Compilerbau

Martin Plümicke
Andreas Stadelmeier

SS 2024

Beschreibung

In der Vorlesung werden anwendungsnahe Konzepte und Techniken zu Programmiersprachen und Compilerbau vermittelt. Konkret werden zunächst die Phasen des Compilerbaus an Hand eines Java-Compilers vorgestellt. Als Implementierungstechnik wird die funktionale Programmiersprache Haskell verwendet. Dazu werden die notwendigen Grundlagen der funktionalen Programmierung aufbauend auf den Kenntissen der Grundvorlesung vermittelt. Im 2. Teil der Lehrveranstaltungen werden die Studierenden in Gruppenarbeit einen Mini-Java-Compiler mit den gelernten Techniken implementieren.

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

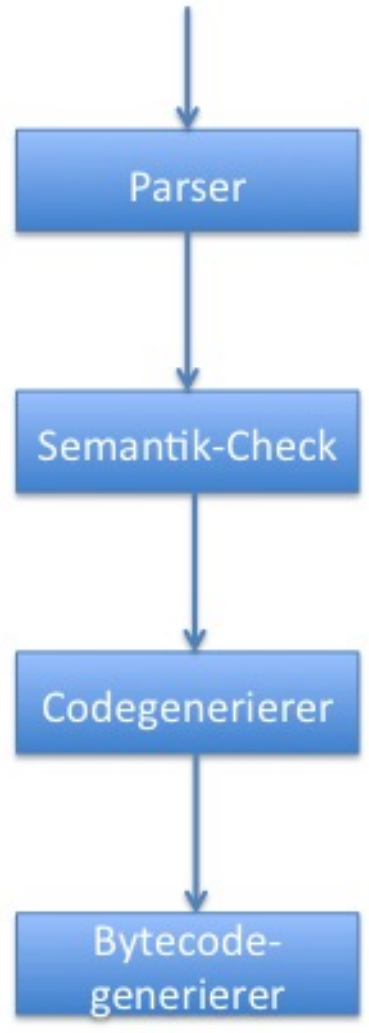

James Gosling, Bill Joy, Guy Steele, Gilad Bracha, and Alex Buckley.
The Java® Language Specification.
The Java series. Addison-Wesley, Java SE 8 edition, 2014.


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

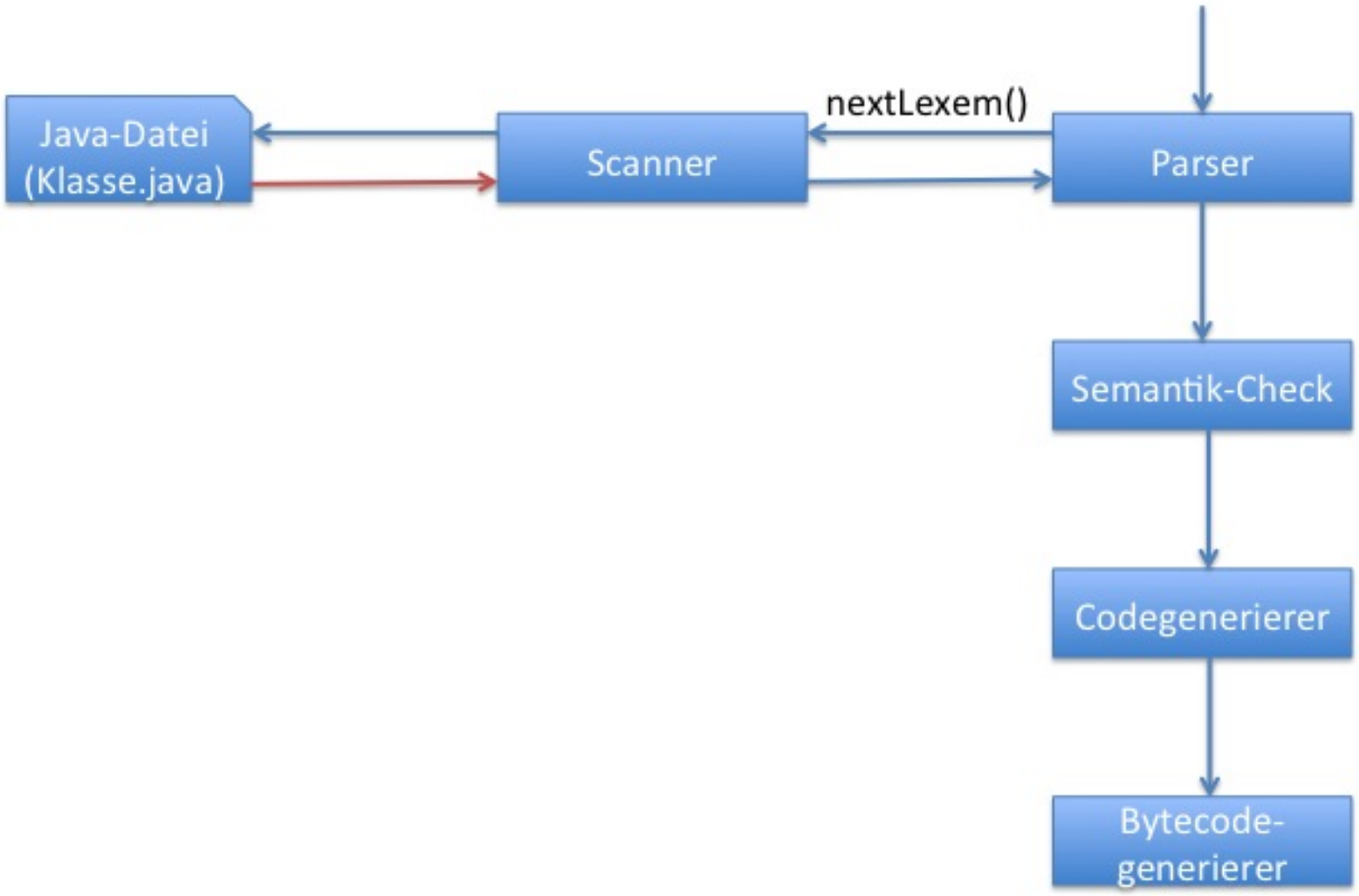

Bryan O'Sullivan, Donald Bruce Stewart, and John Goerzen.
Real World Haskell.
O'Reilly, 2009.


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

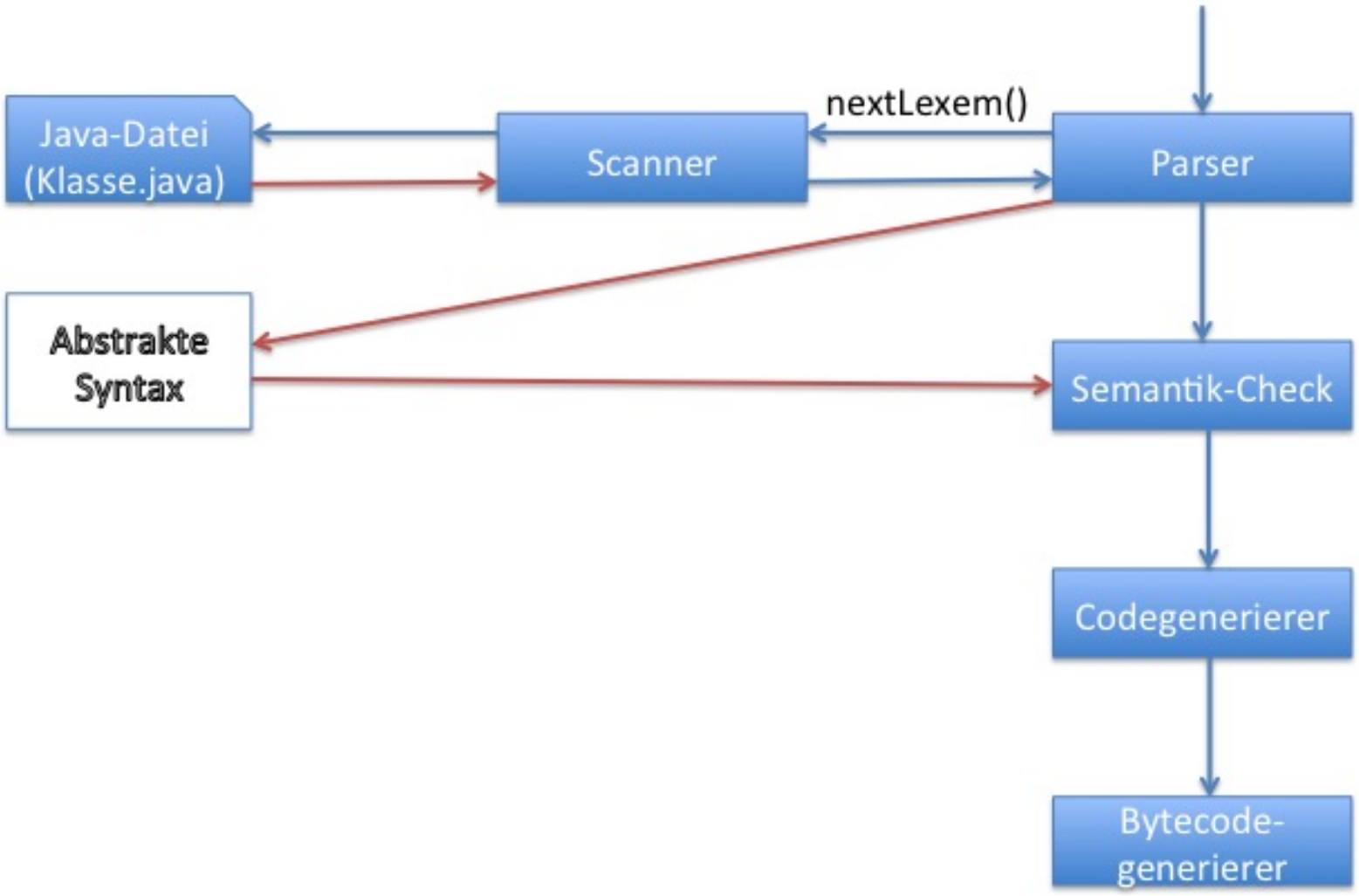
Compiler Überblick



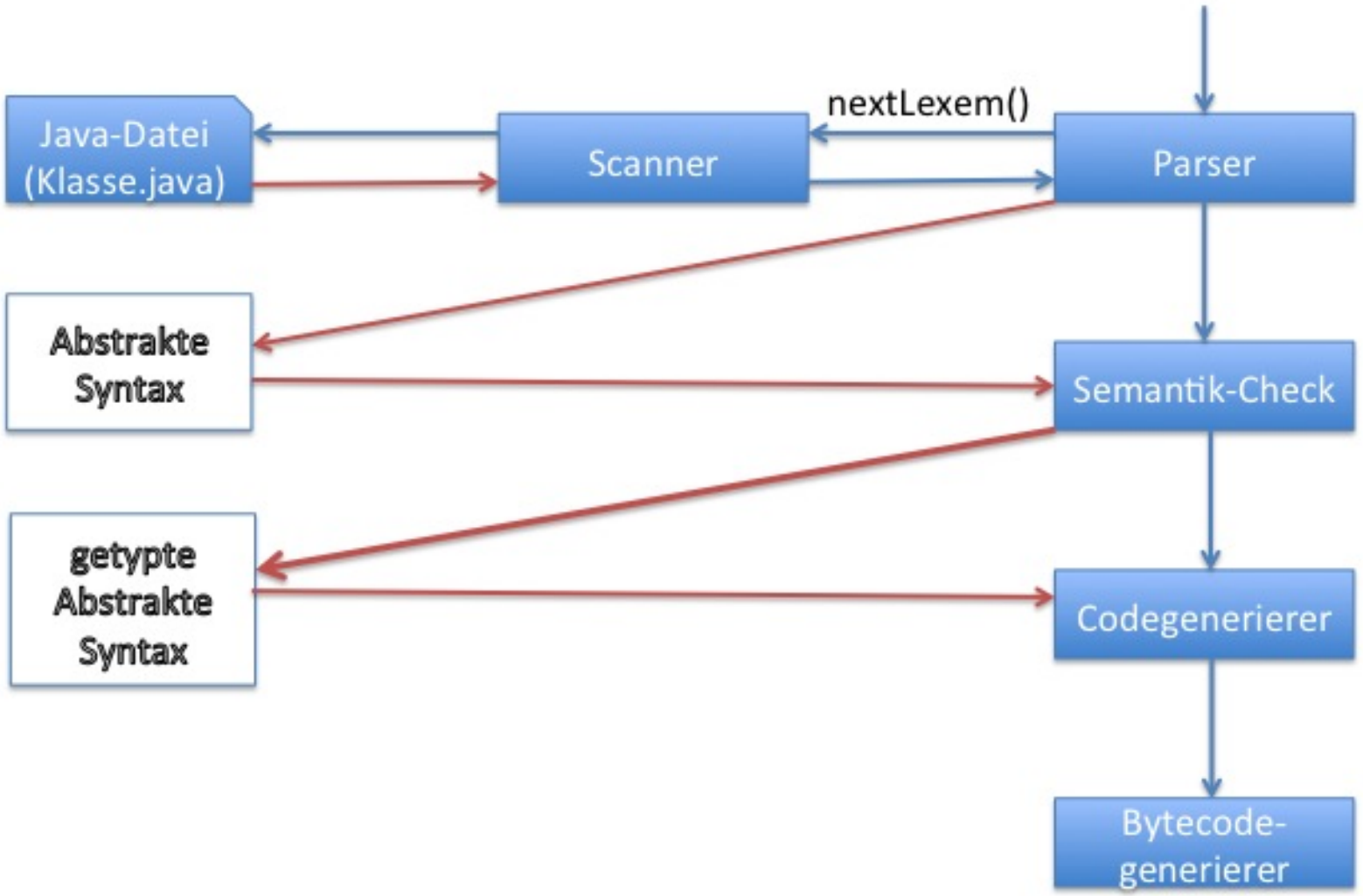
Compiler Überblick



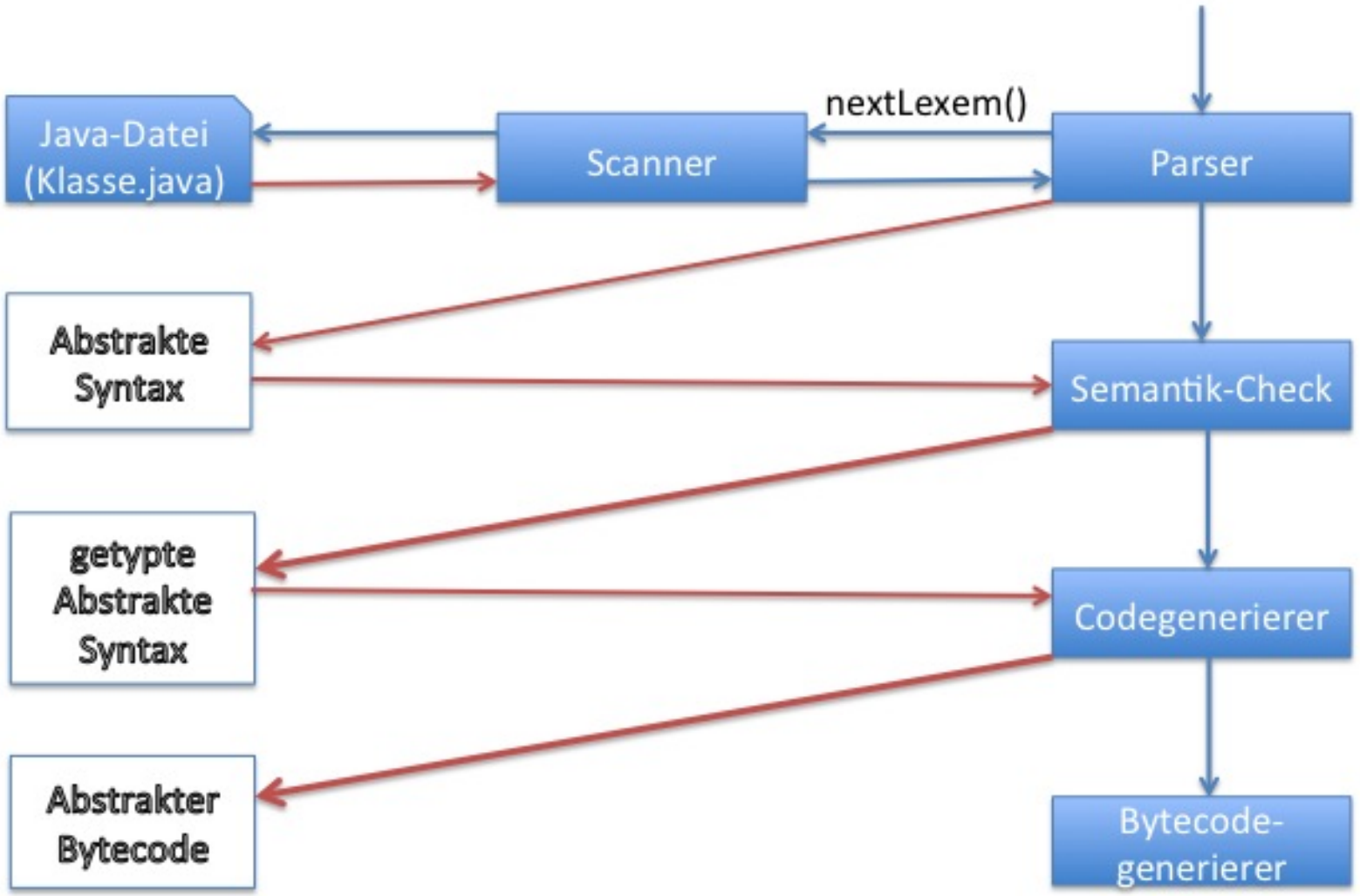
Compiler Überblick



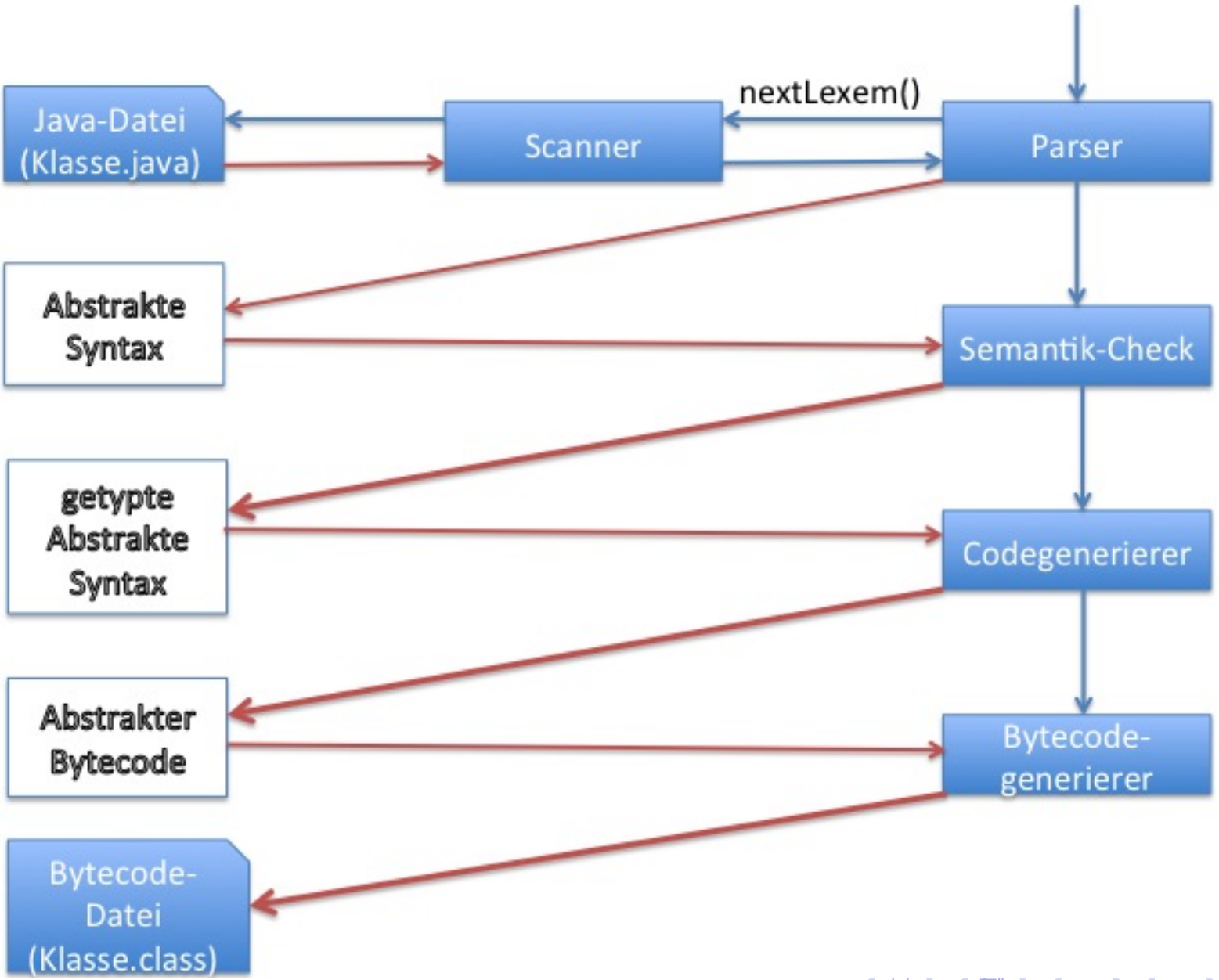
Compiler Überblick



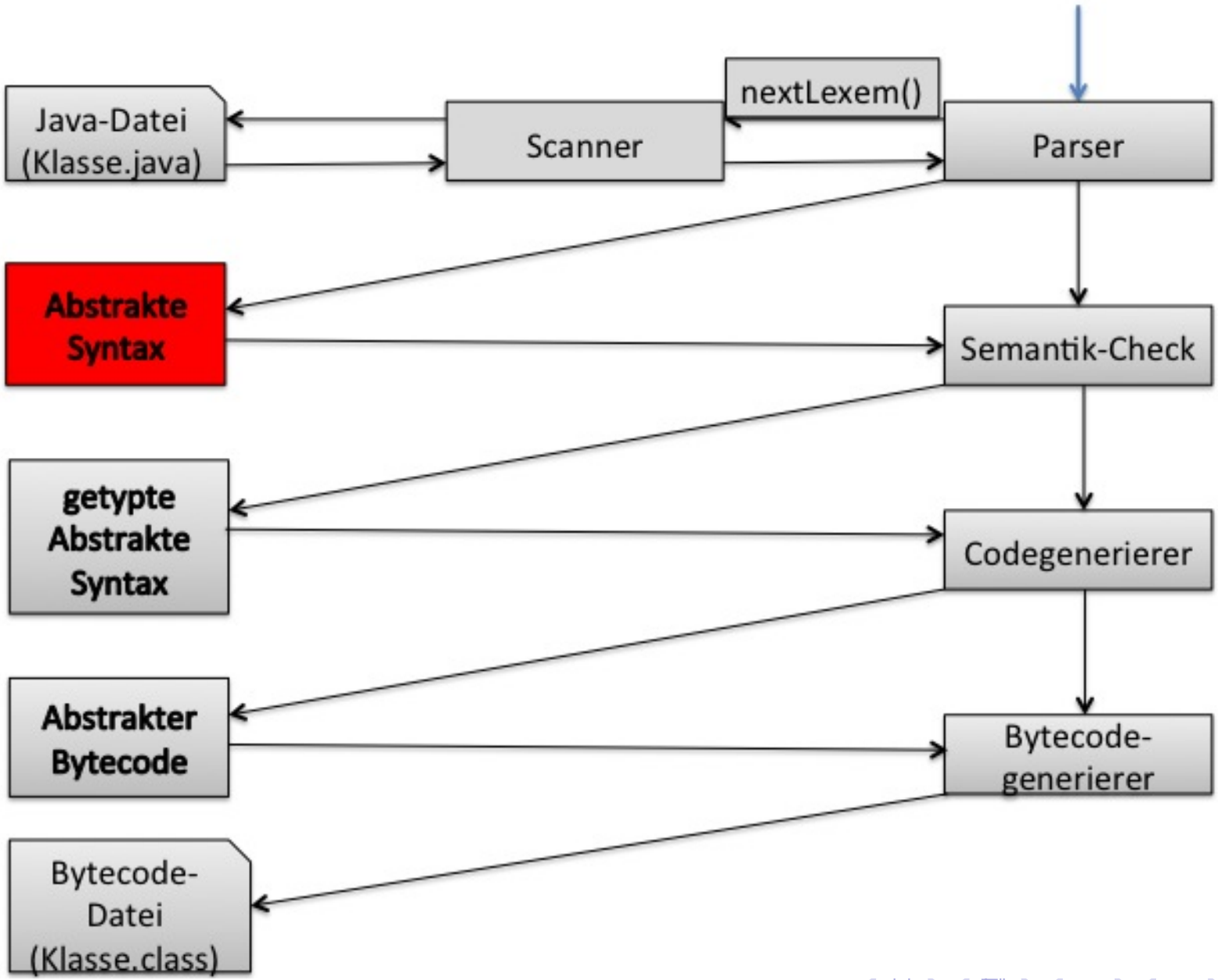
Compiler Überblick



Compiler Überblick



Abstrakte Syntax



Abstrakte Syntax

Unter abstrakter Syntax versteht man eine *abstrakte* Repräsentation eines konkreten Programms als Syntaxbaum.

Man kann den Ableitungsbaum in den abstrakten Syntaxbaum abbilden.

Abstrakte Syntax *Mini funktionale Expressions*

```
data MiniFunkExpr =
       Let String MiniFunkExpr MiniFunkExpr
     | Plus MiniFunkExpr MiniFunkExpr
     | Const Int
     | Var String
     deriving (Eq, Show)
```

Transformation in abstrakte Syntax

```
expr :: Parser Token MiniFunkExpr
expr = (texp +.+ expr')
```

```
expr' :: Parser Token (Maybe MiniFunkExpr)
expr' =
 (((satisfy (isSym '+')) +.+ texp +.+ expr')

 ||| succeed Nothing

texp :: Parser Token MiniFunkExpr
texp = (((lexem LetToken) +.+ (satisfy isVar) +.+
   (satisfy (isSym '=')) +.+ expr +.+ (lexem InToken) +.+ expr)

 ||| ((satisfy isVar)
 ||| ((satisfy isInt)
```

Transformation in abstrakte Syntax

```
expr :: Parser Token MiniFunkExpr
expr = (texp +.+ expr')
       <<< \(e1, e2) ->
                 if (e2 == Nothing) then e1
                                    else Plus e1 (fromJust e2)

expr' :: Parser Token (Maybe MiniFunkExpr)
expr' =
 (((satisfy (isSym '+')) +.+ texp +.+ expr')
     <<< (\(_,(e1, e2)) ->
           if (e2 == Nothing) then Just e1
                              else Just (Plus e1 (fromJust e2))))
 ||| succeed Nothing

texp :: Parser Token MiniFunkExpr
texp = (((lexem LetToken) +.+ (satisfy isVar) +.+
   (satisfy (isSym '=')) +.+ expr +.+ (lexem InToken) +.+ expr)
 <<< (\(_,(VarToken id, (_, (e, (_, e2))))) -> (Let id e e2)))
 ||| ((satisfy isVar) <<< (\(VarToken id) -> Var id))
 ||| ((satisfy isInt) <<< (\(IntToken n) -> Const n))
```

Grammatik und Übersetzung

Erinnerung: Abstrakte Syntax *Mini funktionale Expressions*

```
data MiniFunkExpr =
       Let String MiniFunkExpr MiniFunkExpr
     | Plus MiniFunkExpr MiniFunkExpr
     | Const Int
     | Var String
     deriving (Eq, Show)
```

Grammatik und Übersetzung

Erinnerung: Abstrakte Syntax *Mini funktionale Expressions*

```
data MiniFunkExpr =
       Let String MiniFunkExpr MiniFunkExpr
     | Plus MiniFunkExpr MiniFunkExpr
     | Const Int
     | Var String
     deriving (Eq, Show)
```

Happy–File mit

```
%% -- aus yacc-Tradition

expr              : Let Var Assign expr In expr { Let $2 $4 $6 }
                  | expr Plus expr { Plus $1 $3 }
                  | Var { Var $1 }
                  | Int { Const $1 }
```

Grammatik und Übersetzung

Erinnerung: Abstrakte Syntax *Mini funktionale Expressions*

```
data MiniFunkExpr =
       Let String MiniFunkExpr MiniFunkExpr
     | Plus MiniFunkExpr MiniFunkExpr
     | Const Int
     | Var String
     deriving (Eq, Show)
```

Happy–File mit

```
%% -- aus yacc-Tradition

expr              : Let Var Assign expr In expr { Let $2 $4 $6 }
                  | expr Plus expr { Plus $1 $3 }
                  | Var { Var $1 }
                  | Int { Const $1 }
```

- Hinter jeder Regel wird eine Haskell–Anweisung angegeben, die beim *Reduce*–Schritt des Parsers ausgeführt wird.
- $n gibt das Ergebnis des n. Symbols der rechten Seite an.

Beispiel

```
Let Var Assign expr In expr { Let $2 $4 $6 }
```

bedeutet: Beim *reduce* wird ein `Let`–Element erzeugt, das als Argumente

1. das Argument des Terminals `Var` ($2) und
2. das Ergebnis von `expr` ($4) und
3. das Ergebnis von `expr` ($6) und

hat.

Beispiel

```
Let Var Assign expr In expr { Let $2 $4 $6 }
```

bedeutet: Beim *reduce* wird ein `Let`–Element erzeugt, das als Argumente

1. das Argument des Terminals `Var` ($2) und
2. das Ergebnis von `expr` ($4) und
3. das Ergebnis von `expr` ($6) und

hat.

```
let x = 2 in x
```

gibt das Paar `Let "x" (Const 2) (Var "x")` zurück.

Haskell-Code

Am Ende der Datei gibt es einen Abschnitt, in dem Haskell-Code programmiert werden kann.

```
{

parseError :: [Token] -> a
parseError _ = error "Parse error"

parser :: String -> MiniFunkExpr
parser = expr . alexScanTokens

main = do
  s <- readFile "Pfad/fst.mfe"
  print (parser s)


}
```

Abstrakte Syntax für Java
Klassendeklaration

Datentyp:

```
data Class = Class(Type, [FieldDecl], [MethodDecl])
```

Abstrakte Syntax für Java
Klassendeklaration

Datentyp:

```
data Class = Class(Type, [FieldDecl], [MethodDecl])
```

Java–Programm

```
class Klassenname { }
```

Abstrakte Syntax für Java
Klassendeklaration

Datentyp:

```
data Class = Class(Type, [FieldDecl], [MethodDecl])
```

Java–Programm

```
class Klassenname { }
```

Abstrakte Syntax:

```
Class("Klassenname", [], [])
```

Instanzvariable (fields)

Datentyp:

```
data FieldDecl = Field(Type, String)
```

Instanzvariable (fields)

Datentyp:

```
data FieldDecl = Field(Type, String)
```

Java–Programm

```
class Klassenname {

  int v;

}
```

Instanzvariable (fields)

Datentyp:

```
data FieldDecl = Field(Type, String)
```

Java–Programm

```
class Klassenname {

  int v;

}
```

Abstrakte Syntax:

```
Field("int", "v")
```

Methoden

Datentyp:

```
data MethodDecl =
  Method(Type, String,[(Type, String)], Stmt)
```

Methoden

Datentyp:

```
data MethodDecl =
  Method(Type, String,[(Type, String)], Stmt)
```

Java–Programm

```
class Klassenname {

  void methode (int x, char y) { }

}
```

Methoden

Datentyp:

```
data MethodDecl =
  Method(Type, String,[(Type, String)], Stmt)
```

Java–Programm

```
class Klassenname {

  void methode (int x, char y) { }

}
```

Abstrakte Syntax:

```
Method("void", "methode",
            [("int", "x"), ("char", "y")],
            Block([]))
```

Expression

```
data Expr = This
          | Super
          | LocalOrFieldVar(String)
          | InstVar(Expr, String)
          | Unary(String, Expr)
          | Binary(String, Expr, Expr)
          | Integer(Integer)
          | Bool(Bool)
          | Char(Char)
          | String(String)
          | Jnull
          | StmtExprExpr(StmtExpr)

data StmtExpr = Assign(Expr, Expr)
           | New(Type, [Expr])
           | MethodCall(Expr, String, [Expr])
```

LocalOrFieldVar

Datentyp:

```
LocalOrFieldVar(String)
```

LocalOrFieldVar

Datentyp:

`LocalOrFieldVar(String)`

Java–Programm

```
class Klassenname {

  int methode (int x, char y) {

      return x;

  }

}
```

LocalOrFieldVar

Datentyp:

```
LocalOrFieldVar(String)
```

Java–Programm

```
class Klassenname {

  int methode (int x, char y) {

      return x;

  }

}
```

Abstrakte Syntax:

```
LocalOrFieldVar("x")
```

InstVar

Datentyp:

```
InstVar(Expr,String)
```

InstVar

Datentyp:

`InstVar(Expr,String)`

Java–Programm

```
class Klassenname {

  int methode (Typ x, char y) {

      return x.v;

  }

}
```

InstVar

Datentyp:

```
InstVar(Expr,String)
```

Java–Programm

```
class Klassenname {

  int methode (Typ x, char y) {

      return x.v;

  }

}
```

Abstrakte Syntax:

```
InstVar(LocalOrFieldVar("x"), "v")
```

Integer

Datentyp:

```
Integer(Integer)
```

Integer

Datentyp:

`Integer(Integer)`

Java–Programm

```
class Klassenname {

  int methode (int x, char y) {

      return 1;

  }

}
```

Integer

Datentyp:

```
Integer(Integer)
```

Java–Programm

```
class Klassenname {

  int methode (int x, char y) {

      return 1;

  }

}
```

Abstrakte Syntax:

```
Integer(1)
```

Binary I

Datentyp:

```
Binary(String, Expr, Expr)
```

Binary I

Datentyp:

```
Binary(String, Expr, Expr)
```

Java–Programm

```
class Klassenname {

  int methode (int x, char y) {

      return 1 + x;

  }

}
```

Binary I

Datentyp:

```
Binary(String, Expr, Expr)
```

Java–Programm

```
class Klassenname {

  int methode (int x, char y) {

      return 1 + x;

  }

}
```

Abstrakte Syntax:

```
Binary("+", Integer(1), LocalOrFieldVar("x"))
```

Binary II

Datentyp:

```
Binary(String, Expr, Expr)
```

Binary II

Datentyp:

```
Binary(String, Expr, Expr)
```

Java–Programm

```
class Klassenname {
  void methode (int x, int y) {

      if (x == y) { }

  }
}
```

Binary II

Datentyp:

```
Binary(String, Expr, Expr)
```

Java–Programm

```
class Klassenname {
  void methode (int x, int y) {

      if (x == y) { }

  }
}
```

Abstrakte Syntax:

```
Binary("==",
          LocalOrFieldVar("x"),
          LocalOrFieldVar("y"))
```

Statement Expression: MethodCall

Datentyp:

```
StmtExprExpr(StmtExpr)
MethodCall(Expr,String,[Expr])
```

Statement Expression: MethodCall

Datentyp:

```
StmtExprExpr(StmtExpr)
MethodCall(Expr,String,[Expr])
```

Java–Programm

```
class Klassenname {

  int methode (Typ x, int y, int z) {
      return x.f(y, z);
  }
}
```

Statement Expression: MethodCall

Datentyp:

```
StmtExprExpr(StmtExpr)
MethodCall(Expr,String,[Expr])
```

Java–Programm

```
class Klassenname {

  int methode (Typ x, int y, int z) {
      return x.f(y, z);
  }
}
```

Abstrakte Syntax:

```
StmtExprExpr(MethodCall(LocalOrFieldVar("x")),
             "f",
             [LocalOrFieldVar("y"), LocalOrFieldVar("z")])
```

Statements

```
data Stmt = Block([Stmt])
          | Return( Expr )
          | While( Expr , Stmt )
          | LocalVarDecl( Type, String )
          | If( Expr, Stmt , Maybe Stmt )
          | StmtExprStmt(StmtExpr)

data StmtExpr = Assign(Expr, Expr)
          | New(Type, [Expr])
          | MethodCall(Expr, String, [Expr])
```

Return–Statement

Datentyp:

```
Return( Expr )
```

Return–Statement

Datentyp:

```
Return( Expr )
```

Java–Programm

```
class Klassenname {

  int methode (int x, char y) {
      return 1 + x;
  }

}
```

Return–Statement

Datentyp:

```
Return( Expr )
```

Java–Programm

```
class Klassenname {

  int methode (int x, char y) {
      return 1 + x;
  }

}
```

Abstrakte Syntax:

```
Return(Binary("+",
              Integer(1),
              LocalOrFieldVar("x")))
```

While–Statement

Datentyp:

```
While( Expr, Stmt )
```

While–Statement

Datentyp:

```
While( Expr, Stmt )
```

Java–Programm

```
class Klassenname {

  void methode (int x, char y) {
      while (x < 1) { }
  }

}
```

While–Statement

Datentyp:

```
While( Expr, Stmt )
```

Java–Programm

```
class Klassenname {

  void methode (int x, char y) {
      while (x < 1) { }
  }

}
```

Abstrakte Syntax:

```
While(Binary("<",
                  LocalOrFieldVar("x"),
                  Integer(1)),
      Block([]))
```

LocalVarDecl–Statement

Datentyp:

```
LocalVarDecl( Type, String )
```

LocalVarDecl–Statement

Datentyp:

```
LocalVarDecl( Type, String )
```

Java–Programm

```
class Klassenname {

  void methode (int x, char y) {
      int i;
  }

}
```

LocalVarDecl–Statement

Datentyp:

```
LocalVarDecl( Type, String )
```

Java–Programm

```
class Klassenname {

  void methode (int x, char y) {
      int i;
  }

}
```

Abstrakte Syntax:

```
LocalVarDecl("int", "i")
```

If (ohne else)

Datentyp:

```
If(Expr, Stmt, Maybe Stmt)
```

If (ohne else)

Datentyp:

```
If(Expr, Stmt, Maybe Stmt)
```

Java–Programm

```
class Klassenname {
  int methode (int x, int y) {
      if (x == y)  return 1;

  }
```

If (ohne else)

Datentyp:

```
If(Expr, Stmt, Maybe Stmt)
```

Java–Programm

```
class Klassenname {
  int methode (int x, int y) {
      if (x == y)  return 1;

}
```

Abstrakte Syntax:

```
If(Binary("==",
                LocalOrFieldVar("x"),
                LocalOrFieldVar("y")),
   Return(Integer(1))),
   Nothing)
```

If (mit else)

Datentyp:

```
If(Expr, Stmt, Maybe Stmt)
```

Java–Programm

```
class Klassenname {
  int methode (int x, int y) {
      if (x == y)  return 1;
      else return 2;
}
```

Abstrakte Syntax:

```
If(Binary("==",
                LocalOrFieldVar("x"),
                LocalOrFieldVar("y")),
   Return(Integer(1)),
   Just (Return(Integer(2))))
```

Statement Expression: Assign

Datentyp:

```
StmtExprStmt(StmtExpr)
Assign(Expr, Expr)
```

Statement Expression: Assign

Datentyp:

```
StmtExprStmt(StmtExpr)
Assign(Expr, Expr)
```

Java–Programm

```
class Klassenname {

  void methode (Typ x, int y, int z) {
      int i;
      i = x;
  }
}
```

Statement Expression: Assign

Datentyp:

```
StmtExprStmt(StmtExpr)
Assign(Expr, Expr)
```

Java–Programm

```
class Klassenname {

  void methode (Typ x, int y, int z) {
      int i;
      i = x;
  }
}
```

Abstrakte Syntax:

```
StmtExprStmt(Assign(LocalOrFieldVar("i"),
                    LocalOrFieldVar("x")))
```

Komplettes Beispiel

```
class Klassenname {
  int v;
  int methode (Typ x, int y, int z) {
      int i;
      i = v;
      return i;
   }
}
```

Komplettes Beispiel

```
class Klassenname {
  int v;
  int methode (Typ x, int y, int z) {
      int i;
      i = v;
      return i;
   }
}
```

Abstrakte Syntax:

```
Class("Klassenname",
      [Field("int", "v")],
      [Method ("int", "methode",
         [("Typ", "x"), ("int", "y"), ("int", "z")],
         Block([LocalVarDecl("int, "i"),
                StmtExprStmt(
                  Assign(LocalOrFieldVar("i"),
                         LocalOrFieldVar("v"))),
                Return (LocalOrFieldVar(i))]))])
```

Ungetypte abstrakte Syntax für *Mini*–Java I

```
data Class = Class(Type, [FieldDecl], [MethodDecl])

data FieldDecl = Field(Type, String)

data MethodDecl = Method(Type, String,[(Type,String)], Stmt)

data Stmt = Block([Stmt])
          | Return( Expr )
          | While( Expr , Stmt )
          | LocalVarDecl(Type, String)
          | If(Expr, Stmt , Maybe Stmt)
          | StmtExprStmt(StmtExpr)

data StmtExpr = Assign(String, Expr)
              | New(Type, [Expr])
              | MethodCall(Expr, String, [Expr])
```

Ungetypte abstrakte Syntax für *Mini*–Java II

```
data Expr = This
          | Super
          | LocalOrFieldVar(String)
          | InstVar(Expr, String)
          | Unary(String, Expr)
          | Binary(String, Expr, Expr)
          | Integer(Integer)
          | Bool(Bool)
          | Char(Char)
          | String(String)
          | Jnull
          | StmtExprExpr(StmtExpr)

type Prg = [Class]
```