

Inhaltsverzeichnis

1	Fragen	2
1.1	Klausurrelevant	2
1.2	Design by Contract	2
1.2.1	JML	2
1.3	Compiler	2
1.3.1	First und Follow Mengen	2
1.3.2	Java-Bytecode	2
2	Theoretische Grundlagen	3
2.1	Äquivalenz	3
2.1.1	α -Äquivalenz (Folie: 20_(166))	3
2.1.2	η -Äquivalenz (Folie: 20_(167))	3
2.1.3	Divergenz (Folie: 20_(182))	3
2.1.4	Rekursionsoperator (Folie: 20_(184))	3
2.1.5	Auswertungsstrategien	3
2.1.6	Church-Zahlen (Folie: 20_(179ff))	3
2.1.7	Rekursionsoperator Y (Folie: 20_(184))	4
2.2	Typinferenz	4
3	Prolog	5
3.1	Vergleich arithmetischer Ausdrücke	5
3.2	Funktionen für Listen	5
4	Parallelprogrammierung	7
4.1	Grundlagen	7
4.1.1	Coffman-Bedingungen (Deadlock-Bedingungen) (Folie: 54_(47))	7
4.1.2	Flynn's Taxonomy (Folie: 51_(13)) (Grafiken von SS 14, Nr. 6)	7
4.1.3	Beschleunigung: Amdahl's Law (Folie: 51_(17))	7
4.2	MPI	8
4.3	Java	9
4.3.1	Runnable	9
4.3.2	Callable + Future	10
4.3.3	RecursiveAction / ForkJoinPool	11
4.3.4	RecursiveTask / ForkJoinPool	12
4.3.5	AkkaActor tell()	13
4.3.6	AkkaActor ask()	14
5	Design by Contract	15
5.1	JML	15
5.1.1	Basic Syntax	15
6	Compiler	16
6.1	Java-Bytecode The Java Virtual Machine Specification	16
6.1.1	Präfixe / Suffixe	16
6.1.2	Lesen / Schreiben von lokalen Variablen	16
6.1.3	Lesen / Schreiben von Feldern	17
6.1.4	Sprungbefehle	17
6.1.5	Methodenaufrufe	19
6.1.6	Objekterzeugung	19
6.1.7	Arithmetische Berechnungen	20

Kapitel 1: Fragen

1.1 Klausurrelevant

- X10 klausurrelevant?

1.2 Design by Contract

1.2.1 JML

- Objekte non-Null Default: Reference
- muss die Precondition Availability rule (Folie: 60_(25)) erfüllt / eingehalten werden? Oder nur Best Practice?

1.3 Compiler

1.3.1 First und Follow Mengen

- $Follow_k(x)$ auch wie folgt definierbar?:

$$\begin{aligned} Follow_k(x) &= \{\cup First_k(y) | \exists m, y \in (V \cup \Sigma)^* : S \Rightarrow^* mxy\} \\ &= \{u \in \Sigma^k | \exists m, y \in (V \cup \Sigma)^* : \left(S \Rightarrow^* mxy \right) \wedge \left(u \in First_k(y) \right)\} \text{ (große Klammern hinzugefügt)} \\ &= \{u \in \Sigma^k | \exists m, y \in (V \cup \Sigma)^* : S \Rightarrow^* mxy \wedge u \in First_k(y)\} \text{ (Folie: 71_(379))} \end{aligned}$$

- wie ist $Follow_k(x)$ definiert, wenn

$$S \not\Rightarrow mxy$$

d.h. wenn „x“ nie von S aus abgebildet wird? (bspw. $Follow_k(S)$, d.h. S ist nur Startzustand, wird aber durch keine Produktion / Abbildung erreicht?)

Annahme: $Follow_k(x) = \{\#\}$

- gilt $\# \in Follow_k(S)$ immer?

1.3.2 Java-Bytecode

- was passiert wenn Typ der Stackvariablen nicht mit dem erwarteten Operationstyp übereinstimmt?
z.B: oberste Variable auf Stack ist „3.5“ (Double) und istore_3 wird ausgeführt
⇒ Exception?
- Unterschied zwischen „bipush“ und „ldc“ Befehlen
- wann „ldc“ Befehl verwenden? (Folie: 73_(436))

Kapitel 2: Theoretische Grundlagen

2.1 Äquivalenz

2.1.1 α -Äquivalenz (Folie: 20_(166))

gleicher Ausdruck / Funktion, nur andere Namen \Rightarrow durch Umbenennung Transformation von t_1 zu t_2 möglich

2.1.2 η -Äquivalenz (Folie: 20_(167))

Zwei Funktionen sind gleich, falls Ergebnis gleich für alle Argumente

2.1.3 Divergenz (Folie: 20_(182))

Terme, die nicht zu einer Normalform auswerten, divergieren. Diese modellieren unendliche Ausführungen.

2.1.4 Rekursionsoperator (Folie: 20_(184))

$$Y = \lambda f. (\lambda x. f (x x)) (\lambda x. f (x x))$$

mit

$$f (Y f) \stackrel{\beta}{=} Y f$$

$\stackrel{\beta}{=}$ Bedeutung: Gleich nach vollständiger β -Reduktion?

2.1.5 Auswertungsstrategien

- Volle β -Reduktion (Folie: 20_(177)): Jeder Redex kann jederzeit reduziert werden
- Normalenreihenfolge (Folie: 20_(177)): Immer der linkeste äußerste Redex (der Parameter zur Verfügung hat) wird reduziert
- Call-By-Name (Folie: 20_(189)): Reduziere linken äußersten Redex, der nicht von einem λ umgeben ist
 \Rightarrow Reduziere Argumente erst, wenn benötigt
- Call-By-Value (Folie: 20_(190)): Reduziere linken äußersten Redex, der nicht von einem λ umgeben ist und dessen Argument ein Wert (d.h. max. ausgewertet, darf auch ein Lambda-Ausdruck sein) ist
 \Rightarrow werte Argumente vor Funktionsaufruf aus, dann setze max. ausgewertete Argumente ein

2.1.6 Church-Zahlen (Folie: 20_(179ff))

- Zahlen:

$$\begin{aligned}c_0 &= \lambda s. \lambda z. z \\c_1 &= \lambda s. \lambda z. s z \\c_2 &= \lambda s. \lambda z. s (s z) \\&\vdots \\c_n &= \lambda s. \lambda z. s^n z\end{aligned}$$

- Operationen
 - Nachfolgerfunktion $succ = \lambda n. \lambda s. \lambda z. s (n s z)$
 - Addition $plus = \lambda m. \lambda n. \lambda s. \lambda z. m s (n s z)$
 - Multiplikation $times = \lambda m. \lambda n. \lambda s. n (m s) \stackrel{\eta}{=} \lambda m. \lambda n. \lambda s. \lambda z. n (m s) z$
 - Potenzieren $exp = \lambda m. \lambda n. n m \stackrel{\eta}{=} \lambda m. \lambda n. \lambda s. \lambda z. n m s z$
 - Subtraktion $sub = \lambda m. \lambda n. n pred m$ (ÜB 5, Nr. 4)
 - * $pair = \lambda a. \lambda b. \lambda f. f a b$
 - * $fst = \lambda p. p(\lambda a. \lambda b. a)$

- * $snd = \lambda p. p(\lambda a. \lambda b. b)$
- * $next = \lambda p. pair\ (snd\ p)\ (succ\ (snd\ p))$
- * $pred = \lambda n. fst\ (n\ next\ (pair\ c_0\ c_0))$
- Vergleichsoperation „lessEq $m \leq n$ “ $lessEq = \lambda m. \lambda n. isZero\ (sub\ m\ n)$ (ÜB 6, Nr. 2)
- Vergleichsoperation „greaterEq $m \geq n$ “ $greaterEq = \lambda m. \lambda n. isZero\ (sub\ n\ m)$
- Vergleichsoperation „eq $m == n$ “ $eq = \lambda m. \lambda n. (\lambda a. a)\ (lessEq\ m\ n)\ (greaterEq\ m\ n)\ c_{false}$
- $isZero = \lambda n. n\ (\lambda p. c_{false})\ c_{true}$ (SS 14)
- boolsche Werte
 - True $c_{true} = \lambda t. \lambda f. t$
 - False $c_{false} = \lambda t. \lambda f. f$

2.1.7 Rekursionsoperator Y (Folie: 20_(184))

$$Y = \lambda f. (\lambda x. f(x\ x))(\lambda x. f(x\ x))$$

- Rekursionsoperator Y ist nicht typisierbar (Folie: 21_(205))

2.2 Typinferenz

Bei Let-Polymorphismus angepasste Regeln von VAR und ABS (Folie: 22_(211))

Regel	Constraint	Bsp.
$CONST \frac{c \in Const}{\Gamma \vdash c : \tau_c}$	$CONST \frac{c \in Const}{\Gamma \vdash c : \alpha_1} :$ $\alpha_1 = Typ(c)$	$CONST \frac{1 \in Const}{\Gamma \vdash 1 : \alpha_1} :$ $\alpha_1 = Typ(1) = Int$
$VAR \frac{\Gamma(x) = \tau}{\Gamma \vdash x : \tau}$	$VAR \frac{(x : \alpha_1)(x) = \alpha_2}{(x : \alpha_1) \vdash x : \alpha_2} :$ $\alpha_1 = \alpha_2$	
$ABS \frac{\Gamma, x : \tau_1 \vdash t : \tau_2}{\Gamma \vdash \lambda x. t : \tau_1 \rightarrow \tau_2}$	$ABS \frac{\Gamma, x : \alpha_2 \vdash t : \alpha_3}{\Gamma \vdash \lambda x. t : \alpha_1} :$ $\alpha_1 = \alpha_2 \rightarrow \alpha_3$	
$APP \frac{\Gamma \vdash t_1 : \tau_2 \rightarrow \tau \quad \Gamma \vdash t_2 : \tau_2}{\Gamma \vdash t_1\ t_2 : \tau}$	$APP \frac{\Gamma \vdash t_1 : \alpha_2 \quad \Gamma \vdash t_2 : \alpha_3}{\Gamma \vdash t_1\ t_2 : \alpha_1} :$ $\alpha_2 = \alpha_3 \rightarrow \alpha_1$	
$LET \frac{\Gamma \vdash t_1 : \tau_1 \quad \Gamma, x : ta(\tau_1, \Gamma) \vdash t_2 : \tau_2}{\Gamma \vdash let\ x=t_1\ in\ t_2 : \tau_2}$	$LET \frac{\Gamma \vdash t_1 : \alpha_2 \quad \Gamma, x : ta(\alpha_2, \Gamma) \vdash t_2 : \alpha_3}{\Gamma \vdash let\ x=t_1\ in\ t_2 : \alpha_1} :$ $\alpha_2 = \alpha_3$	

Kapitel 3: Prolog

3.1 Vergleich arithmetischer Ausdrücke

- gleich: „= = “
- ungleich: „= \backslash “
- kleiner: „ < “
- kleiner-gleich: „= < “
- größer: „ > “
- größer-gleich: „= > “

3.2 Funktionen für Listen

- member (Folie: 31_(243)): Überprüfe ob Element in Liste enthalten

```
member(X, [X|T]).  
member(X, [Y|T]):- member(X, T).
```

- append (Folie: 31_(243)): Hänge eine Liste an eine andere

```
append([], L, L).  
append([X|R], L, [X|T]):- append(R, L, T).
```

„Die Konkatenation von [] und L ist L. Wenn die Konkatenation von R und L die Liste T ergibt, dann ergibt die Konkatenation von [X—R] und L die Liste [X—T].“

- reverse (Folie: 31_(245)):

```
reverse([], []).  
reverse([X|R], Y):- reverse(R, Y1), append(Y1, [X], Y).
```

effizienter:

```
reverse(X,Y):- reverse(X, [], Y).  
reverse([], Y, Y).  
reverse([X|R], A, Y):- reverse(R, [X|A], Y).
```

- Quicksort (Folie: 31_(247)):

```
qsort([], []).  
qsort([X|R], Y):- split(X,R,R1,R2),  
                  qsort(R1,Y1),  
                  qsort(R2,Y2),  
                  append(Y1,[X|Y2],Y).  
  
split(X,[], [], []).  
split(X,[H|T],[H|R],Y):- X>H, split(X,T,R,Y).  
split(X,[H|T],R,[H|Y]):- X<=H, split(X,T,R,Y).
```

- Listenpermutation (Folie: 31_(248)):

```
permute([], []).  
permute([X|R], P):- permute(R,P1), append(A,B,P1), append(A, [X|B], P).
```

- lösche alle Elemente X aus Liste (Üb 8, Nr. 3):

```
del([], -, []).  
del([X|T1], X, L2):- del(T1, X, L2).  
del([Y|T1], X, [Y|T2]):- del(T1, X, T2), not(X=Y).
```

- Listenlänge (WS 12/13, Nr. 3a)

```
length([], 0).  
length([_|R], NewLength):- length(R, Length), NewLength is Length +1.
```

- Test auf Duplikate:

```
noDuplicat es ([ ] ).
noDuplicat es ([H|T]):- not (member (H,T) ), noDuplicat es (T).
```

- Entferne aufeinanderfolgende Duplikate:

```
removeDuplicat es ([ ] , [ ] ).
removeDuplicat es ([H|[H|T] ] , L):- removeDuplicat es ([H|T] ,L).
removeDuplicat es ([H|T] , [H|L]):- removeDuplicat es (T,L).
```

- Entferne alle Duplikate (auch wenn doppelte Elemente nicht direkt hintereinander sind):

```
removeAllDuplicat es ([ ] , [ ] ).
removeDuplicat es ([H|T] , [H|L]):- deleteElem (T,H,L1) , removeDuplicat es (L1,L).
```

Kapitel 4: Parallelprogrammierung

4.1 Grundlagen

4.1.1 Coffman-Bedingungen (Deadlock-Bedingungen) (Folie: 54_(47))

Wenn alle vier der folgenden Bedingungen zutreffen, liegt ein Deadlock vor. Deadlocks können verhindert werden, indem immer mindestens eine Bedingung nicht erfüllt ist, d.h. nicht alle auf einmal erfüllt sein können.

1. Mutual exclusion

- beschränkter Zugriff auf eine Ressource
- Ressource kann nur mit einer beschränkten Anzahl von Nutzern geteilt werden

2. Hold and wait: Warten auf alle benötigten Ressourcen, während die Kontrolle über bisher zugesprochene (mind. eine) Ressourcen behalten wird.

3. No preemption: Zugewiesene Ressourcen können nur freiwillig zurückgegeben werden, die Rückgabe kann nicht erzwungen werden.

4. Circular Wait: Möglichkeit von Kreisen in Ressourcen-Anfragen Graph:

Zyklische Kette von Prozessen, die bereits Ressourcen (mind. eine) erhalten haben und gleichzeitig auf weitere Ressourcen warten, welche jeweils dem nächsten Prozess in der zirkulären Kette zugesprochen wurden.

4.1.2 Flynn's Taxonomy (Folie: 51_(13)) (Grafiken von SS 14, Nr. 6)

Grafiken korrekt? Vgl. SIMD und MISD

Taxonomie		Graphische Repräsentation
SISD (Single Instruction x Single Data)	von Neumann Architektur: eine Anweisungsreihenfolge auf einem Speicher ausgeführt	
SIMD (Single Instruction x Multiple Data)	Eine Anweisung auf homogene Daten angewendet (z.B. Array) z.B. Vektor Prozessoren von frühen Supercomputern	
MIMD (Multiple Instruction x Multiple Data)	versch. Prozessoren operieren auf versch. Daten z.B. aktuelle Mehrkernprozessoren	
MISD (Multiple Instruction x Single Data)	Mehrere Anweisungen gleichzeitig auf gleichen Daten ausgeführt z.B. redundante Architekturen oder Pipelines in modernen Prozessoren	

4.1.3 Beschleunigung: Amdahl's Law (Folie: 51_(17))

Beschleunigung eines Algo durch die Verwendung von n Prozessoren:

$$S(n) = \frac{T(1)}{T(n)} = \frac{\text{Ausführungszeit mit einem Prozessor}}{\text{Ausführungszeit mit n Prozessoren}}$$

maximale Beschleunigung durch parallele Ausführung mit n Prozessoren:

$$S(n) = \frac{1}{(1-p) + \frac{p}{n}}$$

p : parallelisierbarer prozentualer Anteil des Programms

4.2 MPI

- `MPI_Comm_WORLD`: Standard Communicator
- `MPI_Init(&argc, &argv)`: initialisiere MPI
- `MPI_Finalize()`: Clean-Up nach Ausführung von MPI
- `MPI_Sendrecv_replace`: **Fehlt**
- `MPI_Sendrecv`: **Fehlt**

4.3 Java

4.3.1 Runnable

```
public class DemoRunnable {
    public static void main(String[] args) {
        Thread thread0 = new Thread(new MyRunnable(0));
        Thread thread1 = new Thread(new MyRunnable(1));

        thread0.start();
        thread1.start();
    }

    public static class MyRunnable implements Runnable {
        private int id;

        public MyRunnable(int id) {
            this.id = id;
        }

        public void run() {
            System.out.println("Running: " + this.id);
        }
    }
}

/* Ausgabe:
Running: 0
Running: 1
*/
```

4.3.2 Callable + Feature

```

import java.util.ArrayList;
import java.util.List;
import java.util.concurrent.Callable;
import java.util.concurrent.ExecutionException;
import java.util.concurrent.ExecutorService;
import java.util.concurrent.Executors;
import java.util.concurrent.Future;

public class DemoCallableFuture {
    public static void main(String[] args) {
        ExecutorService executorService = Executors.newFixedThreadPool(4);
        List<Future<String>> futures = new ArrayList<Future<String>>();

        for (int i = 0; i < 2; i++) {
            futures.add(executorService.submit(new MyCallable(i)));
        }

        for (Future<String> future : futures) {
            try {
                String result = future.get();
                System.out.println(result);
            } catch (InterruptedException e) {
                //TODO: handle exception
            } catch (ExecutionException e){
                //TODO: handle exception
            }
        }

        executorService.shutdown();
    }

    public static class MyCallable implements Callable<String> {
        private int id;

        public MyCallable(int id) {
            this.id = id;
        }

        public String call() {
            return "Running:_" + this.id;
        }
    }
}

/* Ausgabe:
Running: 0
Running: 1
*/

```

4.3.3 RecursiveAction / ForkJoinPool

```

import java.util.ArrayList;
import java.util.List;
import java.util.concurrent.ForkJoinPool;
import java.util.concurrent.RecursiveAction;

public class DemoRecursiveAction {
    public static void main(String[] args) {
        MyRecursiveAction action = new MyRecursiveAction(4, "none");
        ForkJoinPool pool = new ForkJoinPool();
        pool.invoke(action);
    }

    public static class MyRecursiveAction extends RecursiveAction {
        private static final long serialVersionUID = 1L;
        private int workload;
        private String side;

        public MyRecursiveAction(int workload, String side) {
            this.workload = workload;
            this.side = side;
        }

        @Override
        protected void compute() {
            if (this.workload > 1) {
                System.out.println("Workload splitted (" + this.side + "): " + this.workload);

                int half = (int) this.workload / 2;
                MyRecursiveAction left = new MyRecursiveAction(half, "left");
                MyRecursiveAction right = new MyRecursiveAction(half, "right");

                left.fork();
                right.compute();
                left.join();
            } else {
                System.out.println("Workload not splitted (" + this.side + "): " + this.workload);
            }
        }
    }
}

/* Ausgabe:
Workload splitted (none): 4
Workload splitted (right): 2
Workload not splitted (right): 1
Workload not splitted (left): 1
Workload splitted (left): 2
Workload not splitted (right): 1
Workload not splitted (left): 1
*/

```

4.3.4 RecursiveTask / ForkJoinPool

```

import java.util.ArrayList;
import java.util.List;
import java.util.concurrent.ForkJoinPool;
import java.util.concurrent.RecursiveTask;

public class DemoRecursiveTask {
    public static void main(String[] args) {
        MyRecursiveTask task = new MyRecursiveTask(4, "None");
        ForkJoinPool pool = new ForkJoinPool();
        Long result = pool.invoke(task);

        System.out.println("Final result: " + result);
    }

    public static class MyRecursiveTask extends RecursiveTask<Long> {
        private static final long serialVersionUID = 1L;
        private long workload;
        private String side;

        public MyRecursiveTask(long workload, String side) {
            this.workload = workload;
            this.side = side;
        }

        @Override
        protected Long compute() {
            if (this.workload > 1) {
                int half = (int) this.workload / 2;
                MyRecursiveTask left = new MyRecursiveTask(half, "Left");
                MyRecursiveTask right = new MyRecursiveTask(half, "Right");

                left.fork();
                Long rightResult = right.compute();
                Long leftResult = left.join();
                Long result = leftResult + rightResult;
                System.out.println(this.side + " result (splitted): " + result);
                return result;
            } else {
                System.out.println(this.side + " result (not splitted): " + this.workload);
                return this.workload;
            }
        }
    }
}

/* Ausgabe:
Right result (not splitted): 1
Left result (not splitted): 1
Right result (splitted): 2
Right result (not splitted): 1
Left result (not splitted): 1
Left result (splitted): 2
None result (splitted): 4
Final result: 4

```

*/

4.3.5 AkkaActor tell()

```
package DemoAkkaActor;
```

```
import akka.actor.*;
```

```

public class DemoAkkaActorTell {
    public static void main(String[] args) {
        ActorSystem actorSystem = ActorSystem.create("Demo");
        ActorRef zero = actorSystem.actorOf(Props.create(MyActor.class, 0));
        ActorRef one = actorSystem.actorOf(Props.create(MyActor.class, 1));

        zero.tell("Hello", one);
        one.tell("Hello", zero);
        actorSystem.terminate();
    }

    public static class MyActor extends AbstractActor {
        private int id;

        public MyActor(int id) {
            this.id = id;
        }

        @Override
        public Receive createReceive() {
            return receiveBuilder()
                .match(String.class, this::handleStringMessage)
                .matchAny(message -> unhandled(message))
                .build();
        }

        private void handleStringMessage(String message) {
            System.out.println("Id: " + this.id + " _message: " + message);
            getSender().tell("Hi", ActorRef.noSender());
        }
    }
}

```

```
/* Ausgabe
```

```
Id: 1 message: Hello
```

```
Id: 0 message: Hello
```

```
Id: 0 message: Hi
```

```
Id: 1 message: Hi
```

```
*/
```

4.3.6 AkkaActor ask()

```

package DemoAkkaActor;

import akka.actor.*;
import akka.pattern.Patterns;
import akka.util.Timeout;
import scala.concurrent.Await;
import scala.concurrent.Future;

import java.util.concurrent.TimeUnit;

public class DemoAkkaActorAsk{
    public static void main(String[] args) {
        ActorSystem actorSystem = ActorSystem.create("Demo");
        ActorRef actor = actorSystem.actorOf(Props.create(MyActor.class));

        Integer[] values = new Integer[] {1,2};
        Timeout timeout = new Timeout(1, TimeUnit.SECONDS);
        Future<Object> future = Patterns.ask(actor, values, timeout);

        try {
            int result = (Integer) Await.result(future, timeout.duration());
            System.out.println("Result: " + result);
        } catch (Exception e) {
            e.printStackTrace();
        }

        actorSystem.terminate();
    }

    public static class MyActor extends AbstractActor {
        private int id;

        @Override
        public Receive createReceive() {
            return receiveBuilder()
                .match(Integer[].class, this::handleIntegerMessage)
                .matchAny(message -> unhandled(message))
                .build();
        }

        private void handleIntegerMessage(Integer[] message) {
            int sum = 0;
            for (int val : message){
                sum+=val;
            }
            getSender().tell(sum, getSelf());
        }
    }
}

/* Ausgabe:
Result: 3
*/

```

Kapitel 5: Design by Contract

5.1 JML

5.1.1 Basic Syntax

Syntax	Bedeutung
$a ==> b$	a impliziert b
$a <==>$	a und b äquivalent
$a <!=>$	a und b nicht äquivalent ($a \nleftrightarrow b$)
<code>\result</code>	Ergebnis der Methode
<code>\old(E)</code>	Wert von E, bevor die Methode ausgeführt wurde

`(\forall)`

`(\exists)`

Kapitel 6: Compiler

6.1 Java-Bytecode The Java Virtual Machine Specification

Class-Datei disassembeln: javap

6.1.1 Präfixe / Suffixe

Präfix / Suffix	Operand Typ
i	integer
l	long
s	short
b	byte
c	character
f	float
d	double
a	reference

6.1.2 Lesen / Schreiben von lokalen Variablen

Befehl	Parameter	Beschreibung	Beispiel
iconst_x	$x \in \{0, 1, 2, 3, 4, 5, m1\}$	lädt die int-Konstante x m1 steht für Konstante „-1“	iconst_1 lädt den int-Wert „1“ auf den Stack
TYPE load_x	x: Index der lokalen Variable $x \in \{0, 1, 2, 3\}$ (x gehört zum Befehl, es gibt pro x ein Befehl; d.h. x ist keine Variable)	lädt den Wert der Variable mit Typ „TYPE“ mit Index x auf den Stack	iload_2 lade Wert von der Variable mit Index 2 und dem Typ „Integer“
TYPE store_x	x: Index der Variable $x \in \{0, 1, 2, 3\}$ (x gehört zum Befehl, es gibt pro x ein Befehl; d.h. x ist keine Variable)	speichert den obersten Wert auf dem Stack mit Typ „TYPE“ in Variable mit Index x	istore_2 speichere den obersten Wert auf dem Stack vom Typ „Integer“ in Variable 2
TYPE load x	x: Index der lokalen Variable $0 \leq x \leq 255$ (x mit 1 Byte darstellbar)	lädt den Wert der Variable mit Typ „TYPE“ mit Index x auf den Stack	iload 7 lade Wert von der Variable mit Index 7 und dem Typ „Integer“
TYPE store x	x: Index der lokalen Variable $0 \leq x \leq 255$ (x mit 1 Byte darstellbar)	speichert den obersten Wert auf dem Stack mit Typ „TYPE“ in Variable mit Index x	istore 7 speichere den obersten Wert auf dem Stack vom Typ „Integer“ in Variable 7
bipush const	const: konstanter Wert, der auf den Stack geladen werden soll	Lade den geg. konstanten Wert auf den Stack	bipush 10 Lade den Wert 10 auf den Stack
ldc	Fehlt	Beschreibung	Beispiel

Vergleich „iload x“ vs. „iload x“

- „iload x“ (mit Unterstrich): $x \in \{0, 1, 2, 3\}$ ist ein (einziger) Befehl, ohne Parameter. „x“ ist schon im Opcode enthalten. Der Befehl besteht aus 1 Byte.
- „iload x“ (ohne Unterstrich): $0 \leq x \leq 255$ ist ein Befehl, mit Parameter „x“. x ist nicht im Opcode enthalten. „iload x“ funktioniert mit allen Zahlen x, die in ein Byte passen.

Da die Befehle mit Unterstrich Platz sparen, werden sie von realen Compilern bevorzugt; vorausgesetzt x ist klein genug.

6.1.3 Lesen / Schreiben von Feldern

Befehl	Parameter	Beschreibung	Beispiel
putfield	Fehlt	Beschreibung	Beispiel
getfield	Fehlt	Beschreibung	Beispiel

6.1.4 Sprungbefehle

Befehl	Parameter	Beschreibung	Beispiel
iflE LABEL	LABEL: Label, zu dem gesprungen werden soll, falls die Bedingung erfüllt ist	Wenn der oberste Wert auf dem Stack kleiner oder gleich 0 ist, dann springe zu dem geg. Label	iflE then springe zu Label „then“, (Folie: 73_(411))
ifgE LABEL	LABEL: analog zu „iflE“	Wenn der oberste Wert auf dem Stack größer oder gleich 0 ist, dann springe zu dem geg. Label	ifgE then analog zu „iflE“
ifeq LABEL	LABEL: analog zu „iflE“	Wenn der oberste Wert auf dem Stack gleich 0 ist, dann springe zu dem geg. Label	ifeq then analog zu „iflE“
ifne LABEL	LABEL: analog zu „iflE“	Wenn der oberste Wert auf dem Stack nicht gleich 0 ist, dann springe zu dem geg. Label	ifne then analog zu „iflE“
ifgt LABEL	LABEL: analog zu „iflE“	Wenn der oberste Wert auf dem Stack größer 0 ist, dann springe zu dem geg. Label	ifgt then analog zu „iflE“
iflt LABEL	LABEL: analog zu „iflE“	Wenn der oberste Wert auf dem Stack kleiner 0 ist, dann springe zu dem geg. Label	iflt then analog zu „iflE“
ifnull LABEL	LABEL: analog zu „iflE“	Wenn der oberste Wert (/Referenz) auf dem Stack NULL ist , dann springe zu dem geg. Label	ifnull then analog zu „iflE“
ifnonnull LABEL	LABEL: analog zu „iflE“	Wenn der oberste Wert (/Referenz) auf dem Stack nicht NULL ist , dann springe zu dem geg. Label	ifnonnull then analog zu „iflE“

Befehl	Parameter	Beschreibung	Beispiel
if_icmpeq LABEL	LABEL: analog zu „ifle“	Wenn die beiden obersten Integer-Werte auf dem Stack gleich sind, springe zu dem geg. Label	if_icmpeq then springe zu then (Folie: 73_(426))
if_icmpne LABEL	LABEL: analog zu „ifle“	Wenn die beiden obersten Integer-Werte auf dem Stack nicht gleich sind, springe zu dem geg. Label	if_icmpne then analog zu „if_icmpeq“
if_icmpge LABEL	LABEL: analog zu „ifle“	Wenn der oberste Integer-Wert auf dem Stack gleich oder größer als der zweite ist, springe zu dem geg. Label	if_icmpge then analog zu „if_icmpeq“
if_icmpgt LABEL	LABEL: analog zu „ifle“	Wenn der oberste Integer-Wert auf dem Stack größer als der zweite ist, springe zu dem geg. Label	if_icmpgt then analog zu „if_icmpeq“
if_icmple LABEL	LABEL: analog zu „ifle“	Wenn der oberste Integer-Wert auf dem Stack kleiner oder gleich als der zweite ist, springe zu dem geg. Label	if_icmple then analog zu „if_icmpeq“
if_icmplt LABEL	LABEL: analog zu „ifle“	Wenn der oberste Integer-Wert auf dem Stack kleiner als der zweite ist, springe zu dem geg. Label	if_icmplt then analog zu „if_icmpeq“
goto LABEL	LABEL: analog zu „ifle“	Springe bedingungslos zu dem geg. Label	goto done springe zu Label „done“ (Folie: 73_(411))

6.1.5 Methodenaufrufe

Tabelle 6.1: Quelle

Befehl	Parameter	Beschreibung	Beispiel
invokevirtual #INDEX	INDEX: Index der aufzurufenden Methode	Rufe die nicht statische, public oder protected Methode mit dem geg. Index auf. Die Parameter der Methode werden automatisch in den Operandenstack geladen, beginnend bei Variablen-Index 1 (Variablen-Index 0: this-Variable / Referenz)	invokevirtual #2 Rufe die Methode mit Index 2 auf (Folie: 73_(419))
invokestatic #INDEX	INDEX: analog zu „invokevirtual“	Rufe die statische Methode mit dem geg. Index auf. Die Parameter der Methode werden automatisch in den Operandenstack geladen, beginnend bei Variablen-Index 0 (statische Methode, somit keine „this“-Variable)	invokestatic #2 analog zu „invokevirtual“
invokespecial #INDEX	INDEX: analog zu „invokevirtual“	Rufe die private, Superklassen- oder Konstruktor- Methode mit dem geg. Index auf. Die Parameter der Methode werden automatisch in den Operandenstack geladen, beginnend bei Variablen-Index 1 (Variablen-Index 0: this-Variable / Referenz)	invokespecial #2 analog zu „invokevirtual“
invokeinterface #INDEX	INDEX: analog zu „invokevirtual“	Rufe eine Interface Methode auf, wobei Implementierung des aufrufenden Objektes verwendet wird	invokeinterface #2 analog zu „invokevirtual“
invokedynamic #INDEX	INDEX: analog zu „invokevirtual“	Fehlt	invokedynamic #2 analog zu „invokevirtual“

6.1.6 Objekterzeugung

Befehl	Parameter	Beschreibung	Beispiel
newarray TYPE	TYPE: Typ der Array-Werte	Erstelle ein Array mit Werten des geg. Typ und der Größe des obersten Stack-Wertes.	newarray int Erstelle ein int-Array

6.1.7 Arithmetische Berechnungen

Befehl	Parameter	Beschreibung	Beispiel
TYPE mul	-	multipliziert zwei Werte vom Typ „TYPE“ und lädt das Ergebnis als obersten Wert auf den Stack	imul
TYPE div	-	dividiert zwei Werte vom Typ „TYPE“ und lädt das Ergebnis als obersten Wert auf den Stack	idiv
TYPE add	-	addiert zwei Werte vom Typ „TYPE“ und lädt das Ergebnis als obersten Wert auf den Stack	iadd
TYPE sub	-	subtrahiert zwei Werte vom Typ „TYPE“ und lädt das Ergebnis als obersten Wert auf den Stack	iadd
TYPE neg	-	negiert einen Wert vom Typ „TYPE“ und lädt das Ergebnis als obersten Wert auf den Stack	ineg
iinc index, const	index: Index der zu inkrementierenden Variable const: Wert um den die Variable inkrementiert werden soll	Inkrementiere die Variable mit dem geg. Index um den geg. konstanten Wert	iinc 1, 1 inkrementiere die Variable mit Index 1 um 1 iinc 1, -1 inkrementiere die Variable mit Index 1 um (-1)