Compilerbau

Martin Plümicke

WS 2018/19

Agenda

I. Überblick Vorlesung
- Literatur

II. Compiler Überblick

III. Überblick Funktionale Programmierung
- Einleitung
- Haskell-Grundlagen

IV. Compiler
- Scanner
- Semantische Analyse/Typecheck
- Codegenerierung

Literatur


Bauer and Höllerer.
Übersetzung objektorientierter Programmiersprachen.
Springer-Verlag, 1998, (in german).


Alfred V. Aho, Ravi Lam, Monica S.and Sethi, and Jeffrey D. Ullman.
Compiler: Prinzipien, Techniken und Werkzeuge.
Pearson Studium Informatik. Pearson Education Deutschland, 2. edition, 2008.
(in german).


Alfred V. Aho, Ravi Sethi, and Jeffrey D. Ullman.
Compilers Principles, Techniques and Tools.
Addison Wesley, 1986.


Reinhard Wilhelm and Dieter Maurer.
Übersetzerbau.
Springer-Verlag, 2. edition, 1992.
(in german).

Literatur II

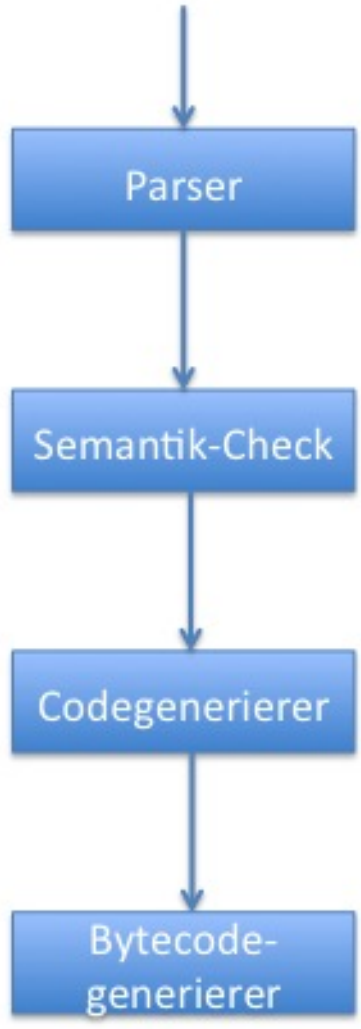

James Gosling, Bill Joy, Guy Steele, Gilad Bracha, and Alex Buckley.
The Java® Language Specification.
The Java series. Addison-Wesley, Java SE 8 edition, 2014.


Tim Lindholm, Frank Yellin, Gilad Bracha, and Alex Buckley.
The Java® Virtual Machine Specification.
The Java series. Addison-Wesley, Java SE 8 edition, 2014.

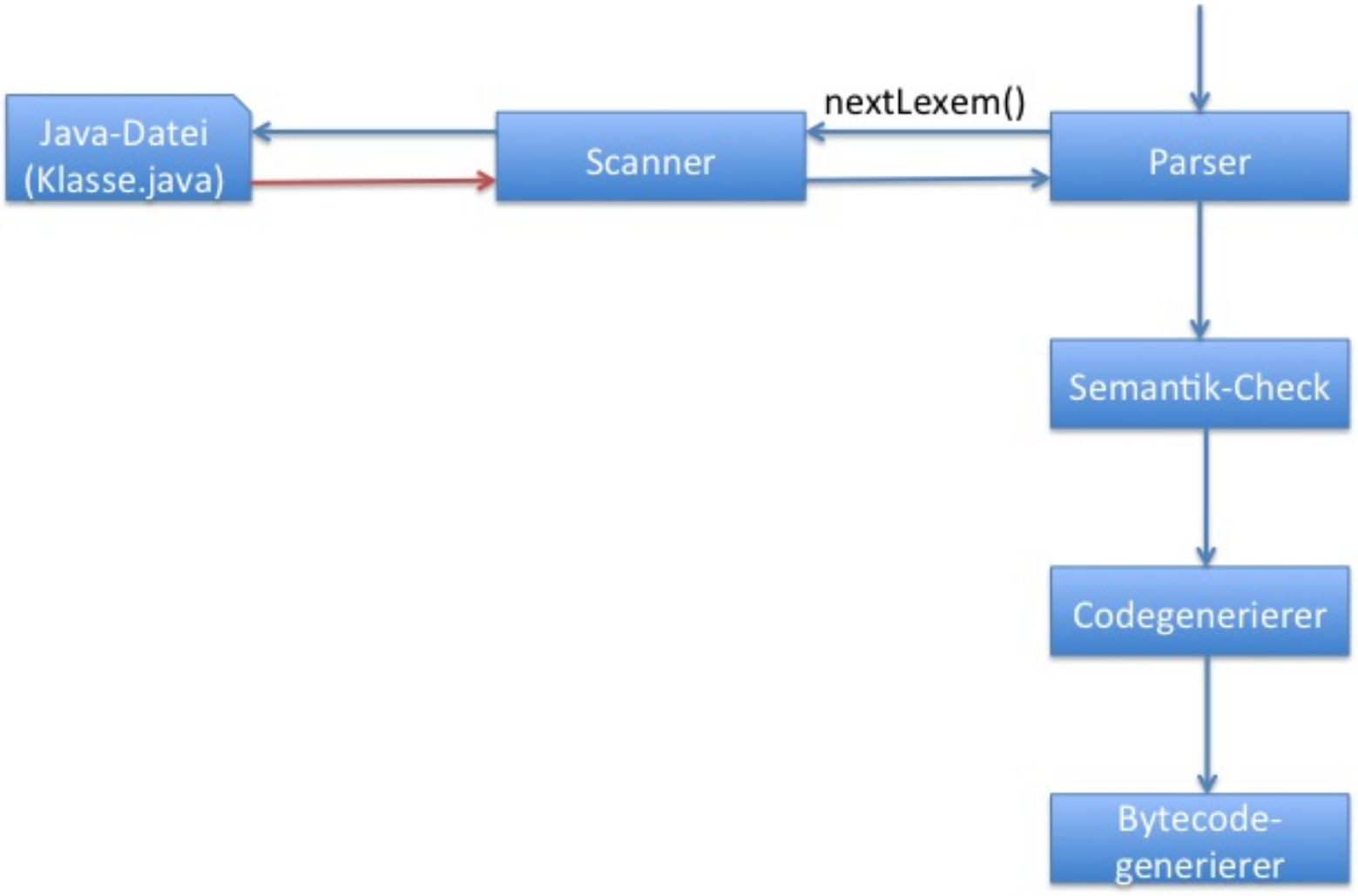

Bryan O'Sullivan, Donald Bruce Stewart, and John Goerzen.
Real World Haskell.
O'Reilly, 2009.


Peter Thiemann.
Grundlagen der funktionalen Programmierung.
Teubner, 1994.

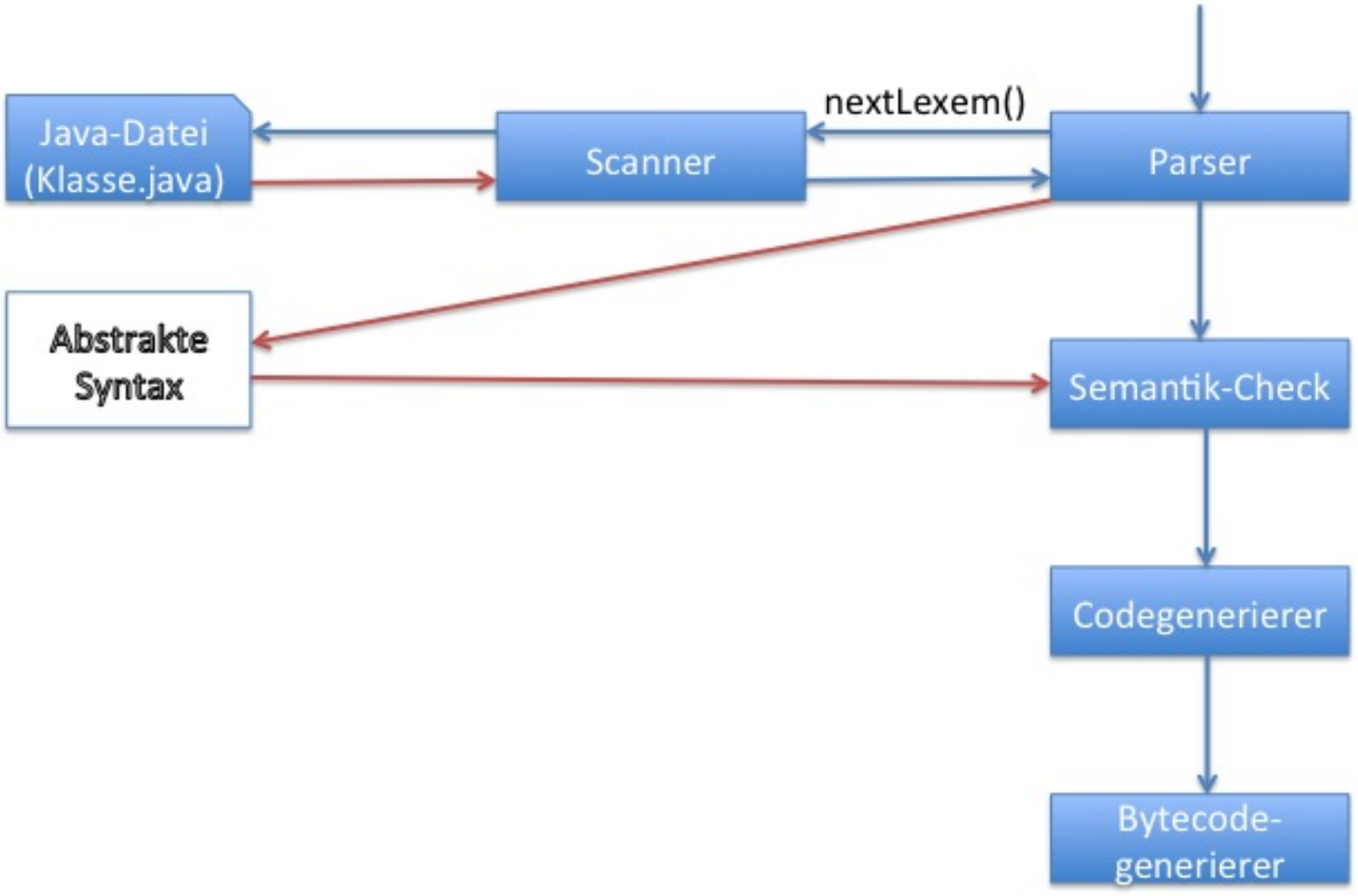
Compiler Überblick



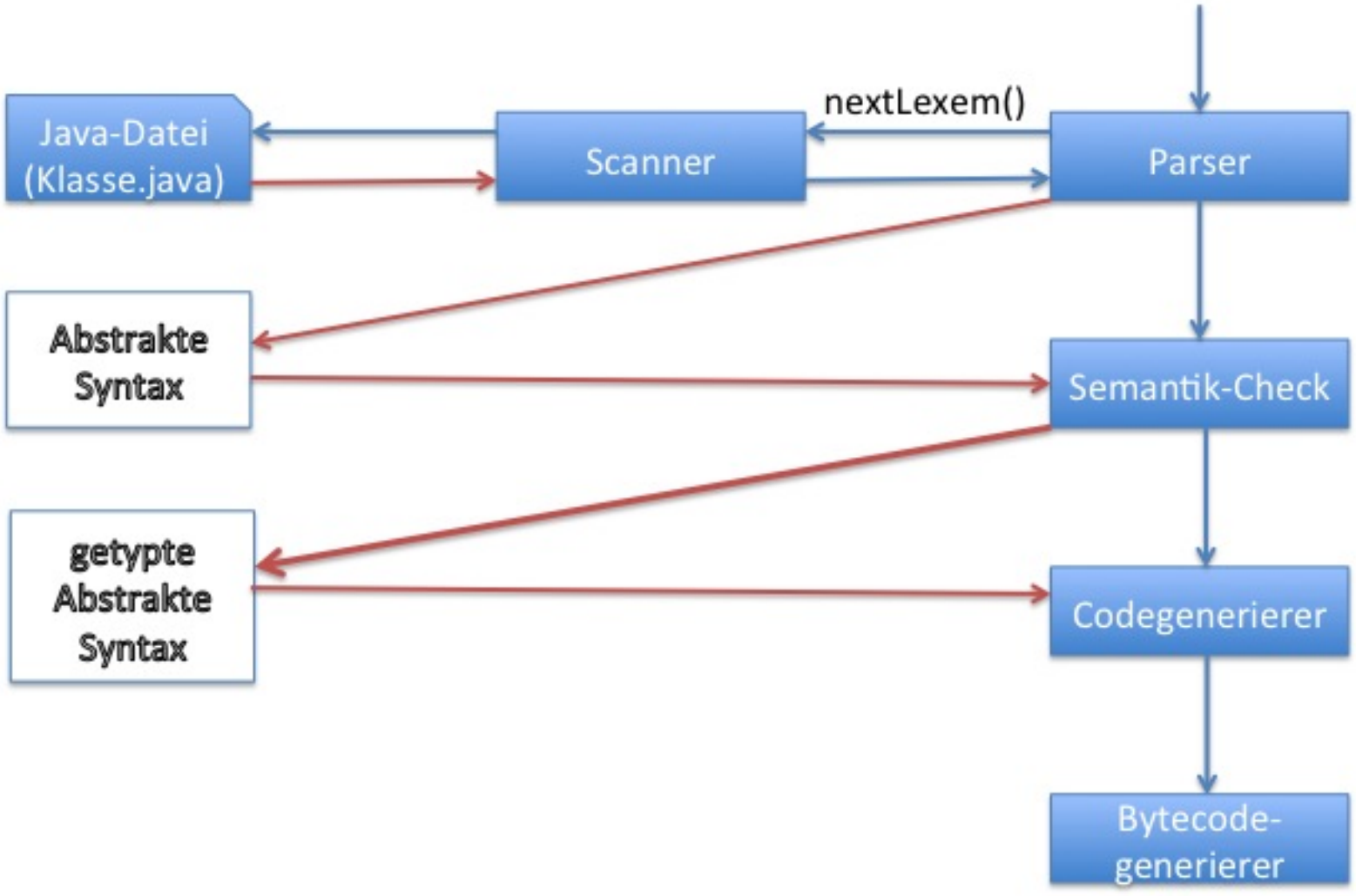
Compiler Überblick



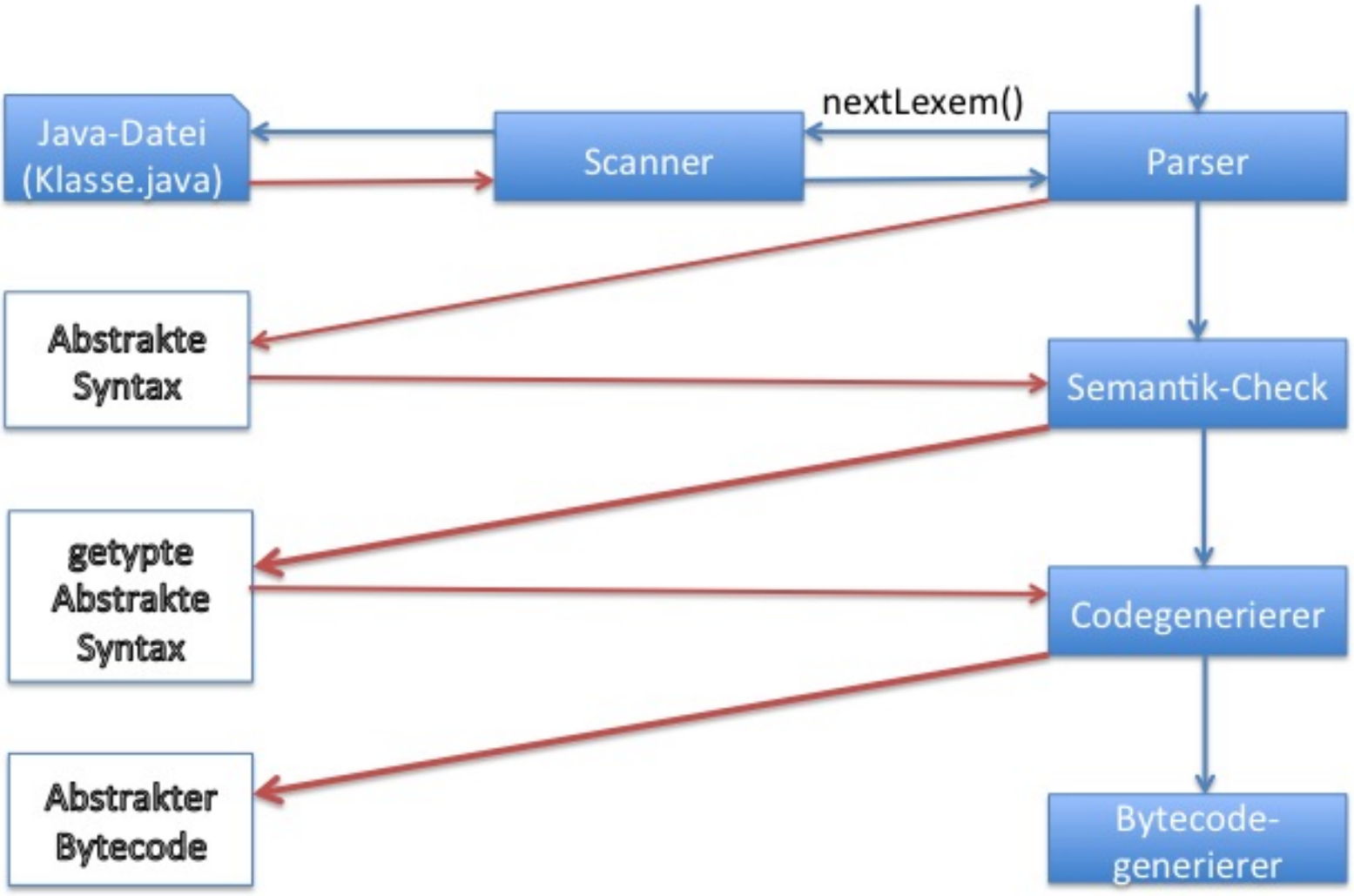
Compiler Überblick



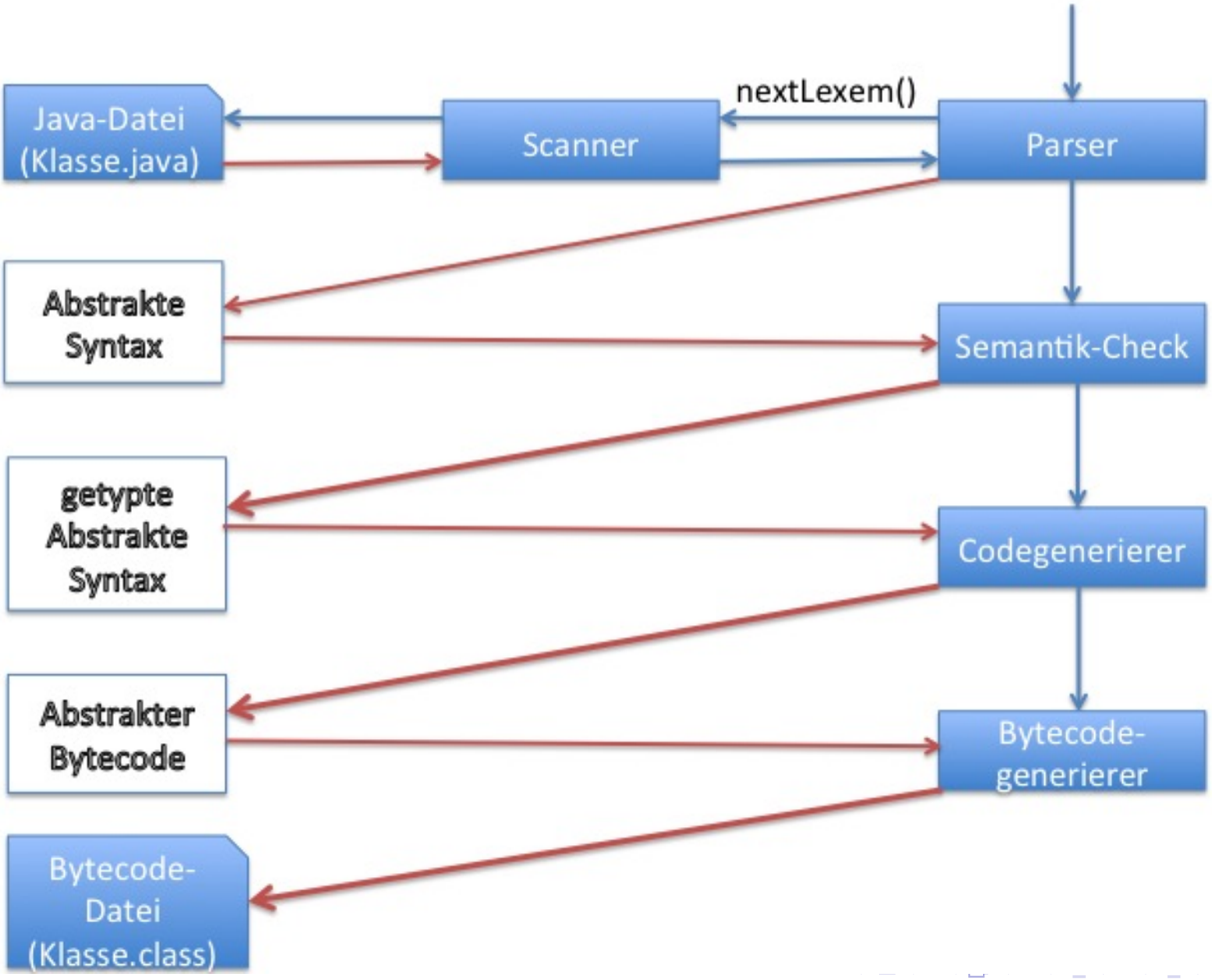
Compiler Überblick



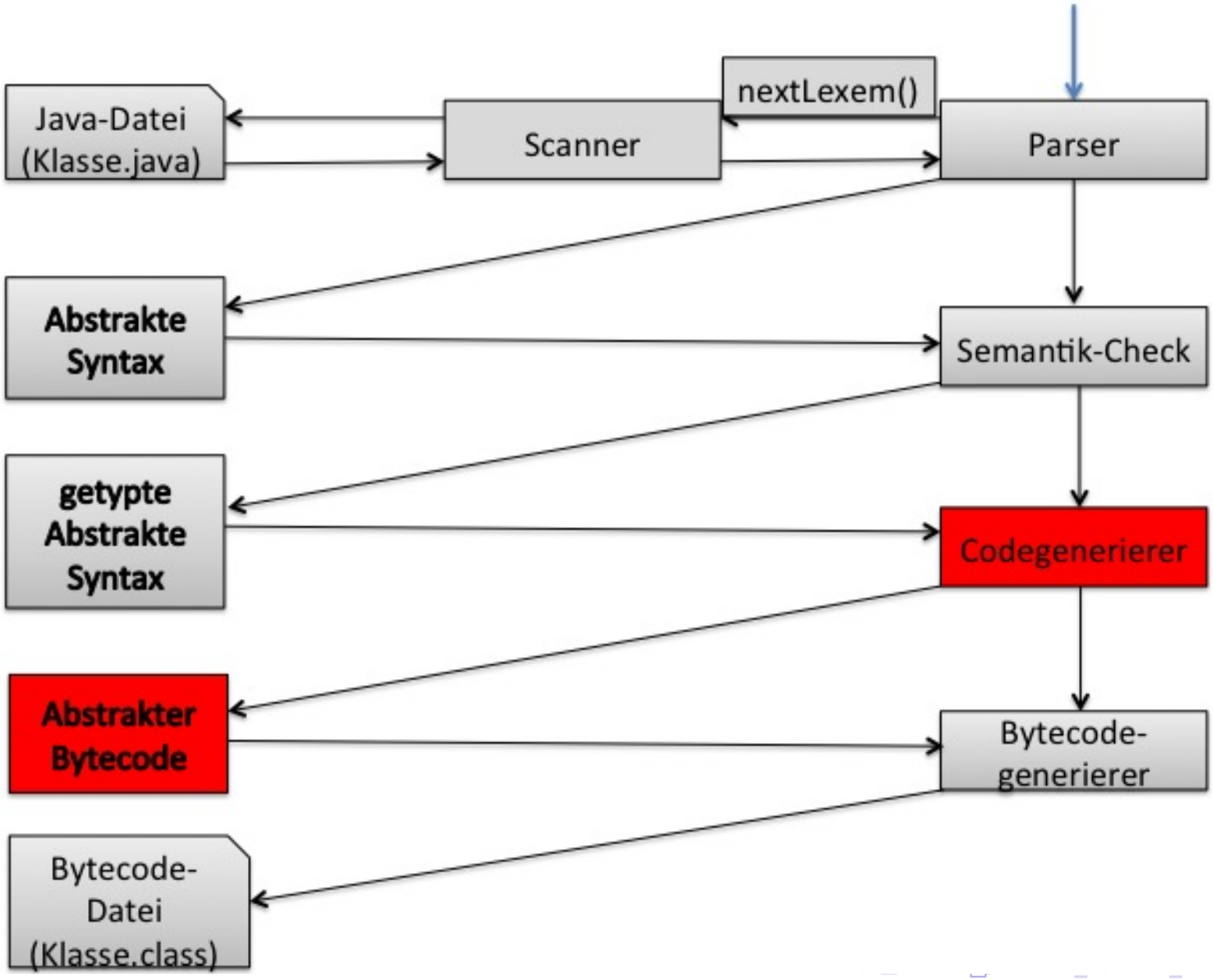
Compiler Überblick



Compiler Überblick



Codegenerierung



Codegenerierung
Typisierte abstrakte Syntax -> Abstrakten Bytecode
Abstrakter Bytecode (HackageDB)[3]

```
data ClassFile =
ClassFile { magic              :: Magic                -- CAFEBABE
          , minver             :: MinorVersion         -- Versionen
          , maxver             :: MajorVersion
          , count_cp           :: ConstantPool_Count   -- Anz. Eintr. Konst.p
          , array_cp           :: CP_Infos             -- Konstantenpool
          , acfg               :: AccessFlags          -- Berechtigungen
          , this               :: ThisClass            -- This-Klasse
          , super              :: SuperClass           -- Super-Klasse
          , count_interfaces   :: Interfaces_Count     -- Anz. Interfaces
          , array_interfaces   :: Interfaces           -- Interfaces
          , count_fields       :: Fields_Count         -- Anzahl Fields
          , array_fields       :: Field_Infos          -- Fields
          , count_methods      :: Methods_Count        -- Methoden
          , array_methods      :: Method_Infos         -- Methoden
          , count_attributes   :: Attributes_Count     -- Anz. Attribute
          , array_attributes   :: Attribute_Infos      -- Attribute
          }
```

```
type CP_Infos         = [CP_Info]
type Interfaces       = [Interface]
type Field_Infos      = [Field_Info]
type Method_Infos     = [Method_Info]
type Attribute_Infos = [Attribute_Info]

data Magic = Magic

data MinorVersion = MinorVersion {
                        numMinVer :: Int
                    }

data MajorVersion = MajorVersion {
                        numMaxVer :: Int
                    }
```

Konstantenpool–Einträge I

```
data CP_Info =
        Class_Info
              { tag_cp                  :: Tag
              , index_cp                :: Index_Constant_Pool
              , desc                    :: String             }
      | FieldRef_Info
              { tag_cp                  :: Tag
              , index_name_cp           :: Index_Constant_Pool
              , index_nameandtype_cp    :: Index_Constant_Pool
              , desc                    :: String             }
      | MethodRef_Info
              { tag_cp                  :: Tag
              , index_name_cp           :: Index_Constant_Pool
              , index_nameandtype_cp    :: Index_Constant_Pool
              , desc                    :: String             }
      | InterfaceMethodRef_Info
              { tag_cp                  :: Tag
              , index_name_cp           :: Index_Constant_Pool
              , index_nameandtype_cp    :: Index_Constant_Pool
              , desc                    :: String             }
```

Konstantenpool–Einträge II

```
      | String_Info
            { tag_cp                :: Tag
            , index_cp              :: Index_Constant_Pool
            , desc                  :: String               }
      | Integer_Info
            { tag_cp                :: Tag
            , numi_cp               :: Int
            , desc                  :: String               }
      | Float_Info
            { tag_cp                :: Tag
            , numf_cp               :: Float
            , desc                  :: String               }
      | Long_Info
            { tag_cp                :: Tag
            , numi_l1_cp            :: Int
            , numi_l2_cp            :: Int
            , desc                  :: String               }
      | Double_Info
            { tag_cp                :: Tag
            , numi_d1_cp            :: Int
            , numi_d2_cp            :: Int
            , desc                  :: String               }
```

Konstantenpool–Einträge III

```
        | NameAndType_Info
                { tag_cp                :: Tag
                , index_name_cp         :: Index_Constant_Pool
                , index_descr_cp        :: Index_Constant_Pool
                , desc                  :: String               }
        | Utf8_Info
                { tag_cp                :: Tag
                , tam_cp                :: Int
                , cad_cp                :: String
                , desc                  :: String               }

data Tag = TagClass
         | TagFieldRef
         | TagMethodRef
         | TagInterfaceMethodRef
         | TagString
         | TagInteger
         | TagFloat
         | TagLong
         | TagDouble
         | TagNameAndType
         | TagUtf8
```

Field_Info und Method_Infos

```
data Field_Info = Field_Info
        { af_fi           :: AccessFlags
        , index_name_fi   :: Index_Constant_Pool     -- name_index
        , index_descr_fi  :: Index_Constant_Pool     -- descriptor_index
        , tam_fi          :: Int                     -- count_attributte
        , array_attr_fi   :: Attribute_Infos
        }

data Method_Info = Method_Info
        { af_mi           :: AccessFlags
        , index_name_mi   :: Index_Constant_Pool     -- name_index
        , index_descr_mi  :: Index_Constant_Pool     -- descriptor_index
        , tam_mi          :: Int                     -- attributes_count
        , array_attr_mi   :: Attribute_Infos
        }
```

Attribute_Info

```
data Attribute_Info =
   ...
| AttributeCode
   { index_name_attr       :: Index_Constant_Pool   -- attribute_name_index
   , tam_len_attr          :: Int                   -- attribute_length
   , len_stack_attr        :: Int                   -- max_stack
   , len_local_attr        :: Int                   -- max_local
   , tam_code_attr         :: Int                   -- code_length
   , array_code_attr       :: ListaInt              -- code como array
                                                    -- de bytes
--, array_code_attr        :: [Code]                -- code array (altern.)
   , tam_ex_attr           :: Int                   -- exceptions_length
   , array_ex_attr         :: Tupla4Int             -- no usamos
   , tam_atrr_attr         :: Int                   -- attributes_count
   , array_attr_attr       :: Attribute_Infos
   }
| ...
```

Beispiel: Byte–Code

```
class bct {

    Integer i;

}
```

```
> javac -g:none bct.java
```

```
magic = 0x CAFEBABE
minor_version = 0
major_version = 52
constant_pool_count = 12
constant_pool =
{
1| tag = CONSTANT_Methodref, class_index = 3, name_and_type_index = 9
2| tag = CONSTANT_Class, name_index = 10
3| tag = CONSTANT_Class, name_index = 11
4| tag = CONSTANT_Utf8, length = 1, bytes = i
5| tag = CONSTANT_Utf8, length = 19, bytes = Ljava/lang/Integer;
6| tag = CONSTANT_Utf8, length = 6, bytes = <init>
7| tag = CONSTANT_Utf8, length = 3, bytes = ()V
8| tag = CONSTANT_Utf8, length = 4, bytes = Code
9| tag = CONSTANT_NameAndType, name_index = 6, descriptor_index = 7
10| tag = CONSTANT_Utf8, length = 3, bytes = bct
11| tag = CONSTANT_Utf8, length = 16, bytes = java/lang/Object
}
access_flags = 32  // ACC_SUPER
this_class = #2  // bct
super_class = #3  // java/lang/Object
interfaces_count = 0
interfaces = {}
```

```
fields_count = 1
fields [0] =
{
access_flags = 0
name_index = #4  // i
descriptor_index = #5  // Ljava/lang/Integer;
attributes_count = 0
attributes = {}
}
methods_count = 1
methods [0] =
{
access_flags = 0
name_index = #6  // <init>
descriptor_index = #7  // ()V
```

```
attributes_count = 1
attributes [0] =
{
attribute_name_index = #8  // Code
attribute_length = 17
max_stack = 1, max_locals = 1
code_length = 5
code =
{
    0  aload_0
    1  invokespecial #1  // java/lang/Object.<init> ()V
    4  return
}
exception_table_length = 0
exception_table = {}
attributes_count = 0
attributes = {}
}
}
attributes_count = 0
attributes = {}
```

JVM – Zur Laufzeit

Frame: Für jeden Methodenaufruf wird ein Frame erzeugt:

- Array von lokalen Variablen
- Operanden-Stack
- Referenz zum zugehörigen Konstantenpool

JVM – Zur Laufzeit

Frame: Für jeden Methodenaufruf wird ein Frame erzeugt:

- Array von lokalen Variablen
- Operanden-Stack
- Referenz zum zugehörigen Konstantenpool

Stack: Auf dem Stack liegen die Frames, der aufgerufenen Methoden

JVM – Zur Laufzeit

Frame: Für jeden Methodenaufruf wird ein Frame erzeugt:

- Array von lokalen Variablen
- Operanden-Stack
- Referenz zum zugehörigen Konstantenpool

Stack: Auf dem Stack liegen die Frames, der aufgerufenen Methoden

Heap: Speicher für alle Objekte

JVM – Zur Laufzeit

Frame: Für jeden Methodenaufruf wird ein Frame erzeugt:

- Array von lokalen Variablen
- Operanden-Stack
- Referenz zum zugehörigen Konstantenpool

Stack: Auf dem Stack liegen die Frames, der aufgerufenen Methoden

Heap: Speicher für alle Objekte

Method Area: Speicher für alle Methoden

Code–Übersetzung

Standard–Konstruktor

```
class bct {
  bct() {
    super();
  }
}
```

führt zu

```
0  aload_0
1  invokespecial #1  // java/lang/Object.<init> ()V
4  return
```

aload_<n>, aload

Code: aload_<n>

Format: aload_<n>

Bechreibung: Lädt die Referenz der *n*-ten lokalen Variablen auf den Stack

Formen: aload_0 = 42 (0x2a)
aload_1 = 43 (0x2b)
aload_2 = 44 (0x2c)
aload_3 = 45 (0x2d)

aload_<n>, aload

Code: aload_<n>

Format: aload_<n>

Bechreibung: Lädt die Referenz der *n*-ten lokalen Variablen auf den Stack

Formen: aload_0 = 42 (0x2a)
aload_1 = 43 (0x2b)
aload_2 = 44 (0x2c)
aload_3 = 45 (0x2d)

Code: aload

Format: aload *index*

Bechreibung: Lädt die Variable *index*-te Variable auf den Stack

Formen: aload = 25 (0x19)

invokespecial

Code: invokespecial

Format: invokespecial indexbyte1 indexbyte2

Bechreibung: Ruft die Instanzmethode auf, die durch die Referenz *indexbyte1* $<<$ 8 | *indexbyte2* in den Konstantenpool bestimmt wird. (Ohne dynamische Bindung!!!)

- Wenn die Methode nicht vorhanden ist wird in Superklassen gesucht.
- Die Argumente der Methoden müssen ebenfalls auf den Stack liegen.
- Am Ende werden die Argumente und das Objekt vom Stack gelöscht und das Ergebnis drauf gelegt.

Formen: invokespecial = 183 (0xb7)

Opcode: return

Code: return

Format: return

Bechreibung: Gibt `void` von einer Methode zurück.
Gibt die Kontrolle an die aufgerufende Methode zurück.

Formen: return = 177 (0xb1)

Variablen beschreiben

```
class bct {
  int i;

  void m () {
     i = 1;
  }
}
```

führt zu

```
0  aload_0        //this
1  iconst_1
2  putfield #2  // bct.i I
5  return
```

iconst_<n>

Code: iconst_<i>

Format: iconst_<i>

Bechreibung: Push int Konstante auf den Stack

Formen: iconst_m1 = 2 (0x2)
iconst_0 = 3 (0x3)
iconst_1 = 4 (0x4)
iconst_2 = 5 (0x5)
iconst_3 = 6 (0x6)
iconst_4 = 7 (0x7)
iconst_5 = 8 (0x8)

bipush

Code: bipush

Format: bipush byte

Bechreibung: Push *byte*

Formen: bipush = 16 (0x10)

putfield

Code: putfield

Format: putfield indexbyte1 indexbyte2

Bechreibung: Ordnet das Oberste Element des Stacks dem Attribut *indexbyte1* $<<$ 8 | *indexbyte2* des Konstantenpools im Objekt des zweiobersten Elements des Stacks zu

Formen: putfield = 181 (0xb5)

Variablen auslesen und beschreiben

```
class bct {
  int i;

  void m () {
     i = i + 1;
  }
}
```

führt zu

```
 0  aload_0  //this
 1  aload_0  //this
 2  getfield #2  // bct.i I
 5  iconst_1
 6  iadd
 7  putfield #2  // bct.i I
10  return
```

getfield

Code: getfield

Format: getfield indexbyte1 indexbyte2

Bechreibung: Liest das Attribut *indexbyte1* $<<$ 8 | *indexbyte2* im Konstantenpool des Obersten Element des Stacks aus, löscht das oberste Element und legt den gelesenen Wert auf den Stack.

Formen: getfield = 180 (0xb4)

iadd

Code: iadd

Format: iadd

Bechreibung: Addiert die beiden obersten Elemente des Stacks und nimmt sie vom Stack und legt das Ergebnis drauf.

Formen: iadd = 96 (0x60)

iadd

Code: iadd

Format: iadd

Bechreibung: Addiert die beiden obersten Elemente des Stacks und nimmt sie vom Stack und legt das Ergebnis drauf.

Formen: iadd = 96 (0x60)

Anlog: *isub*, *imul*, *idiv*, *iand*, *ior*, *ixor*, *ineg*, ...

Inkrement/Dekrement

```
class bct {

  void m () {
     int i = 0;
     i++;
     i--;
  }
}
```

führt zu

```
0  iconst_0
1  istore_1
2  iinc 1 1     //Variable 1 (+1)
5  iinc 1 255     //Variable 1 (-1)
8  return
```

istore_<n>

Code: istore_<n>

Format: istore_<n>

Bechreibung: Schreibt den Integerwert des obersten Elements des Operanden–Stacks in die *n*-te lokale Variable und löscht das oberste Element des Operanden–Stacks.

Formen: istore_0 = 59 (0x3b)
istore_1 = 60 (0x3c)
istore_2 = 61 (0x3d)
istore_3 = 62 (0x3e)

istore

Code: istore

Format: istore index

Bechreibung: Schreibt den Integerwert des obersten Elements des Operanden–Stacks in die *index*-te lokale Variable und löscht das oberste Element des Operanden–Stacks.

Formen: istore = 54 (0x36)

iinc

Code: iinc

Format: iinc index const

Bechreibung: Inkrement der lokalen Variable *index* durch vozeichenbehaftete 8-Bit *const*.

Formen: iinc = 132 (0x84)

New

```
class A { }

class bct {

  void m () {
     A aa = new A();
  }
}
```

führt zu

```
0  new #2  // A
3  dup
4  invokespecial #3  // A.<init> ()V
7  astore_1
8  return
```

Opcode: new

Code: new

Format: new indexbyte1 indexbyte2

Bechreibung: Erzeugt ein neues Objekt der Klasse *indexbyte1* $<<$ 8 | *indexbyte2* des Konstantenpool auf dem Heap und initialisiert die Attribute. Eine Referenz auf den Speicher in Heap wird auf den Stack gelegt.

Formen: new = 187 (0xbb)

dup

Code: dup

Format: dup

Bechreibung: Dubliziert das oberste stack Element

Formen: dup = 89 (0x59)

astore_<n>, astore

Code: astore_<n>

Format: astore_<n>

Bechreibung: Schreibt die oberste Referenz des Stacks in die *n*-te lokale Variable und löscht die Referenz vom Stack

Formen: astore_0 = 75 (0x4b)
astore_1 = 76 (0x4c)
astore_2 = 77 (0x4d)
astore_3 = 78 (0x4e)

astore_<n>, astore

Code: astore_<n>

Format: astore_<n>

Bechreibung: Schreibt die oberste Referenz des Stacks in die *n*-te lokale Variable und löscht die Referenz vom Stack

Formen: astore_0 = 75 (0x4b)
astore_1 = 76 (0x4c)
astore_2 = 77 (0x4d)
astore_3 = 78 (0x4e)

Code: astore

Format: astore index

Bechreibung: Schreibt die oberste Referenz des Stacks in die *index*-te lokale Variable und löscht die Referenz vom Stack

Formen: astore = 58 (0x3a)

Methodenaufruf

```
class A { int m2(int a)  return a;  }
class bct {
  void m () {
     int j = 0;
     A aa = new A();
     int i = aa.m2(j); }
}
```

führt zu

```
...
 2  new #2  // A
 5  dup
 6  invokespecial #3  // A.<init> ()V
 9  astore_2
10  aload_2
11  iload_1
12  invokevirtual #4  // A.m2 (I)I
15  istore_3
16  return
```

iload_<n>, iload

Code: iload_<n>

Format: iload_<n>

Bechreibung: Lädt den Integerwert aus der *n*-ten lokalen Variable auf den Stack.

Formen: iload_0 = 26 (0x1a)
iload_1 = 27 (0x1b)
iload_2 = 28 (0x1c)
iload_3 = 29 (0x1d)

iload_<n>, iload

Code: iload_<n>

Format: iload_<n>

Bechreibung: Lädt den Integerwert aus der *n*-ten lokalen Variable auf den Stack.

Formen: iload_0 = 26 (0x1a)
iload_1 = 27 (0x1b)
iload_2 = 28 (0x1c)
iload_3 = 29 (0x1d)

Code: iload

Format: iload index

Bechreibung: Lädt den Integerwert aus der *index*-ten lokalen Variable auf den Stack.

Formen: iload = 21 (0x15)

invokevirtual

Code: invokevirtual

Format: invokevirtual indexbyte1 indexbyte2

Bechreibung: Ruft die Instanzmethode *abhängig von der aktuellen Receiver–Klasse* auf, die durch die Referenz *indexbyte1* $<<$ 8 | *indexbyte2* in dem Konstantenpool bestimmt wird.

- Wenn die Methode nicht vorhaden ist wird in Superklassen gesucht.
- Die Argumente der Methoden müssen ebenfalls auf dem Stack liegen.
- Am Ende werden die Argumente und das Objekt vom Stack gelöscht und das Ergebnis drauf gelegt.

Formen: invokevirtual = 182 (0xb6)

Dynamische Bindung

```
class Superclass {

    private void interestingMethod() {
        System.out.println("Superclass's interesting method."); }

    void exampleMethod() {
        interestingMethod(); }
}

class Subclass extends Superclass {

    void interestingMethod() {
        System.out.println("Subclass's interesting method."); }

    public static void main(String args[]) {
        Subclass me = new Subclass();
        me.exampleMethod(); }
}
```

Dynamische Bindung

```
class Superclass {

    private void interestingMethod() {
        System.out.println("Superclass's interesting method."); }

    void exampleMethod() {
        interestingMethod(); }
}

class Subclass extends Superclass {

    void interestingMethod() {
        System.out.println("Subclass's interesting method."); }

    public static void main(String args[]) {
        Subclass me = new Subclass();
        me.exampleMethod(); }
}
```

Erg: Superclass's interesting method.

Dynamische Bindung

```
class Superclass {

    void interestingMethod() {
        System.out.println("Superclass's interesting method."); }

    void exampleMethod() {
        interestingMethod(); }
}

class Subclass extends Superclass {

    void interestingMethod() {
        System.out.println("Subclass's interesting method."); }

    public static void main(String args[]) {
        Subclass me = new Subclass();
        me.exampleMethod(); }
}
```

Dynamische Bindung

```
class Superclass {

    void interestingMethod() {
        System.out.println("Superclass's interesting method."); }

    void exampleMethod() {
        interestingMethod(); }
}

class Subclass extends Superclass {

    void interestingMethod() {
        System.out.println("Subclass's interesting method."); }

    public static void main(String args[]) {
        Subclass me = new Subclass();
        me.exampleMethod(); }
}
```

Erg: Subclass's interesting method.

Dynamische Bindung (Bytecode)

```
class Superclass {

    private void interestingMethod() {
        System.out.println("Superclass's interesting method."); }

    void exampleMethod() {
        interestingMethod(); }
}
```

führt zu

```
   0  aload_0
   1  invokespecial #5  // Superclass.interestingMethod ()V
   4  return
```

Dynamische Bindung (Bytecode)

```
class Superclass {

    void interestingMethod() {
        System.out.println("Superclass's interesting method."); }

    void exampleMethod() {
        interestingMethod(); }
}
```

führt zu

```
   0  aload_0
   1  invokevirtual #5  // interestingMethod ()V (dynamisch)
   4  return
```

Return

```
class bct {
   bct b;

    int m1() { return 1; }

    bct m2() { return b; }
}
```

führt zu

```
   0  iconst_1        //m1
   1  ireturn

   0  aload_0         //m2
   1  getfield #2     // bct.b Lbct;
   4  areturn
```

areturn, ireturn

Code: areturn

Format: areturn

Bechreibung: Rückgabe des obersten Elements des (Operanden-)Stacks als Referenz auf ein Objekt. Legt die Referenz auf den Stack des Frames der aufrufenden Methode.

Formen: areturn = 176 (0xb0)

areturn, ireturn

Code: areturn

Format: areturn

Bechreibung: Rückgabe des obersten Elements des (Operanden-)Stacks als Referenz auf ein Objekt. Legt die Referenz auf den Stack des Frames der aufrufenden Methode.

Formen: areturn = 176 (0xb0)

Code: ireturn

Format: ireturn

Bechreibung: Rückgabe des obersten Elements des (Operanden-)Stacks als `int`, `boolean`, `byte`, `short`, `char` und legt Element auf den Stack des Frames der aufrufenden Methode.

Formen: ireturn = 172 (0xb0)

While

```
class bct {

    void m () {
        int i = 0;
        while (i == 1) { i++; }
    }
}
```

führt zu

```
 0  iconst_0
 1  istore_1
 2  iload_1
 3  iconst_1
 4  if_icmpne 0 9
 7  iinc 1 1    //Variable 1 (+1)
10  goto 255 248
13  return
```

if_icmp<cond>

Code: if_icmp<cond>

Format: if_icmp<cond> branchbyte1 branchbyte2

Bechreibung: relativer Sprung nach 16 bit vorzeichenbehaftete Zahl *branchbyte1* $<<$ 8 | *branchbyte2* wenn jeweiliger Integervergleich des zweitobersten mit den obersten Stack Element erfolgreich ist

Formen: if_icmpeq = 159 (0x9f)
if_icmpne = 160 (0xa0)
if_icmplt = 161 (0xa1)
if_icmpge = 162 (0xa2)
if_icmpgt = 163 (0xa3)
if_icmple = 164 (0xa4)

goto

Code: goto

Format: goto branchbyte1 branchbyte2

Bechreibung: relativer Sprung nach 16 bit vorzeichenbehaftete Zahl
branchbyte1 $<<$ 8 | *branchbyte2*

Formen: goto = 167 (0xa7)

If

```
class bct {

    void m () {
        int i = 0;
        if (i == 1) { i++; }
    }
}
```

führt zu

```
 0  iconst_0
 1  istore_1
 2  iload_1
 3  iconst_1
 4  if_icmpne 0 6
 7  iinc 1 1    //Variable 1 (+1)
10  return
```

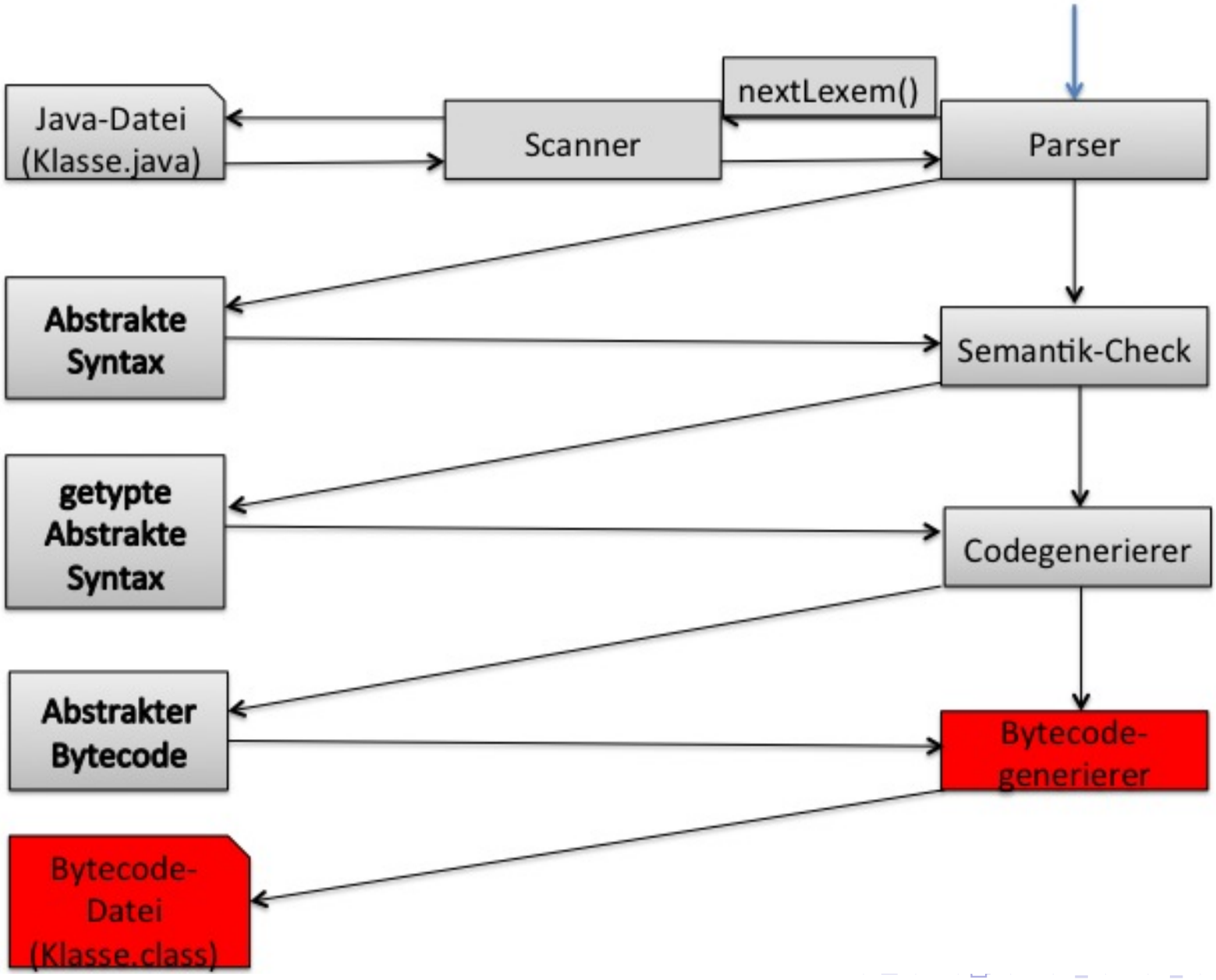
If_else

```
class bct {
    void m () {
        int i = 0;
        if (i == 1) { i++; }
        else { i--; }
    }
}
```

führt zu

```
 0  iconst_0
 1  istore_1
 2  iload_1
 3  iconst_1
 4  if_icmpne 0 9
 7  iinc 1 1    //Variable 1 (+1)
10  goto 0 6
13  iinc 1 255  //Variable 1 (-1)
16  return
```

Bytecodegenerierung



Abstrakter Bytecode -> Bytecode

Analyse des Binär-Files

Hexadezimal:

```
od -tx1 bct.class

0000000    ca  fe  ba  be  00  00  00  34  00  0c  0a  00  03  00  09  07
0000020    00  0a  07  00  0b  01  00  01  69  01  00  13  4c  6a  61  76
0000040    61  2f  6c  61  6e  67  2f  49  6e  74  65  67  65  72  3b  01
0000060    00  06  3c  69  6e  69  74  3e  01  00  03  28  29  56  01  00
0000100    04  43  6f  64  65  0c  00  06  00  07  01  00  03  62  63  74
0000120    01  00  10  6a  61  76  61  2f  6c  61  6e  67  2f  4f  62  6a
0000140    65  63  74  00  20  00  02  00  03  00  00  00  01  00  00  00
0000160    04  00  05  00  00  00  01  00  00  00  06  00  07  00  01  00
0000200    08  00  00  00  11  00  01  00  01  00  00  00  05  2a  b7  00
0000220    01  b1  00  00  00  00  00  00
0000230
```

```
magic = 0x CAFEBABE
minor_version = 0
major_version = 52

ca  fe  ba  be  00  00  00  34
```

```
constant_pool_count = 12
constant_pool =
{
1| tag = CONSTANT_Methodref, class_index = 3, name_and_type_index = 9
2| tag = CONSTANT_Class, name_index = 10
3| tag = CONSTANT_Class, name_index = 11
4| tag = CONSTANT_Utf8, length = 1, bytes = i
5| tag = CONSTANT_Utf8, length = 19, bytes = Ljava/lang/Integer;
6| tag = CONSTANT_Utf8, length = 6, bytes = <init>
7| tag = CONSTANT_Utf8, length = 3, bytes = ()V
8| tag = CONSTANT_Utf8, length = 4, bytes = Code
9| tag = CONSTANT_NameAndType, name_index = 6, descriptor_index = 7
10| tag = CONSTANT_Utf8, length = 3, bytes = bct
11| tag = CONSTANT_Utf8, length = 16, bytes = java/lang/Object
}
```

```
                                        00  0c  0a  00  03  00  09  07
00  0a  07  00  0b  01  00  01  69  01  00  13  4c  6a  61  76
61  2f  6c  61  6e  67  2f  49  6e  74  65  67  65  72  3b  01
00  06  3c  69  6e  69  74  3e  01  00  03  28  29  56  01  00
04  43  6f  64  65  0c  00  06  00  07  01  00  03  62  63  74
01  00  10  6a  61  76  61  2f  6c  61  6e  67  2f  4f  62  6a
65  63  74
```

```
access_flags = 32  // ACC_SUPER
this_class = #2  // bct
super_class = #3  // java/lang/Object
interfaces_count = 0
interfaces = {}

00  20  00  02  00  03  00  00
```

```
fields_count = 1
fields [0] =
{
access_flags = 0
name_index = #4  // i
descriptor_index = #5  // Ljava/lang/Integer;
attributes_count = 0
attributes = {}
}
```

```
00  01  00  00  00 04  00  05  00  00
```

```
methods_count = 1
methods [0] =
{
access_flags = 0
name_index = #6  // <init>
descriptor_index = #7  // ()V

00  01  00  00  00  06  00  07
```

```
attributes_count = 1
attributes [0] =
{
attribute_name_index = #8  // Code
attribute_length = 17
max_stack = 1, max_locals = 1
code_length = 5
code =
{
    0  aload_0
    1  invokespecial #1  // java/lang/Object.<init> ()V
    4  return
}

00  01  00  08  00  00  00  11  00  01 00  01  00  00  00  05
2a  b7  00  01  b1
```

```
exception_table_length = 0
exception_table = {}
attributes_count = 0
attributes = {}
}
}
```

00 00 00 00

```
exception_table_length = 0
exception_table = {}
attributes_count = 0
attributes = {}
}
}
```

```
00  00  00  00
```

```
attributes_count = 0
attributes = {}
```

```
00  00
```

Dezimal (8 Bit)

```
od -td1 bct.class

0000000   -54  -2 -70 -66   0   0   0  52   0  12  10   0   3   0   9   7
0000020     0  10   7   0  11   1   0   1 105   1   0  19  76 106  97 118
0000040    97  47 108  97 110 103  47  73 110 116 101 103 101 114  59   1
0000060     0   6  60 105 110 105 116  62   1   0   3  40  41  86   1   0
0000100     4  67 111 100 101  12   0   6   0   7   1   0   3  98  99 116
0000120     1   0  16 106  97 118  97  47 108  97 110 103  47  79  98 106
0000140   101  99 116   0  32   0   2   0   3   0   0   0   1   0   0   0
0000160     4   0   5   0   0   0   1   0   0   0   6   0   7   0   1   0
0000200     8   0   0   0  17   0   1   0   1   0   0   0   5  42 -73   0
0000220     1 -79   0   0   0   0   0   0
0000230
```

ASCII

```
od -ta bct.class

0000000                                         nul  ff  nl nul etx nul  ht bel
0000020  nul  nl bel nul  vt soh nul soh   i soh nul dc3   L   j   a   v
0000040    a   /   l   a   n   g   /   I   n   t   e   g   e   r   ; soh
0000060  nul ack   <   i   n   i   t   > soh nul etx   (   )   V soh nul
0000100  eot   C   o   d   e  ff nul ack nul bel soh nul etx   b   c   t
0000120  soh nul dle   j   a   v   a   /   l   a   n   g   /   O   b   j
0000140    e   c   t nul  sp nul stx nul etx nul nul nul soh nul nul nul
0000160  eot nul enq nul nul nul soh nul nul nul ack nul bel nul soh nul
0000200   bs nul nul nul dc1 nul soh nul soh nul nul nul enq
0000220  soh     nul nul nul nul nul nul
0000230
```

Haskell: Codegen

```
codegen :: Class -> ClassFile
-- bildet abstrakte Syntax in abstrakten Bytecode ab

compiler :: String -> ClassFile
compiler = codegen . typecheck . parse . alexScanTokens

encodeClassFile :: FilePath -> ClassFile -> IO()
-- erzeugt Bytecode--Datei
```

Haskell: Codegen

```
codegen :: Class -> ClassFile
-- bildet abstrakte Syntax in abstrakten Bytecode ab

compiler :: String -> ClassFile
compiler = codegen . typecheck . parse . alexScanTokens

encodeClassFile :: FilePath -> ClassFile -> IO()
-- erzeugt Bytecode--Datei


main = do
  s <- readFile "name.java"
  encodeClassFile "name.class" (compiler s)
```