ Wir setzen Größe (`setSize`) des Frames, und machen ihn sichtbar (`setVisible`).
- ▶ `setLayout` kommt später...
- ▶ Der Frame enthält zwei weitere Komponenten:
 - ▶ ein `JButton`
 - ▶ ein `JLabel`
- ▶ Objekte dieser Klassen besitzen eine Aufschrift...
- ▶ Die in den Labels verwendete Schriftart richtet sich nach der des umgebenden `Containers` (zumindest in der Größe); deshalb wählen wir eine Schrift für den Frame

Erläuterungen

- ▶ Die Objekt-Methoden:

```
void add(Component c)
```

```
void add(Component c, int i)
```

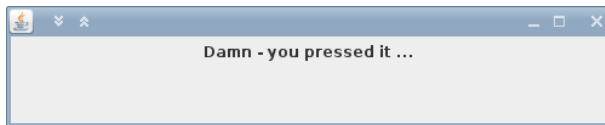
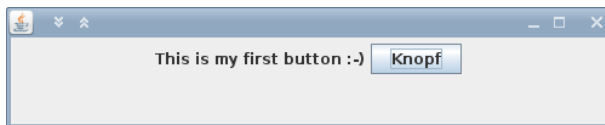
... fügen die Komponente `c` zum `Container JFrame` hinten (bzw. an der Stelle `i`) hinzu.

- ▶ `public void addActionListener(ActionListener listener)` registriert ein Objekt `listener` als das, welches die von der Komponente ausgelösten `ActionEvent`-Objekte behandelt, hier: der `JFrame` selber.
- ▶ `ActionListener` ist ein `Interface`. Für die Implementierung muss die Methode `void actionPerformed(ActionEvent e)` bereitgestellt werden.

Erläuterungen

- ▶ Die Methode `actionPerformed(ActionEvent e)` ersetzt den Text des Labels und entfernt den Knopf mithilfe der Methode `remove(Component c)`; anschließend muß der `Container` validiert und ggf. neu gezeichnet werden.
- ▶ Beim Drücken des Knopfs passiert das Folgende:
 1. ein `ActionEvent`-Objekt `action` wird erzeugt und in die Ereignisschlange eingefügt.
 2. Der `AWTEvent`-Dispatcher holt `action` wieder aus der Schlange. Er identifiziert den Frame `f` selbst als das für `action` zuständige Listener-Objekt. Darum ruft er `f.actionPerformed(action)`; auf.
- ▶ Wären `mehrere` Objekte als `Listener` registriert worden, würden sukzessive auch für diese entsprechende Aufrufe abgearbeitet werden.

Ein Button



Mehrere Knöpfe

```
1 import java.awt.*;  
2 import java.awt.event.*;  
3 import javax.swing.*;  
4 public class SeveralButtons extends JFrame implements  
    ActionListener {  
5     JLabel label;  
6     JButton butA, butB;
```

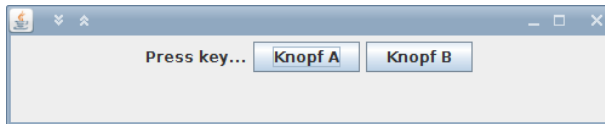

Mehrere Knöpfe

```
1 public SeveralButtons() {
2     setLayout(new FlowLayout());
3     setSize(500,100);
4     setVisible(true);
5     setFont(new Font("SansSerif", Font.BOLD, 18));
6     label = new JLabel();
7     label.setText("Press key...");
8     add(label);
9     butA = new JButton("Knopf A");
10    butA.addActionListener(this);
11    add(butA);
12    butB = new JButton("Knopf B");
13    butB.addActionListener(this);
14    add(butB);
15    revalidate();
16 }
```

Mehrere Knöpfe

```
18     public void actionPerformed(ActionEvent e) {
19         if(e.getActionCommand().equals("Hier")) {
20             label.setText("Toll! Knopf 1 mit Label "
21                 +e.getActionCommand());
22         } else {
23             label.setText("Toll! Knopf 2 mit Label "
24                 +e.getActionCommand());
25         }
26         System.out.println(e);
27     }
28     public static void main(String args[]) {
29         new SeveralButtons();
30     }
31 }
```

Mehrere Knöpfe



Alternativen

Wo kann man EventListener platzieren?

1. In der Klasse, die das Widget enthält (wie bei uns).
 - ▶ Widgets teilen sich Eventfunktionen (z.B. `ActionPerformed()`). Fallunterscheidung notwendig.
 - ▶ Die Widgets sind nicht von der Ereignisverarbeitung getrennt.
2. In einer/mehreren anderen Klasse.
 - ▶ Trennung von Ereignisverarbeitung und graphischen Elementen.
 - ▶ Bei einer Klasse Fallunterscheidungen erforderlich; mehrere Klassen führen evt. zu sehr viel Code
 - ▶ Zugriffe auf private Elemente?
3. Inner Class
4. Anonymous Inner Class

Inner Class

```
1 public class OuterClass {  
2     private int var;  
3     public class InnerClass {  
4         void methodA() {};  
5     }  
6     public void methodB() {};  
7 }
```

- ▶ In Java kann man Klassendefinitionen schachteln
- ▶ Instanz von **InnerClass** kann auf alle Member von **OuterClass** zugreifen.
- ▶ **InnerClass** ist im Prinzip eine normale Klasse mit zusätzlichen Zugriffsrechten.

Beispiel

Um von aussen ein Objekt der inneren Klasse zu erzeugen, muss man erst ein Objekt der äußeren Klasse generieren.

```
1 class OuterClass {
2     private int x = 1;
3     public class InnerClass {
4         void show() { System.out.println("x = " + x); }
5     }
6     public void showMeth() {
7         InnerClass b = new InnerClass();
8         b.show();
9     }
10 }
11 public class TestInner {
12     public static void main(String args[]) {
13         OuterClass a = new OuterClass();
14         OuterClass.InnerClass x = a.new InnerClass();
15         x.show();
16         a.showMeth();
17     }
18 }
```

Local Inner Class

Eine **lokale, innere Klasse** wird innerhalb einer Methode deklariert:

```
1 public class OuterClass {
2     private int var;
3     public void methodA() {
4         public class InnerClass {
5             void methodB() {};
6         }
7     };
8 }
```

- ▶ Kann zusätzlich auf die **finalen** Parameter und Variablen der Methode zugreifen.

Beispiel – Iterator

```
1 public class Stack {
2     private ArrayList<Integer> items;
3     // Konstruktor und Stackmethoden fehlen
4     public Iterator<Integer> iterator() {
5         private class StackIterator implements
6             Iterator<Integer> {
7             int curr = items.size() - 1;
8             public boolean hasNext() { return (curr>0); }
9             public ArrayList<Integer> next() {
10                return items.get(curr--);
11            }
12            public void remove() {}
13        }
14    }
15 }
```

Wir geben ein Objekt zurück mit dessen Hilfe man über die Elemente des Stacks iterieren kann.
Achtung: die Implementierung ist schlecht, da im Fehlerfall keine Exceptions geworfen werden.

Anonymous Inner Classes

Der Anwendungsfall für lokale, innere Klassen ist typisch:

- ▶ eine Methode erzeugt genau ein Objekt der inneren Klasse
- ▶ dieses wird z.B. an den Aufrufer zurückgegeben

Anonyme Innere Klasse:

- ▶ **Ausdruck** enthält Klassendeklaration, und instanziiert ein Objekt der Klasse
- ▶ die Klasse selber erhält keinen Namen

Beispiel – Iterator

```
1 public class Stack {
2     private ArrayList<Integer> items;
3     // Konstruktor und Stackmethoden fehlen
4     public Iterator<Integer> iterator() {
5         return new Iterator<Integer> {
6             int curr = items.size() - 1;
7             public boolean hasNext() { return (curr>0); }
8             public ArrayList<Integer> next() {
9                 return items.get(curr--);
10            }
11            public void remove() {}
12        }
13 } }
```

Wir können nur ein Interface implementieren, oder von einer Klasse erben.

Mehrere Knöpfe – Inner Class

```
1 import javax.swing.*;
2 import java.awt.*;
3 import java.awt.event.*;
4
5 public class SeveralButtonsInner extends JFrame {
6     JLabel label;
7     JButton butA, butB;
8     public class listenerA implements ActionListener {
9         public void actionPerformed(ActionEvent e) {
10             label.setText("Toll! Knopf 1 mit Label
11                 "+e.getActionCommand());
12         }
13     }
14     public class listenerB implements ActionListener {
15         public void actionPerformed(ActionEvent e) {
16             label.setText("Toll! Knopf 2 mit Label
17                 "+e.getActionCommand());
18         }
19     }
20 }
```

Mehrere Knöpfe – Inner Class

```
1     public SeveralButtonsInner() {
2         setLayout(new BorderLayout());
3         setSize(500,100);
4         setVisible(true);
5         setFont(new Font("SansSerif", Font.BOLD, 18));
6         label = new JLabel();
7         label.setText("Press key...");
8         add(label);
9         butA = new JButton("Knopf A");
10        butA.addActionListener(new listenerA());
11        add(butA);
12        butB = new JButton("Knopf B");
13        butB.addActionListener(new listenerB());
14        add(butB);
15    }
16    public static void main(String args[]) {
17        new SeveralButtonsInner();
18    }
19 }
```

Mehrere Knöpfe – Anonymous Class

```
1 import javax.swing.*;
2 import java.awt.*;
3 import java.awt.event.*;
4 public class SeveralButtonsAnonymous extends JFrame {
5     JLabel label;
6     JButton butA, butB;
7
8     public static void main(String args[]) {
9         new SeveralButtonsAnonymous();
10    }
11    public SeveralButtonsAnonymous() {
12        setLayout(new FlowLayout());
13        setSize(500,100);
14        setVisible(true);
15        setFont(new Font("SansSerif", Font.BOLD, 18));
16        label = new JLabel();
17        label.setText("Press key...");
18        add(label);
```

Mehrere Knöpfe – Anonymous Class

```
1      butA = new JButton("Knopf A");
2      butA.addActionListener(new ActionListener() {
3          public void actionPerformed(ActionEvent e) {
4              label.setText("Toll! Knopf 1 mit Label
5                  "+e.getActionCommand());
6          }
7      });
8      add(butA);
9      butB = new JButton("Knopf B");
10     butB.addActionListener(new ActionListener() {
11         public void actionPerformed(ActionEvent e) {
12             label.setText("Toll! Knopf 2 mit Label
13                 "+e.getActionCommand());
14         }
15     });
16     add(butB);
17 }
```

Diskussion

Für größere Projekte ist Variante 2 vorzuziehen, da sie kleinere Klassen erlaubt, und eine saubere Trennung zwischen Ereignisbehandlung und graphischer Ausgabe ermöglicht.

Der Umweg über Innere Klassen vermeidet Fallunterscheidungen aber macht den Code recht unübersichtlich.

Weitere Alternative: Lambda-Ausdrücke/Methodenreferenzen

Lambda-Ausdrücke

Ein **Funktionsinterface**, ist ein Interface, dass **genau** eine Methode enthält.

```
interface Runnable {  
    void run();  
}
```

Ein **Lambda-Ausdruck** ist das Literal eines Objektes, dass ein Funktionsinterface implementiert. Z.B.:

Syntax:

- ▶ allgemein
(Parameterliste) -> {...}
- ▶ nur return-statement
(Parameterliste) -> Ausdruck
- ▶ nur genau ein Parameter
a -> {...}

Die formalen Parameter eines Lambda-Ausdrucks, müssen keine Typbezeichner enthalten. Der notwendige Typ wird durch den Kontext bei der Verwendung des Lambda-Ausdrucks ermittelt.

Beispiele

```
Runnable r = () -> {System.out.println("Hello!");};
```

Beispiele

```
interface Function<T> {
    T func(int arg);
}

public class Eval<T> {
    Eval(Function<T> f, int[] arr, T[] res) {
        for (int i=0; i<arr.length; i++) {
            res[i] = f.func(arr[i]);
        }
    }

    public static void main(String args[]) {
        int[] a = {1,2,3,4,5};
        Integer[] b = new Integer[5];
        new Eval<Integer>(x->x*x, a, b);
        for (int i=0; i<5; i++) {
            System.out.print(b[i]+",");
        }
    }
}
```

Der Konstruktor `Eval`, bekommt ein input array `arr`, ein Ergebnisarray `res` derselben Größe, und ein Funktionsobjekt `f`. Für jeden Eintrag `arr[i]` wird die Funktion ausgewertet und das Ergebnis nach `res[i]` geschrieben.

Hier steht `x->x*x` für ein Funktionsobjekt, das ein `int` nach `Integer` abbildet. Falls man in `main`, `Integer` durch `Double` ersetzt, steht `x->x*x` für ein Funktionsobjekt, das ein `int` nach `Double` abbildet. D.h., der Typ ist vom Kontext abhängig...

Methodenreferenzen

An der Stelle, an der ein Lambda-Ausdruck möglich ist, kann man auch eine **Methodenreferenz** einer passenden Methode angeben.

Beispiel:

- ▶ Klasse **ClassA** verfügt über statische Methode **boolean less(int a, int b)**.
- ▶ Das **Funktionsinterface Iface** verlangt die Implementierung einer Funktion, die zwei **ints** nach **boolean** abbildet.
- ▶ Ausserdem existiert Funktion **sort(int[] a, Iface x)**.
- ▶ Dann sortiert der Aufruf:

```
int[] arr = {5,8,7,2,11};  
sort(arr, ClassA::less);
```

gemäß

der durch **less** vorgegebenen Ordnung.

Wenn man eine Objektmethode benutzen möchte müsste man **x::less** schreiben, wobei **x** ein Objekt der Klasse **ClassA** ist.

Vorausgesetzt die Funktion **sort** ist so implementiert, dass sie tatsächlich sortiert...

Mehrere Knöpfe – Methodenreferenz

```
1 import javax.swing.*;
2 import java.awt.*;
3 import java.awt.event.*;
4 class EventHandler {
5     private JLabel label;
6     EventHandler(JLabel l) { label = l; }
7     public void actionA(ActionEvent e) {
8         label.setText("Toll! Knopf 1 mit Label
9             "+e.getActionCommand());
10    }
11    public void actionB(ActionEvent e) {
12        label.setText("Toll! Knopf 2 mit Label
13            "+e.getActionCommand());
14    }
15 }
16 public class SeveralButtonsLambda extends JFrame {
17     JLabel label;
18     JButton butA, butB;
19     EventHandler handler;
```

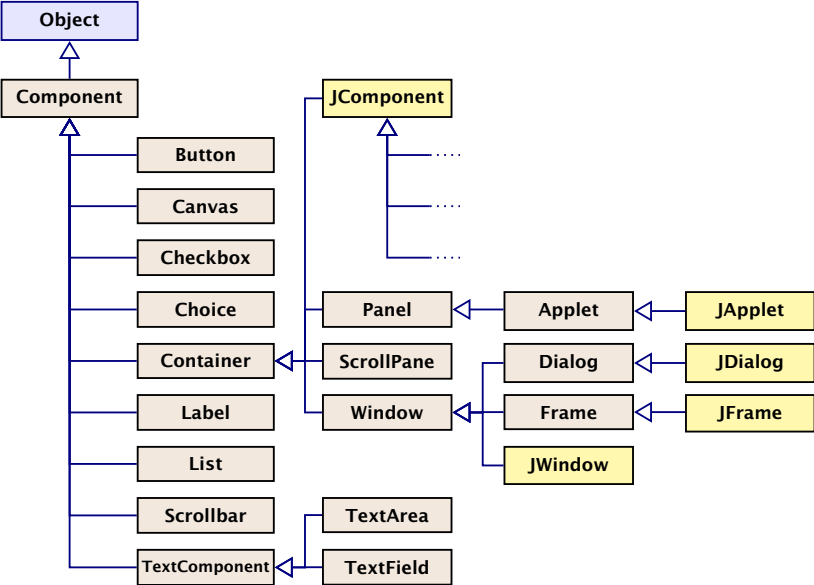
Wir sammeln die Funktionen für die Ereignisbehandlung in einer externen Klasse. Diese benötigt eine Referenz um auf `label` zugreifen zu können. Diese übergeben wir im Konstruktor.

Mehrere Knöpfe – Lambda/Methodenreferenz

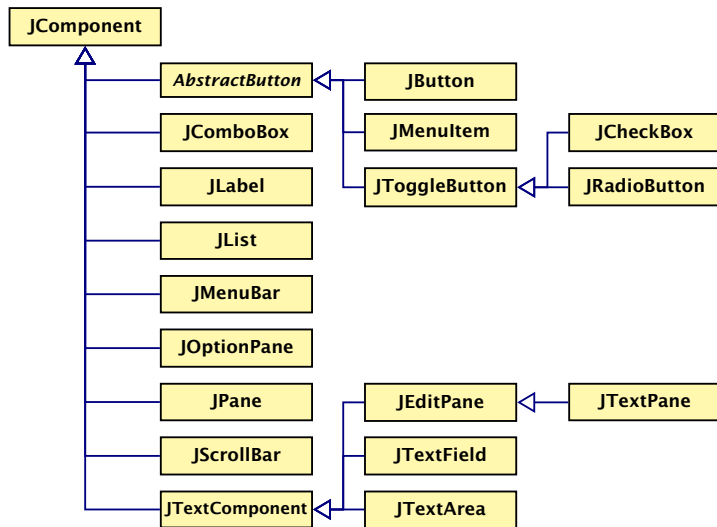
```
1 public static void main(String args[]) {
2     new SeveralButtonsLambda();
3 }
4 public SeveralButtonsLambda() {
5     setLayout(new FlowLayout());
6     setSize(500,100); setVisible(true);
7     setFont(new Font("SansSerif", Font.BOLD, 18));
8     label = new JLabel();
9     label.setText("Press key..."); add(label);
10    handler = new EventHandler(label);
11    butA = new JButton("Knopf A");
12    butA.addActionListener(handler::actionA);
13    add(butA);
14    butB = new JButton("Knopf B");
15    butB.addActionListener(
16        e -> label.setText("Toll! Knopf 2 mit Label "
17            + e.getActionCommand());
18    add(butB);
19 }
```

Das ist eigentlich recht nett, funktioniert aber nur für EventListener, die **Funktionsinterfaces** sind. Im Prinzip erzeugen wir das Listener-Objekt als Anonyme Klasse über eine sehr angenehme Syntax.

Elemente in AWT und Swing



Elemente in AWT und Swing



Elemente:

Canvas Eine Fläche zum Malen.

(J)Label Zeigt eine Textzeile.

(J)Button Einzelner Knopf um Aktion auszulösen.

(J)Scrollbar Schieber zur Eingabe kleiner `int`-Zahlen.

Beispiel – Scrollbar

```
1 import javax.swing.*;
2 import java.awt.*;
3 import java.awt.event.*;
4 public class ScalingFun extends JFrame
5     implements AdjustmentListener {
6     private JScrollBar sHeight, sWidth;
7     private JComponent content;
8     private Image img;
9     private int width, height;
10    public static void main(String[] args) {
11        new ScalingFun();
12    }
13    class MyComponent extends JComponent {
14        public void paintComponent(Graphics page) {
15            int l = getWidth()/2 - width/2;
16            int r = getHeight()/2 - height/2;
17            page.drawImage(img, l, r, width, height, this);
18        }
19    }
```

Beispiel – Scrollbar

```
1   ScalingFun() {
2       int h,w;
3       img =
4           Toolkit.getDefaultToolkit().getImage("f.png");
5       while (img.getHeight(null) == -1); // wait...
6       h=height = img.getHeight(null);
7       w=width  = img.getWidth(null);
8       setLayout(new BorderLayout());
9       sHeight = new JScrollbar(JScrollbar.VERTICAL,
10          h, 50,0,h+50);
11       sHeight.addAdjustmentListener(this);
12       add(sHeight,"West");
13       sWidth = new JScrollbar(JScrollbar.HORIZONTAL,
14          w, 50,0,w+50);
15       sWidth.addAdjustmentListener(this);
16       add(sWidth,"South");
17       add(content = new MyComponent());
18       setSize(500,500);
19       setVisible(true);
20   }
```

Beispiel – Scrollbar

```
1     public void adjustmentValueChanged(  
2         AdjustmentEvent e) {  
3         Adjustable s = e.getAdjustable();  
4         int value = e.getValue();  
5         if (s == sHeight) height = value;  
6         else width = value;  
7         revalidate();  
8         repaint();  
9     }  
10 } // end of Applet ScalingFun
```

Erläuterungen

- ▶ Ein `JScrollbar`-Objekt erzeugt `AdjustmentEvent`-Ereignisse.
- ▶ Entsprechende Listener-Objekte müssen das Interface `AdjustmentListener` implementieren.
- ▶ Dieses verlangt die Implementierung einer Methode `void adjustmentValueChanged(AdjustmentEvent e);`
- ▶ Der Konstruktor legt zwei `JScrollbar`-Objekte an, eines horizontal, eines vertikal.

Dafür gibt es in der Klasse `JScrollbar` die `int`-Konstanten `HORIZONTAL` und `VERTICAL`.

Erläuterungen

- ▶ Der Konstruktor `JScrollbar(int dir, int init, int slide, int min, int max)`; erzeugt eine `JScrollbar` der Ausrichtung `dir` mit Anfangsstellung `init`, Breite des Schiebers `slide`, minimalem Wert `min` und maximalem Wert `max`.

Aufgrund der Breite des Schiebers ist der **wirkliche** Maximalwert `max - slide`.

- ▶ `void addAdjustmentListener(AdjustmentListener adj)`; registriert das `AdjustmentListener`-Objekt als Listener für die `AdjustmentEvent`-Objekte der Scrollbars.

- ▶ Um `AdjustmentEvent`-Objekte behandeln zu können, implementieren wir die Methode

```
AdjustmentValueChanged(AdjustmentEvent e);
```

- ▶ Jedes `AdjustmentEvent`-Objekt verfügt über die Objekt-Methoden:

```
public AdjustmentListener getAdjustable();  
public int getValue();
```

...mit denen das auslösende Objekt sowie der eingestellte `int`-Wert abgefragt werden kann.

Bleibt, das Geheimnis um **Layout** und **West** bzw. **South** zu lüften...

- ▶ Jeder Container, in den man weitere Komponenten schachteln möchte, muss über eine Vorschrift verfügen, wie die Komponenten anzuordnen sind.
- ▶ Diese Vorschrift heisst **Layout**.

Zur Festlegung des Layouts stellt **Java** das Interface **LayoutManager** zur Verfügung sowie nützliche implementierende Klassen...

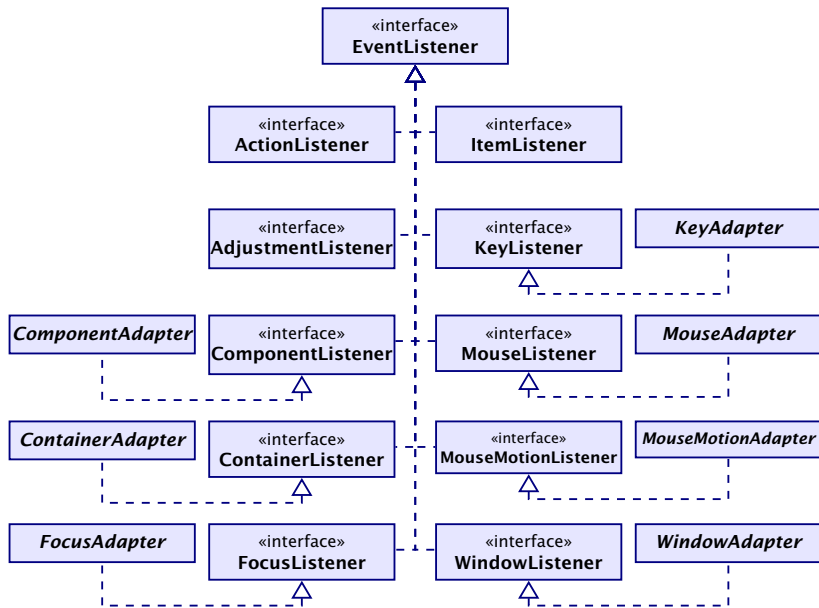
- ▶ Eine davon ist das BorderLayout.
- ▶ Mithilfe der String-Argumente:

```
BorderLayout.NORTH = "North",  
BorderLayout.SOUTH = "South",  
BorderLayout.WEST = "West",  
BorderLayout.EAST = "East", und  
BorderLayout.CENTER = "Center"
```

kann man **genau eine** Komponente am bezeichneten Rand bzw. der Mitte positionieren.

Überblick – Eventklassen

Die Adapterklassen sind abstrakt, obwohl sie keine abstrakten Methoden enthalten.

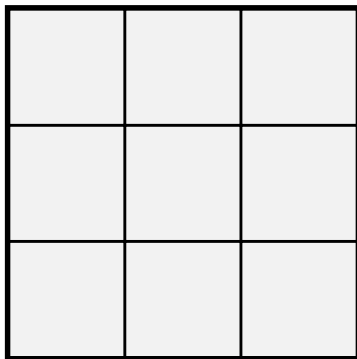


18 Tic-Tac-Toe

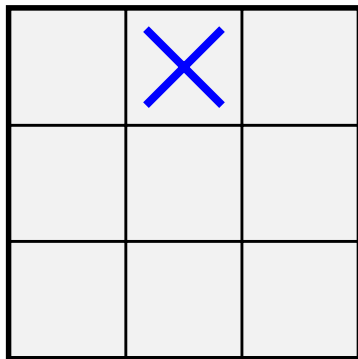
Regeln:

- ▶ Zwei Personen setzen abwechselnd **Steine** auf ein (3×3) -Spielfeld.
- ▶ Wer zuerst drei Steine in einer **Reihe** erreicht, gewinnt.
- ▶ Zeilen, Spalten und Haupt-Diagonalen sind Reihen.

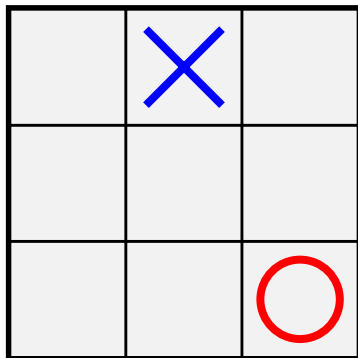
Beispiel



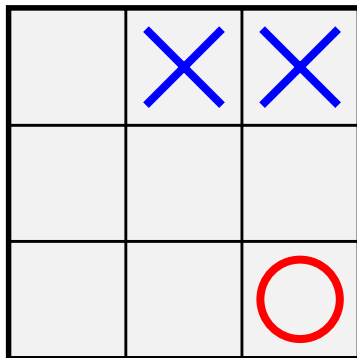
Beispiel



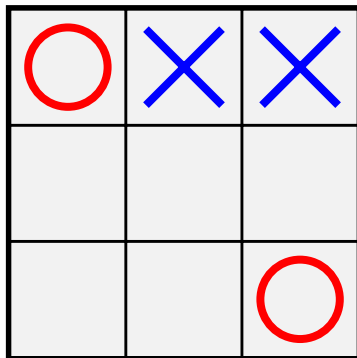
Beispiel



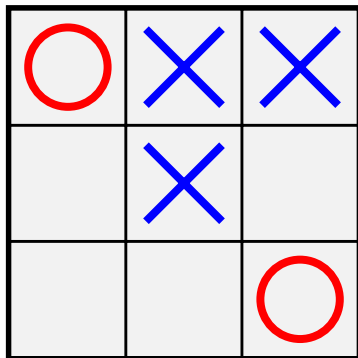
Beispiel



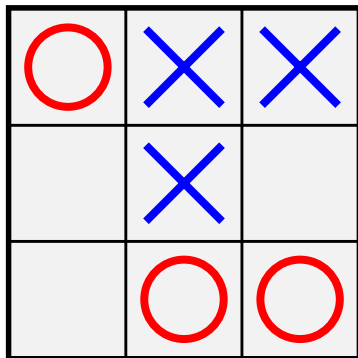
Beispiel



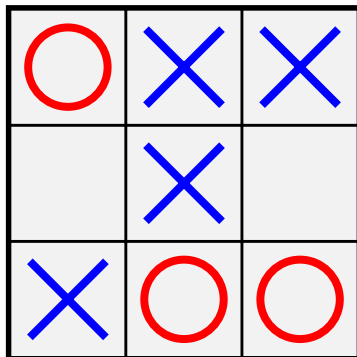
Beispiel



Beispiel



Beispiel



... offenbar hat die anziehende Partei gewonnen.

Fragen

- ▶ Ist das immer so? D.h. kann die anziehende Partei immer gewinnen?
- ▶ Wie implementiert man ein **Tic-Tac-Toe**-Programm, das
 - ▶ ...möglichst oft gewinnt?
 - ▶ ...eine **ansprechende** Oberfläche bietet?

Hintergrund — Zwei-Personen-Nullsummenspiele

Tic-Tac-Toe ist ein endliches **Zwei-Personen-Nullsummen-Spiel**, mit **perfekter Information**. Das heißt:

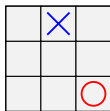
- ▶ Zwei Personen spielen gegeneinander.
- ▶ Was der eine gewinnt, verliert der andere.
- ▶ Es gibt eine endliche Menge von **Spiel-Konfigurationen**.
- ▶ Die Spieler ziehen abwechselnd. Ein **Zug** wechselt die Konfiguration, bis eine **Endkonfiguration** erreicht ist.
- ▶ Jede Endkonfiguration ist mit einem **Gewinn** aus \mathbb{R} bewertet.
- ▶ Person 0 gewinnt, wenn Endkonfiguration mit negativem Gewinn erreicht wird; sonst gewinnt Person 1.

Man spricht häufig auch von einem **Minimum-Spieler** (Person 0) und einem **Maximum-Spieler** (Person 1).

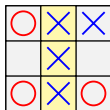
Perfekte Information bedeutet, dass die Spieler alle Informationen besitzen und demzufolge das Spiel (im Prinzip) vollständig berechenbar ist (wie z.B. Mühle, Dame, Schach, Go, etc). Ein Nullsummenspiel ohne vollständige Information ist z.B. Poker.

...im Beispiel

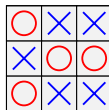
Konfiguration:



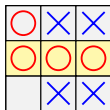
Endkonfigurationen:



Gewinn -1



Gewinn 0

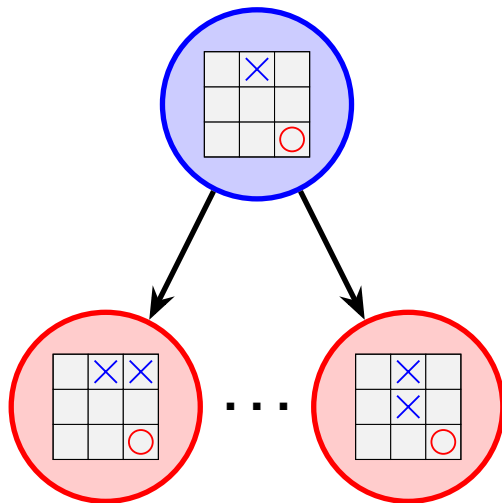


Gewinn +1

...im Beispiel

Der Minimum-Spieler (cross/blau), wählt eine der möglichen Nachfolgekonfigurationen.

Spielzug:



Spielbaum

Ein **Spielbaum** wird folgendermassen (rekursiv) konstruiert:

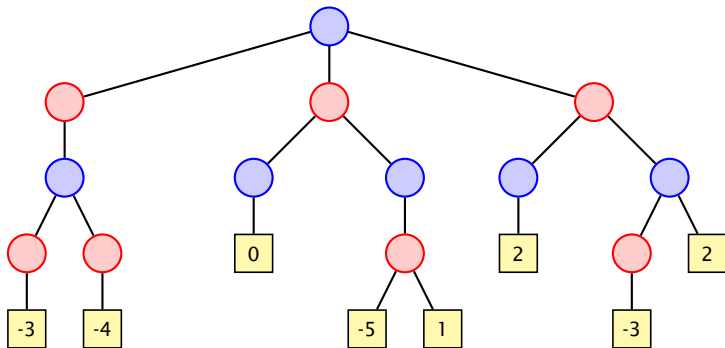
- ▶ gegeben ein Knoten v , der eine Spielkonfiguration repräsentiert
- ▶ für jede mögliche Nachfolgekongfiguration erzeugen wir ein Kindknoten, den wir mit v verbinden;
- ▶ dann starten wir den Prozess rekursiv für alle Kindknoten.

Eigenschaften:

- ▶ jeder Knoten repräsentiert eine Konfiguration; allerdings kann dieselbe Konfiguration sehr oft vorkommen
- ▶ Blattknoten repräsentieren Endkonfigurationen
- ▶ Kanten repräsentieren Spielzüge
- ▶ jedes Spiel ist ein Pfad von der Wurzel zu einem Blatt

Beispiel — Spielbaum

Dieser Spielbaum repräsentiert ein beliebiges Zwei-Personen-Nullsummenspiel. Deshalb sind die Bewertungen in den Blättern nicht nur $\{-1, 0, 1\}$.



Fragen:

- ▶ Wie finden wir uns (z.B. als **blaue** Person) im Spielbaum zurecht?
- ▶ Was müssen wir tun, um **sicher** ein negatives Blatt zu erreichen?

Der Spielbaum wird üblicherweise so konstruiert, dass die Wurzel der aktuellen Stellung entspricht in der wir am Zug sind.

Idee:

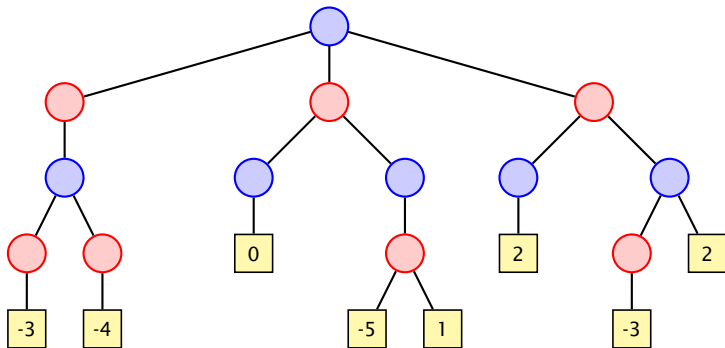
- ▶ Wir ermitteln für jede Konfiguration den jeweils **besten** zu erzielenden Gewinn.
- ▶ Seien die Gewinne für sämtliche Nachfolger einer Konfiguration bereits ermittelt.

Fall 1 Die Konfiguration ist **blau**: wir sind am Zug. Wir können garantiert das **Minimum** der Gewinne der Söhne erzielen.

Fall 2 Die Konfiguration ist **rot**: der Gegner ist am Zug. Er kann garantiert das **Maximum** der Gewinne der Söhne erzielen.

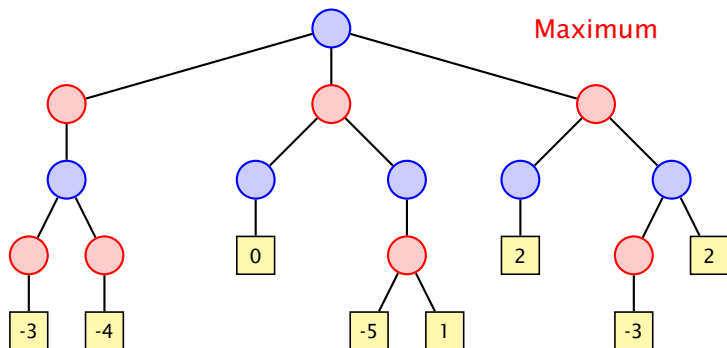
Beispiel — Spielbaum

Dieser Spielbaum repräsentiert ein beliebiges Zwei-Personen-Nullsummenspiel. Deshalb sind die Bewertungen in den Blättern nicht nur $\{-1, 0, 1\}$.



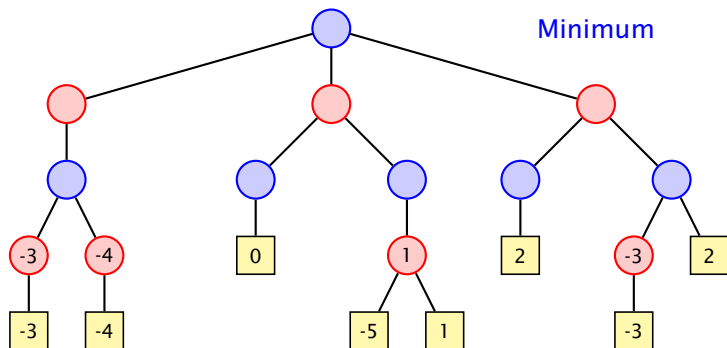
Beispiel — Spielbaum

Dieser Spielbaum repräsentiert ein beliebiges Zwei-Personen-Nullsummenspiel. Deshalb sind die Bewertungen in den Blättern nicht nur $\{-1, 0, 1\}$.



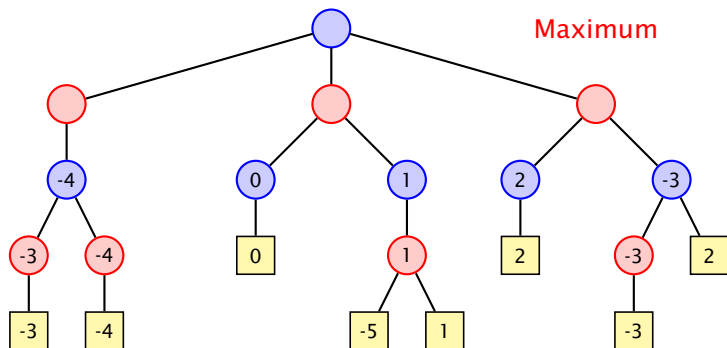
Beispiel — Spielbaum

Dieser Spielbaum repräsentiert ein beliebiges Zwei-Personen-Nullsummenspiel. Deshalb sind die Bewertungen in den Blättern nicht nur $\{-1, 0, 1\}$.



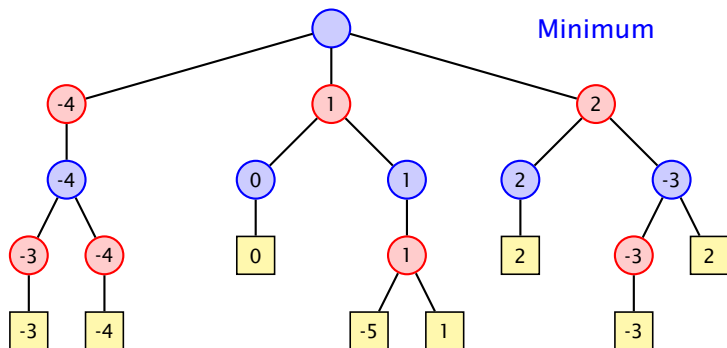
Beispiel — Spielbaum

Dieser Spielbaum repräsentiert ein beliebiges Zwei-Personen-Nullsummenspiel. Deshalb sind die Bewertungen in den Blättern nicht nur $\{-1, 0, 1\}$.



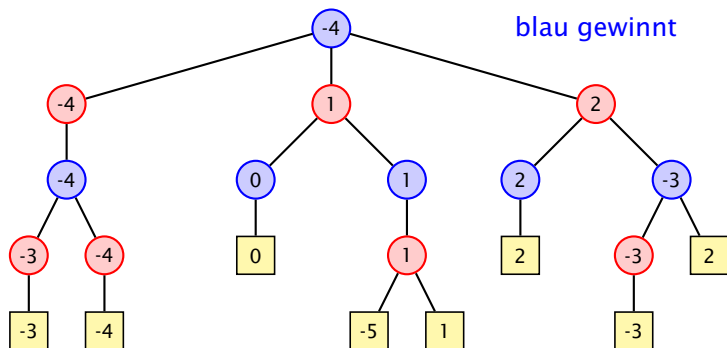
Beispiel — Spielbaum

Dieser Spielbaum repräsentiert ein beliebiges Zwei-Personen-Nullsummenspiel. Deshalb sind die Bewertungen in den Blättern nicht nur $\{-1, 0, 1\}$.



Beispiel — Spielbaum

Dieser Spielbaum repräsentiert ein beliebiges Zwei-Personen-Nullsummenspiel. Deshalb sind die Bewertungen in den Blättern nicht nur $\{-1, 0, 1\}$.



Strategien

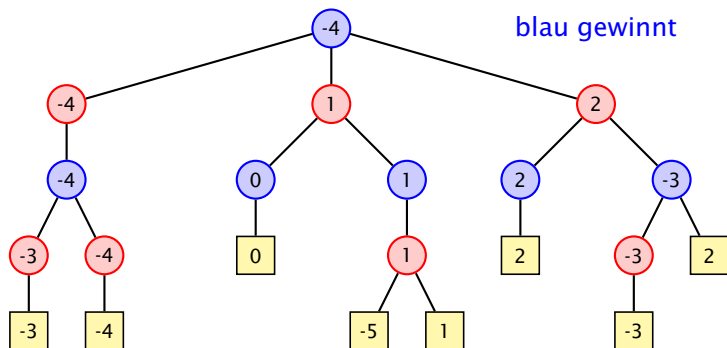
Eine **Strategie** ist eine Vorschrift, die uns in jeder (erreichbaren) Konfiguration mitteilt, welchen Nachfolger wir auswählen sollen.

Eine **optimale** Strategie ist eine, deren Anwendung garantiert zu einer Endkonfiguration führt, deren Wert mindestens so groß ist wie der berechnete garantierte Gewinn.

Eine **akzeptable** Strategie ist eine, deren Anwendung einen Verlust des Spiels verhindert, wann immer das möglich ist ...

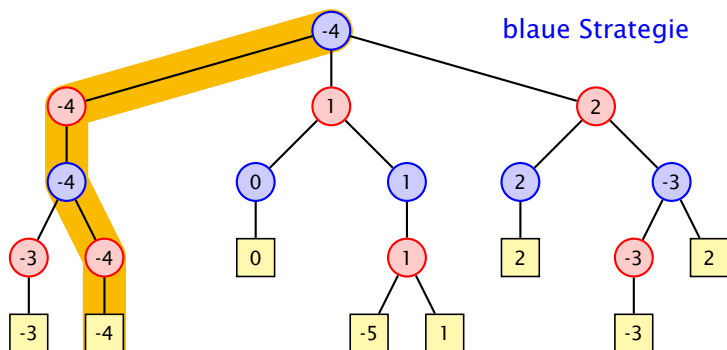
Beispiel — Spielbaum

Dieser Spielbaum repräsentiert ein beliebiges Zwei-Personen-Nullsummenspiel. Deshalb sind die Bewertungen in den Blättern nicht nur $\{-1, 0, 1\}$.



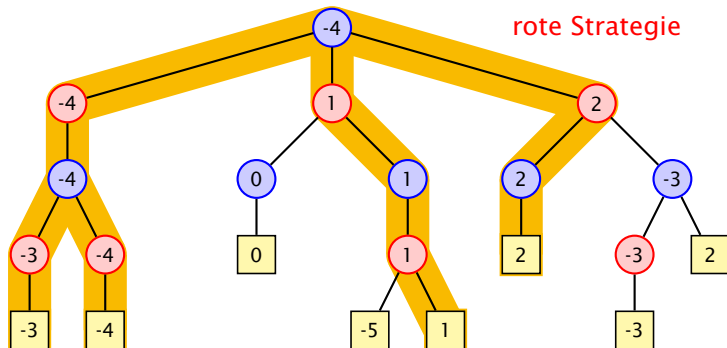
Beispiel — Spielbaum

Dieser Spielbaum repräsentiert ein beliebiges Zwei-Personen-Nullsummenspiel. Deshalb sind die Bewertungen in den Blättern nicht nur $\{-1, 0, 1\}$.



Beispiel — Spielbaum

Dieser Spielbaum repräsentiert ein beliebiges Zwei-Personen-Nullsummenspiel. Deshalb sind die Bewertungen in den Blättern nicht nur $\{-1, 0, 1\}$.



Implementierung - SpielbaumA

```
1 public class GameTreeNode implements PlayConstants {
2     static public int nodeCount = 0; // statistics
3
4     private int value;
5     private int bestMove = -1; // not necessarily unique
6     private GameTreeNode[] child = new GameTreeNode[9];
7
8     public int value() { return value; }
9     public int bestMove() { return bestMove; }
10    public GameTreeNode selectChild(int move) {
11        return child[move];
12    }
13 // continued...
```

- ▶ das interface **PlayConstants** definiert die Konstanten
MIN = -1, **NONE** = 0, **MAX** = 1;

Berechnung des Spielbaums

- ▶ `GameTreeNode` repräsentiert einen Knoten des Spielbaums;
- ▶ `value` : Gewinn des Knotens;
- ▶ `child` : Array von Nachfolgern im Baum;
- ▶ `bestMove` : Index des besten Zuges; `-1` im Endknoten

Der Knoten speichert die zugehörige Stellung nicht; diese ist nur innerhalb des Konstruktors verfügbar.

- ▶ Der Konstruktor `GameTreeNode(PlayGround ground, int type)` baut rekursiv einen Spielbaum beginnend bei Stellung `ground` auf.
- ▶ `type` (`MIN` oder `MAX`) ist der Typ des Wurzelknotens.

Implementierung - SpielbaumA

```
14     public GameTreeNode(PlayGround g, int type) {
15         nodeCount++;
16         // did I lose already?
17         if (g.won(-type)) { value = -type; return; }
18         // no more moves --> no winner
19         PossibleMoves moves = new PossibleMoves(g);
20         if (!moves.hasNext()) { value = NONE; return; }
21         // very low/high; makes sure the first move
22         // improves on this
23         value = -2*type;
24         while (moves.hasNext()) {
25             int m = moves.next();
26             child[m] = new GameTreeNode(new
                PlayGround(g).makeMove(m,type), -type);
27             if (type==MIN && child[m].value()<value
28                 type==MAX && child[m].value()>value) {
29                 value = child[m].value();
30                 bestMove = m;
31         }     }     }     } // end if, while, constructor, class
```

Implementierung – SpielbaumA

Die einzigen TicTacToe-spezifischen Informationen in der Klasse `GameTreeNode` sind

- ▶ die Größe des Arrays `child`; wir wissen, dass wir höchstens 9 Züge machen können
- ▶ wir kennen die Gewinnwerte:

`MIN` gewinnt : `value = -1`

unentschieden : `value = 0`

`MAX` gewinnt : `value = +1`

deswegen könne wir z.B. `value` mit `-2*type` initialisieren.

Die anderen Regeln, werden in die Klasse `PlayGround` ausgelagert.

Klasse Playground – Kodierung

Das Array `arena` enthält die Spielstellung z.B.:

`arena = {1,0,-1,0,-1,0,1,-1,1}` bedeutet:

0	1	2
3	4	5
6	7	8

Koordinaten

○		×
	×	
○	×	○

Konfiguration

1	0	-1
0	-1	0
1	-1	1

Kodierung

Die Klasse Playground

```
1 public class Playground implements PlayConstants {
2     private int[] arena;
3     // Default-Initialisierer setzt int=0=NONE
4     public Playground() { arena = new int[9]; }
5     public Playground(Playground g) {
6         arena = (int[]) g.arena.clone();
7     }
8     public boolean free(int place) {
9         return (arena[place] == NONE);
10    }
11    public Playground makeMove(int place, int who) {
12        arena[place] = who;
13        return this;
14    }
15
16    public boolean won(int who) {...}
17    public String toString() {...}
18 }
```

Klasse PossibleMoves

Die Klasse `PossibleMoves` wird mit einer Stellung initialisiert, und gibt einen `Iterator`, der über die freien Positionen iteriert.

Klasse PossibleMoves

Throwing an `UnsupportedOperationException()`, didn't fit on the slide.

```
1 import java.util.Iterator;
2 public class PossibleMoves implements Iterator<Integer> {
3     private Playground ground;
4     private int next;
5     public PossibleMoves(Playground g) {
6         ground = g; next = 0;
7     }
8     public boolean hasNext() {
9         for (; next<9; next++)
10            if (ground.free(next)) return true;
11        return false;
12    }
13    public Integer next() {
14        for(; next<9; next++)
15            if (ground.free(next)) return next++;
16        throw new NoSuchElementException();
17    }
18    public void remove() {} // do nothing; BAD CODE!
19 }
```

Using an Iterator, together with autoboxing features to convert between `Integer` and `int` is possibly not a good idea in such a performance-relevant section of the code...

Klasse Game

Die Klasse `Game` sammelt notwendige Datenstrukturen und Methoden zur Durchführung des Spiels:

```
1 public class Game implements PlayConstants {
2     public Playground ground = new Playground();
3     private GameTreeNode gameTree;
4     private int moveCount = 0;
5     private int playerToMove = MIN;
6     public int nextMove() {
7         if (gameTree == null) {
8             gameTree.nodeCount = 0;
9             gameTree = new GameTreeNode(ground,
10                                     playerToMove);
11             System.out.println("generate tree... (" +
12                               gameTree.nodeCount + " nodes)");
13         }
14         return gameTree.bestMove();
15     } // continued...
```

Klasse Game

```
16     public void makeMove(int place) {
17         moveCount++;
18         ground.makeMove(place, playerToMove);
19         playerToMove = -playerToMove;
20         gameTree = null; // invalidate gameTree
21     }
22     // convenient functions
23     public void makeBestMove() { makeMove(nextMove()); }
24     public boolean finished() {return (moveCount == 9);}
25     public boolean possibleMove(int place) {
26         return (ground.free(place));
27     }
```

Klasse Game

```
28     public static void main(String[] args) {
29         Game game = new Game();
30         for (int i = 0; i < 9; ++i) {
31             if (game.nextMove() != -1) {
32                 game.makeBestMove();
33                 System.out.println(game.ground);
34             }
35             else System.out.println("no more moves");
36         }
37     }
38 } // end of class Game
```

Output – Variante A

generate tree... (549946 nodes)

x..

...

...

generate tree... (59705 nodes)

x..

.o.

...

generate tree... (7332 nodes)

xx.

.o.

...

generate tree... (935 nodes)

xxo

.o.

...

generate tree... (198 nodes)

xxo

.o.

x..

generate tree... (47 nodes)

xxo

oo.

x..

generate tree... (14 nodes)

xxo

oox

x..

generate tree... (5 nodes)

xxo

oox

xo.

generate tree... (2 nodes)

xxo

oox

xox

Wie können wir das effizienter gestalten?

1. Den Spielbaum nur einmal berechnen, anstatt jedesmal neu.
gewinnt nicht sehr viel...
2. Wenn wir z.B. als MaxPlayer schon einen Wert von 1 erreicht haben, brauchen wir nicht weiterzusuchen...

Spielbaum ist dann unvollständig; Wiederverwendung schwierig...

⇒ Baue keinen vollständigen Spielbaum; nur Wert und Zug an der Wurzel müssen korrekt sein.

Implementierung - SpielbaumB

```
14     public GameTreeNode(PlayGround g, int type) {
15         nodeCount++;
16         if (g.won(-type)) { value = -type; return; }
17         PossibleMoves moves = new PossibleMoves(g);
18         if (!moves.hasNext()) { value = NONE; return; }
19
20         value = -2*type;
21         while (moves.hasNext()) {
22             int m = moves.next();
23             child[m] = new GameTreeNode(new
                Playground(g).makeMove(m,type), -type);
24             if (type==MIN && child[m].value()<value
25                 type==MAX && child[m].value()>value) {
26                 value = child[m].value();
27                 bestMove = m;
28                 // we won; don't search further
29                 if (value == type) return;
30             } } } // end if, while, constructor, class
```

Output – Variante B

generate tree... (94978 nodes)

x..

...

...

generate tree... (3763 nodes)

x..

.o.

...

generate tree... (1924 nodes)

xx.

.o.

...

generate tree... (61 nodes)

xxo

.o.

...

generate tree... (50 nodes)

xxo

.o.

x..

generate tree... (17 nodes)

xxo

oo.

x..

generate tree... (10 nodes)

xxo

oox

x..

generate tree... (5 nodes)

xxo

oox

xo.

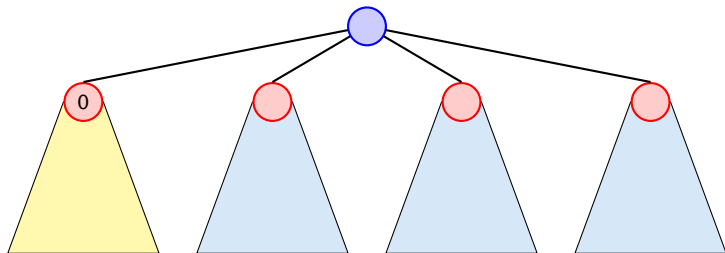
generate tree... (2 nodes)

xxo

oox

xox

Effizienz - Alpha-Beta-Pruning



Ein Wert > 0 , innerhalb der blauen Teilbäume kann nicht zu Wurzel gelangen (Wurzel ist MIN-Knoten). Deshalb kann ein MAX-Knoten innerhalb dieser Bäume abbrechen, wenn er einen Wert ≥ 0 erzielt hat.

Analog für MIN.

Einige Werte im Spielbaum sind dann nicht korrekt; aber das wirkt sich nicht auf den Wert an der Wurzel aus. Man muss dafür sorgen, dass **bestMove** an der Wurzel nicht auf einen Knoten mit einem inkorrekten Wert zeigt. Wenn z.B. zwei Knoten mit Wert 0 existieren (ein echter, und einer dessen wirklicher Wert größer sein könnte, muss **bestMove** auf den echten zeigen).

Implementierung - SpielbaumC

Änderungen am Konstruktor:

```
private GameTreeNode(PlayGround g, int type,  
                    int goalMin, int goalMax) {  
    nodeCount++;  
    if (g.won(-type)) { value = -type; return; }  
    PossibleMoves moves = new PossibleMoves(g);  
    if (!moves.hasNext()) { value = NONE; return; }  
  
    value = -2*type;  
    while (moves.hasNext()) {  
        int m = moves.next();  
        child[m] = new GameTreeNode(new PlayGround(g)  
                                    .makeMove(m, type), -type, goalMin, goalMax);  
    }  
    // continued...
```

Implementierung - SpielbaumC

Dadurch dass wir `<` und `>` benutzen (nicht `<=`, `>=`), stellen wir sicher das `bestMove` nicht auf einen Knoten mit inkorrektem Wert zeigt.

```
if (type == MIN && child[m].value() < value  
    type == MAX && child[m].value() > value) {  
    value = child[m].value();  
    bestMove = m;
```

```
// leave if goal reached
```

```
if (type == MIN && value <= goalMin) return;
```

```
if (type == MAX && value >= goalMax) return;
```

```
// update goals
```

```
if (type == MIN) goalMax = value;
```

```
if (type == MAX) goalMin = value;
```

```
} } } // end if, while, constructor
```

```
public GameTreeNodeC(PlayGround g, int t) {
```

```
    this(new PlayGround(g), t, MIN, MAX);
```

```
}
```

Die Schnittstelle der Klasse hat sich nicht geändert!

Output – Variante C

generate tree... (18014 nodes)

x..

...

...

generate tree... (1957 nodes)

x..

.o.

...

generate tree... (764 nodes)

xx.

.o.

...

generate tree... (61 nodes)

xxo

.o.

...

generate tree... (50 nodes)

xxo

.o.

x..

generate tree... (17 nodes)

xxo

oo.

x..

generate tree... (10 nodes)

xxo

oox

x..

generate tree... (5 nodes)

xxo

oox

xo.

generate tree... (2 nodes)

xxo

oox

xox

Effizienz

Bis jetzt haben wir bei den Effizienzsteigerungen das eigentliche Spiel ignoriert.

- ▶ Wenn wir einen Zug haben, der sofort gewinnt, kennen wir den Wert des Knotens und den besten Zug.
- ▶ Falls das nicht zutrifft, aber der Gegner am Zug einen sofortigen Gewinn hätte, dann ist der beste Zug dieses zu verhindern. D.h. wir kennen den besten Zug aber noch nicht den Wert des Knotens.

`int forcedWin(int player)` in der Klasse `PlayGround` überprüft ob `player` einen Zug mit sofortigem Gewinn hat.

- ▶ falls ja, gibt es diesen Zug zurück
- ▶ sonst gibt es `-1` zurück

Implementierung - SpielbaumD

```
private GameTreeNode(PlayGround g, int type,
                    int goalMin, int goalMax) {
    nodeCount++;
    if (g.won(-type)) { value = -type; return; }
    PossibleMoves moves = new PossibleMoves(g);
    if (!moves.hasNext()) { value = NONE; return; }
    int m;
    if ((m=g.forcedWin(type)) != -1) {
        bestMove = m;
        value = type;
        return;
    }
    if ((m=g.forcedWin(-type)) != -1) {
        bestMove = m;
        child[m] = new GameTreeNodeD(new PlayGround(g)
                                    .makeMove(m, type), -type, goalMin, goalMax);
        value = child[m].value();
        return;
    } // continued...
```

Implementierung - SpielbaumD

```
value = -2*type;
while (moves.hasNext()) {
    m = moves.next();
    child[m] = new GameTreeNode(new Playground(g)
        .makeMove(m,type),-type,goalMin,goalMax);
    if (type == MIN && child[m].value() < value
        type == MAX && child[m].value() > value) {
        value = child[m].value();
        bestMove = m;

        // leave if goal reached
        if (type == MIN && value <= goalMin) return;
        if (type == MAX && value >= goalMax) return;
        // update goals
        if (type == MIN) goalMax = value;
        if (type == MAX) goalMin = value;
    } } } // end if, while, constructor
```

Output – Variante D

generate tree... (2914 nodes)

x..

...

...

generate tree... (271 nodes)

x..

.o.

...

generate tree... (106 nodes)

xx.

.o.

...

generate tree... (9 nodes)

xxo

.o.

...

generate tree... (8 nodes)

xxo

.o.

x..

generate tree... (7 nodes)

xxo

oo.

x..

generate tree... (6 nodes)

xxo

oox

x..

generate tree... (5 nodes)

xxo

oox

xo.

generate tree... (2 nodes)

xxo

oox

xox

Was könnte man noch tun?

- ▶ Eröffnungen; für die initialen Konfigurationen den besten Antwortzug speichern.
- ▶ Ausnutzen von Zugumstellungen. Überprüfen ob man die aktuelle Stellung schon irgendwo im Spielbaum gesehen hat (Hashtabelle).
- ▶ Ausnutzen von Symmetrien.

Aber für Tic-Tac-Toe wäre dieses wohl overkill...

Für komplexe Spiele wie Schach oder Go ist eine exakte Auswertung des Spielbaums völlig illusorisch...