Compilerbau

Martin Plümicke

WS 2021/22

Agenda

Überblick Vorlesung

- Literatur

Compiler Überblick

Compiler (I)

- Scanner
- Parser

Überblick Funktionale Programmierung

- Einleitung
- Haskell-Grundlagen
- Scanner in Funktionalen Sprachen
- Parser in Funktionalen Sprachen

Compiler (II)

- Abstrakte Syntax
- Abstrakte Syntax Java
- Semantische Analyse/Typecheck

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

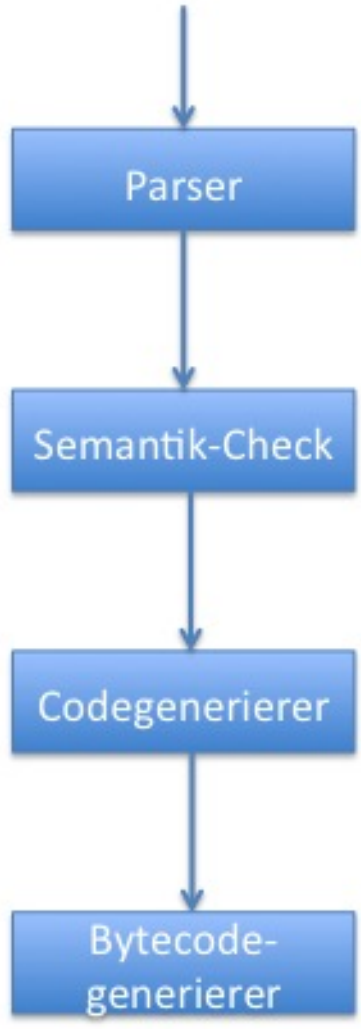
James Gosling, Bill Joy, Guy Steele, Gilad Bracha, and Alex Buckley.
The Java® Language Specification.
The Java series. Addison-Wesley, Java SE 8 edition, 2014.

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

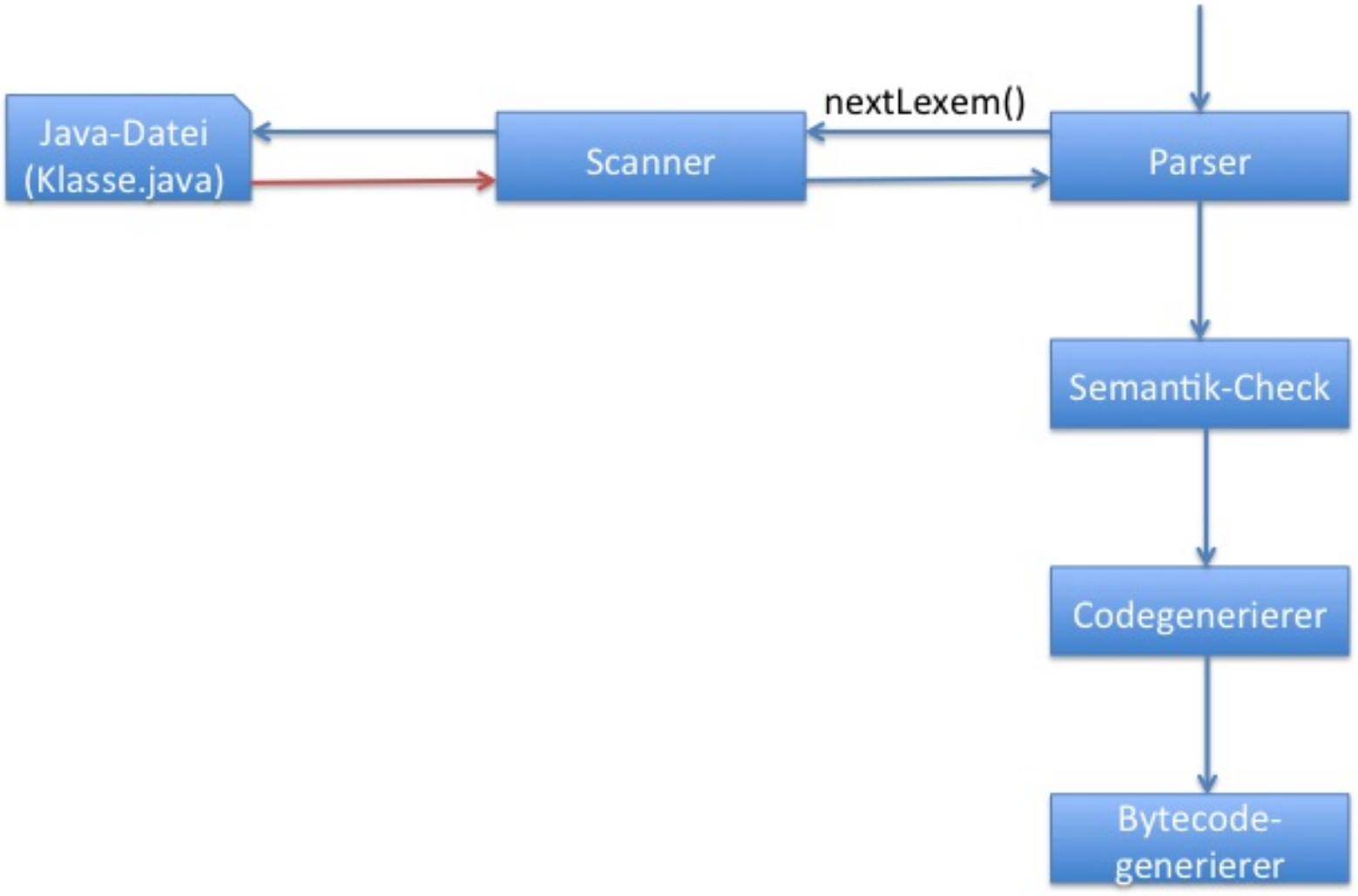
Bryan O'Sullivan, Donald Bruce Stewart, and John Goerzen.
Real World Haskell.
O'Reilly, 2009.

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

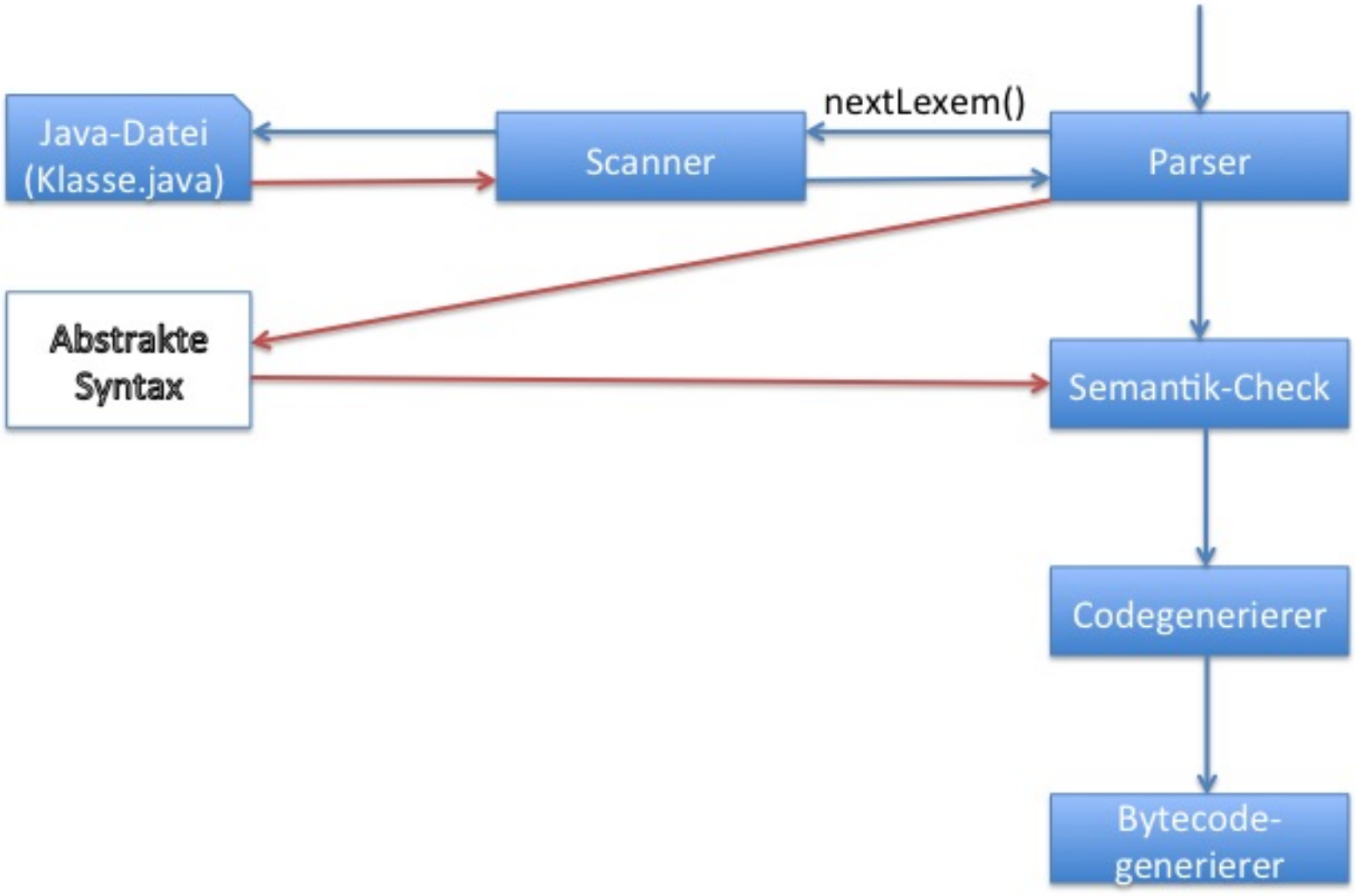
Compiler Überblick



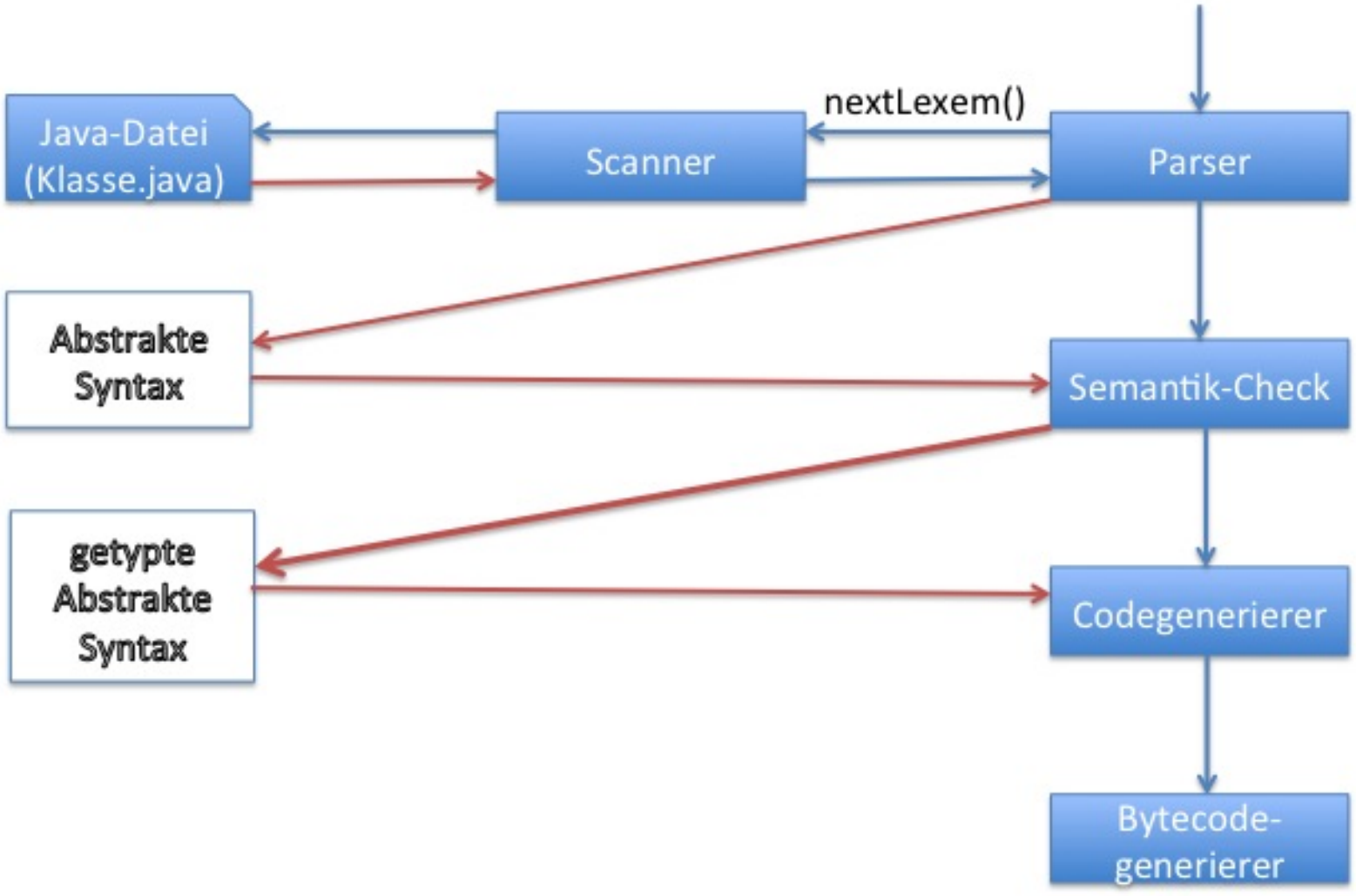
Compiler Überblick



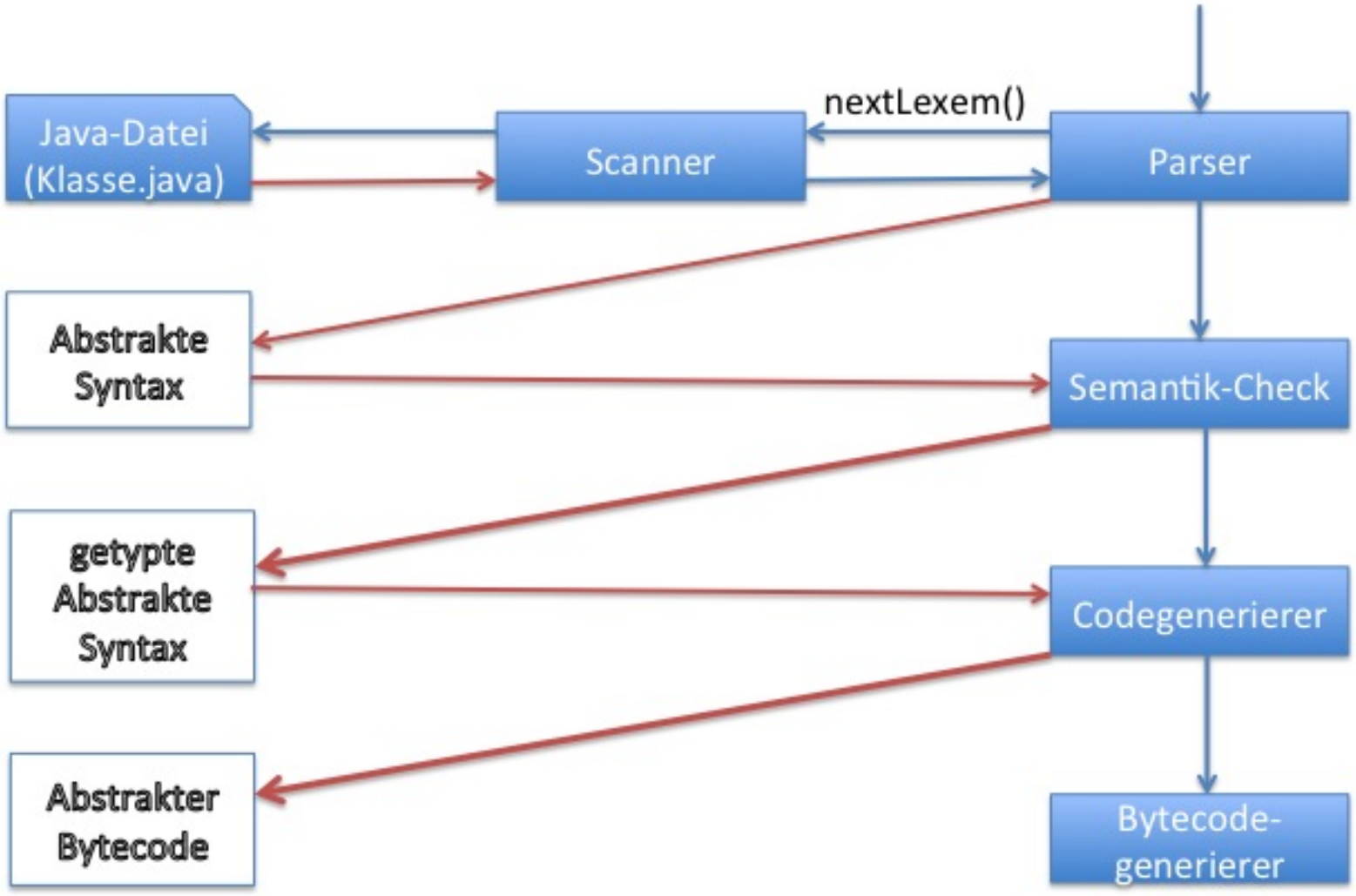
Compiler Überblick



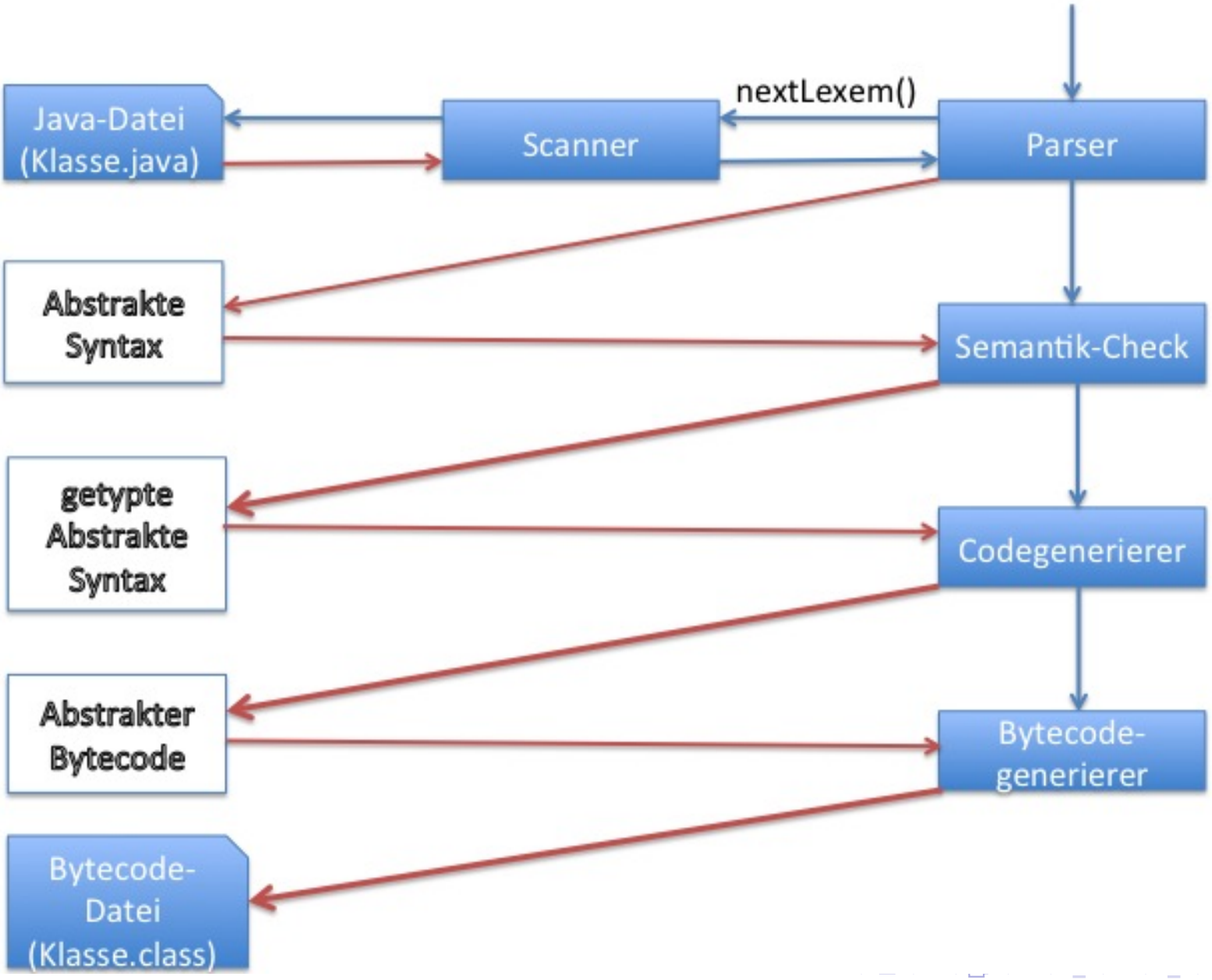
Compiler Überblick



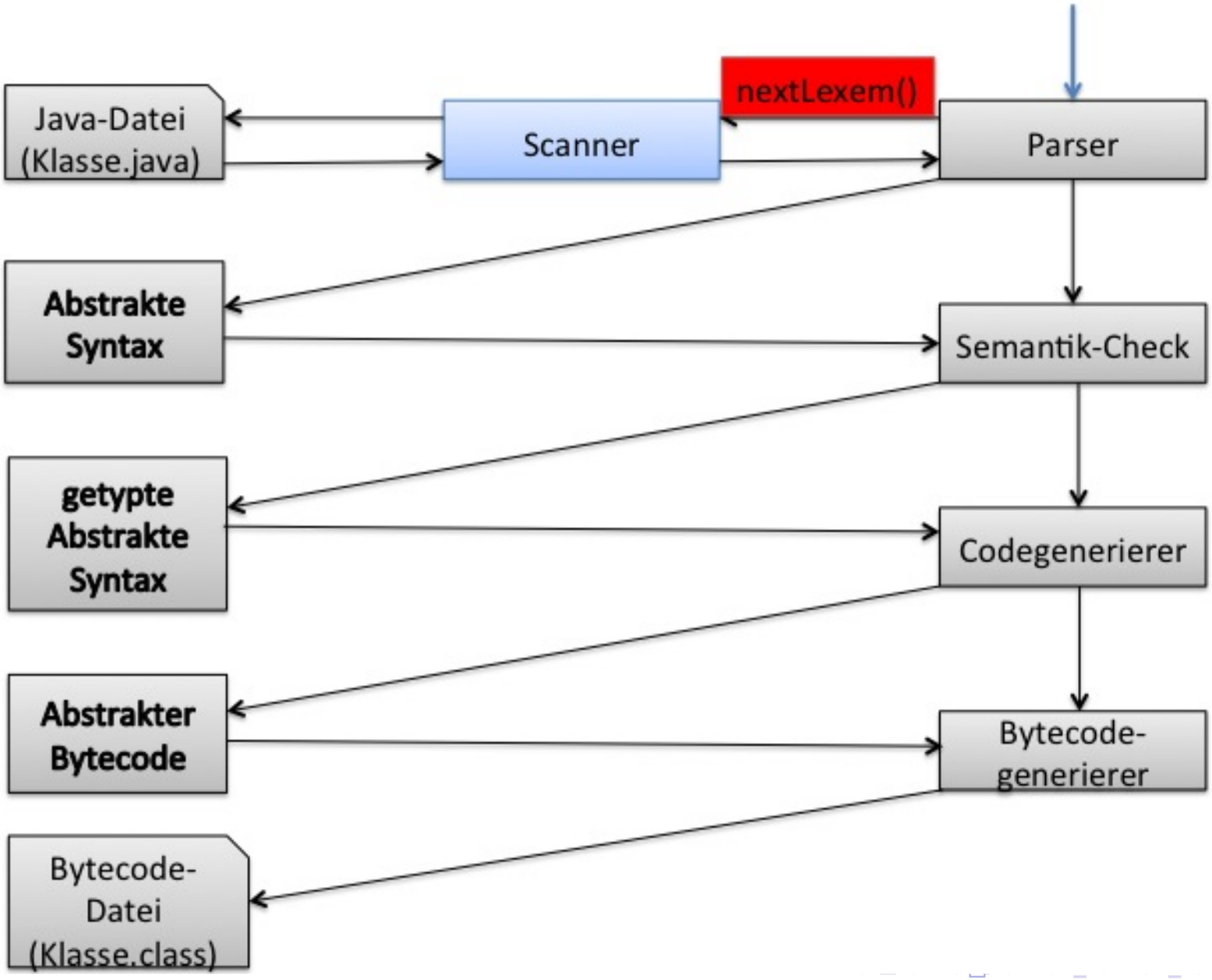
Compiler Überblick



Compiler Überblick



Scanner


Java-Datei
(Klasse.java)
Scanner
nextLexem()
Parser
Abstrakte
Syntax
Semantik-Check
getypte
Abstrakte
Syntax
Codegenerierer
Abstrakter
Bytecode
Bytecode-
generierer
Bytecode-
Datei
(Klasse.class)

Programmiersprachen

Programmiersprachen werden als formale Sprachen über einem Alphabet von Tokens definiert.

Lexeme, Tokens

Für jede Programmiersprache wird eine Menge von Strings festgelegt, über die die erlaubte Struktur dann definiert wird. Man nennt diese Strings Lexeme.

Verschiedene Lexeme, die eine ähnliche Bedeutung haben, fasst man zu Klassen von Lexemen zusammen. Die Klassen heißen Tokens.

Lexeme, Tokens

Für jede Programmiersprache wird eine Menge von Strings festgelegt, über die die erlaubte Struktur dann definiert wird. Man nennt diese Strings Lexeme.

Verschiedene Lexeme, die eine ähnliche Bedeutung haben, fasst man zu Klassen von Lexemen zusammen. Die Klassen heißen Tokens.

Um Tokens bilden zu können, muss man jedes Lexem (String) durch eine reguläre Sprache über den Symbolen eines Zeichensatzes (z.B. ASCII, latin-1, UTF-8, ...) beschreiben.

Reguläre Ausdrücke

Sei Σ ein Alphabet, dann ist die Menge der regulären Ausdrücke über Σ : $R(\Sigma)$ definiert als kleinste Menge mit folgenden Eigenschaften.

a) $\varepsilon \in R(\Sigma)$

b) $\Sigma \subseteq R(\Sigma)$

c) $a \in R(\Sigma) \wedge b \in R(\Sigma) \Rightarrow ab \in R(\Sigma)$
$a|b \in R(\Sigma)$
$a^* \in R(\Sigma)$
$(a) \in R(\Sigma)$

Reguläre Ausdrücke

Sei Σ ein Alphabet, dann ist die Menge der regulären Ausdrücke über Σ : $R(\Sigma)$ definiert als kleinste Menge mit folgenden Eigenschaften.

a) $\varepsilon \in R(\Sigma)$

b) $\Sigma \subseteq R(\Sigma)$

c) $a \in R(\Sigma) \wedge b \in R(\Sigma) \Rightarrow ab \in R(\Sigma)$
$a|b \in R(\Sigma)$
$a^* \in R(\Sigma)$
$(a) \in R(\Sigma)$

Beispiel: $\Sigma = \{a, b, c\}$

$$R(\Sigma) = \{\varepsilon, a, b, c, ab, ac, aa, \ldots, abac, aaa, \ldots, a|b, a|c, b|c, aa|bc, \ldots, aa|bc|aa, a^*, b^*, aaaa^*, (a), (b), (a|c), (a|c)^*, (a|c)^*a, \ldots\}$$

Reguläre Sprache

Sei $\alpha \in R(\Sigma)$ ein regulärer Ausdruck, so ist die reguläre Sprache $\mathcal{L}(\alpha)$ definiert durch die kleinste Menge mit folgenden Eigenschaften:

1. $\mathcal{L}(\varepsilon) = \varepsilon(=\text{""})$
2. $\alpha \in \Sigma \Rightarrow \mathcal{L}(\alpha) = \{\alpha\}$
3. - $\alpha = \beta\gamma \Rightarrow \mathcal{L}(\alpha) = \{ww' | w \in \mathcal{L}(\beta), w' \in \mathcal{L}(\gamma)\}$
   - $\alpha = \beta|\gamma \Rightarrow \mathcal{L}(\alpha) = \mathcal{L}(\beta) \cup \mathcal{L}(\gamma)$
   - $\alpha = \beta^* \Rightarrow \mathcal{L}(\alpha) = \{\varepsilon\} \cup \{ww' | w \in \mathcal{L}(\beta), w' \in \mathcal{L}(\beta^*)\}$
4. $\alpha = (\beta) \Rightarrow \mathcal{L}(\alpha) = \mathcal{L}(\beta)$

Deterministische endliche Automat (DEA)

Unter einem DEA versteht man

$$A = (Q, \Sigma, \delta, s, F)$$

mit

- $Q \triangleq$ Zustandsmenge (endlich)
- $\Sigma \triangleq$ Alphabet
- $\delta \triangleq$ Übergangsfunktion: $Q \times \Sigma \to Q$
- $s \in Q \triangleq$ Anfangszustand
- $F \subseteq Q \triangleq$ Menge der Finalzustände

Deterministische endliche Automat (DEA)

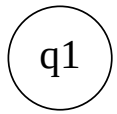
Unter einem DEA versteht man

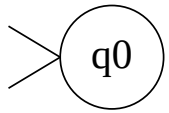
$$A = (Q, \Sigma, \delta, s, F)$$

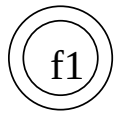
mit

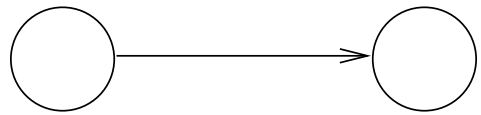
- $Q \triangleq$ Zustandsmenge (endlich)
- $\Sigma \triangleq$ Alphabet
- $\delta \triangleq$ Übergangsfunktion: $Q \times \Sigma \to Q$
- $s \in Q \triangleq$ Anfangszustand
- $F \subseteq Q \triangleq$ Menge der Finalzustände

DEAs kann man grafisch darstellen:

- **Zustände:** 

- **Startzustand:** 

- **Finalzustand:** 

- **Übergangsfunktion:** 

Reg. Ausdruck nach DEA

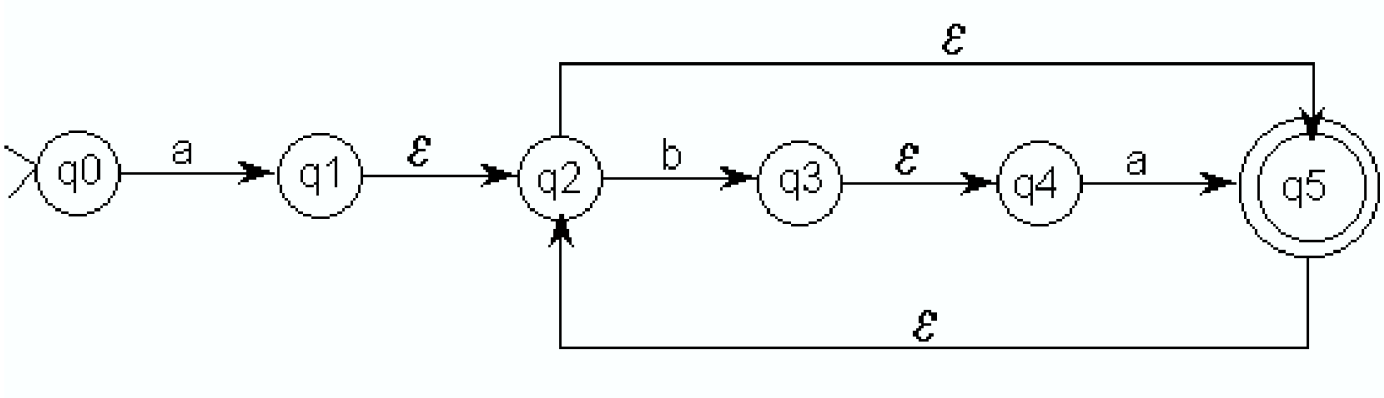
Man kann reguläre Ausdruck in DEA's übersetzen, die die Sprachen der regulären Ausdruck erkennen:

$$\text{reg.Ausdruck} \overset{reg2auto}{\Rightarrow} \text{NEA} \overset{NEA2DEA}{\Rightarrow} \text{DEA}$$

Beispiel: $a(ba)*$

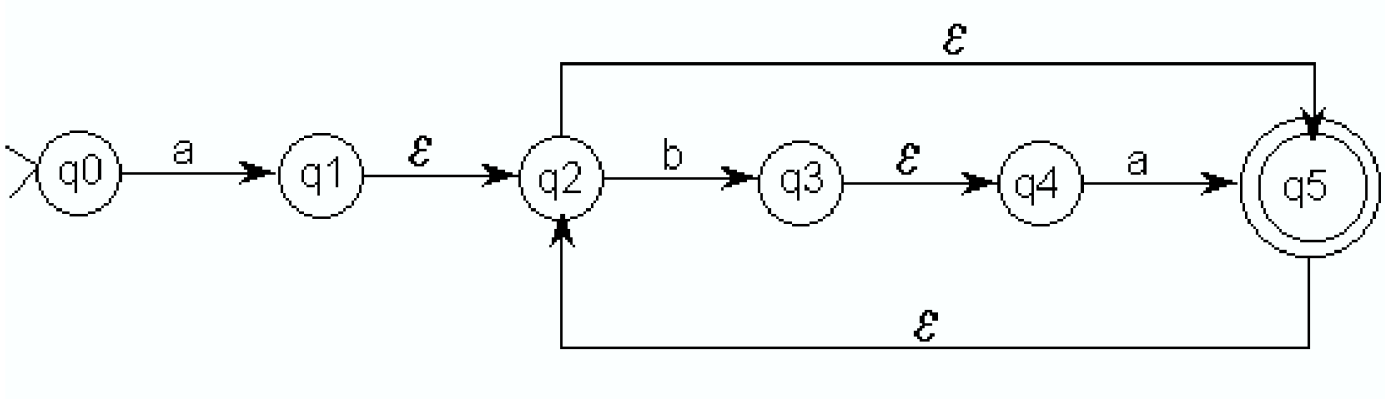
Beispiel: $a(ba)*$

NEA:

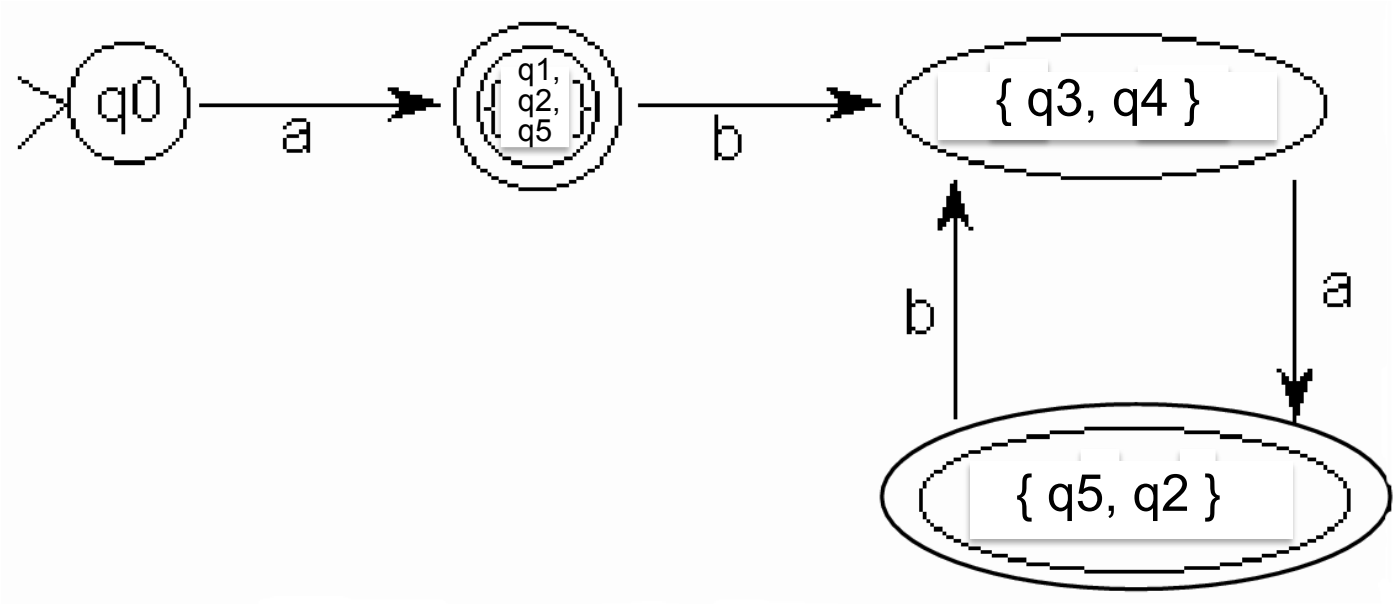


Beispiel: $a(ba)*$

NEA:



DEA:



Lex–Spezifikation

r_1 { action_1 }
r_2 { action_2 }
...
r_n { action_n }

$r_i \triangleq$ regulärer Ausdruck
$\text{action}_i \triangleq$ Aktion in bestimmter Programmiersprache

Beispiel

`public` | `protected` | `private` `{ }` // (Token *Zugriffsrechte*)
`static` `{ }` // (Token *STATIC*)
`abstract` `{ }` // (Token *ABSTRACT*)
`class` `{ }` // (Token *CLASS*)
`while` `{ }` // (Token *WHILE*)
`do` `{ }` // (Token *DO*)
`if` `{ }` // (Token *IF*)
(`a`|...|`z`|`A`|...|`Z`)(`a`|...|`z`|`A`|...|`Z`|`0`|...|`9`)* `{ }` // (Token *IDENTIFIER*)
`;` `{ }` // (Token *SEMIKOLON*)
“Σ*” `{ }` // (Token *STRING*)

Principle of longest match

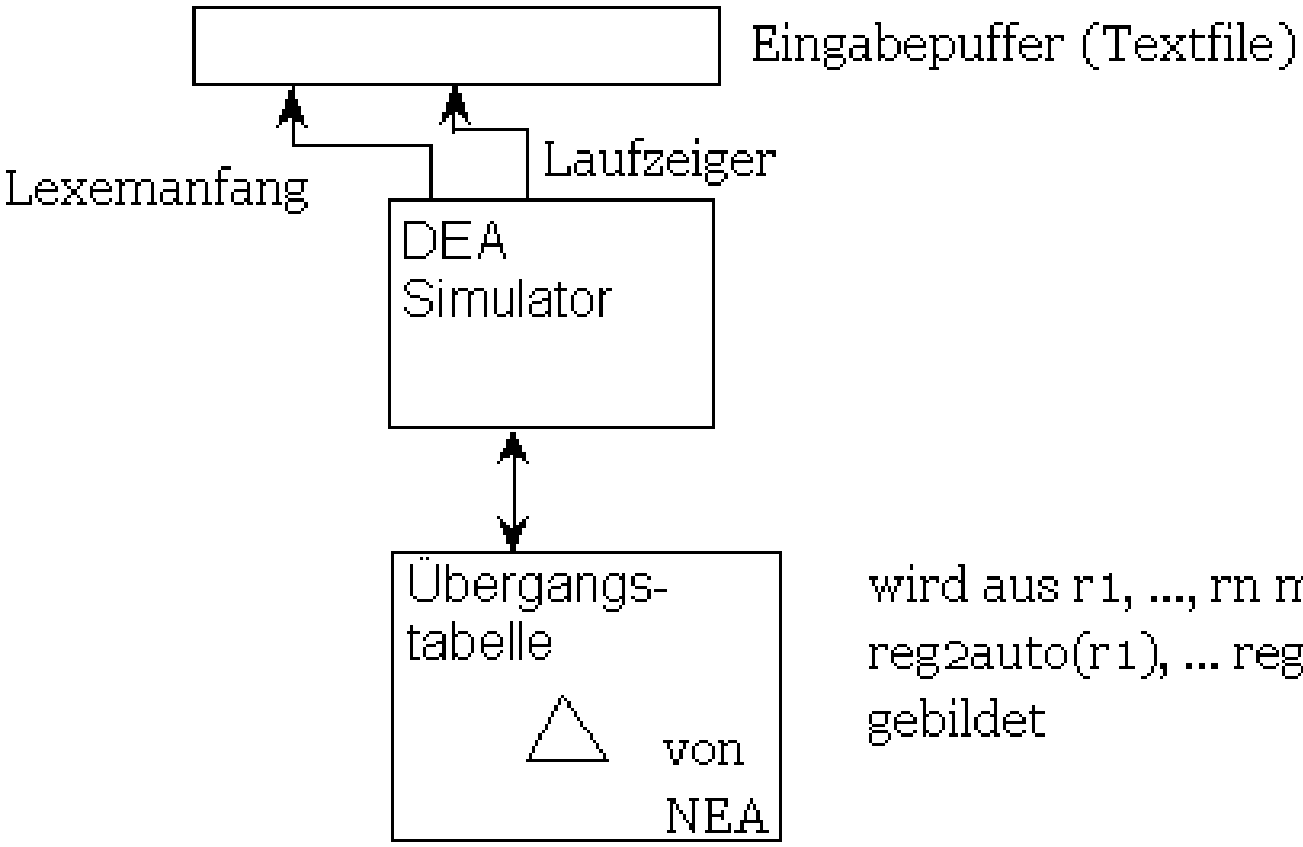
Es wird immer so weit gelesen, dass nach dem nächsten Zeichen kein regulärer Ausdruck der Lex–Spezifikation mehr passen würde.
Genügt das längste passende Lexem immernoch mehreren regulären Ausdrücken, so wird der reguläre Ausdruck genommen, der den kleinsten Index hat.

Principle of longest match

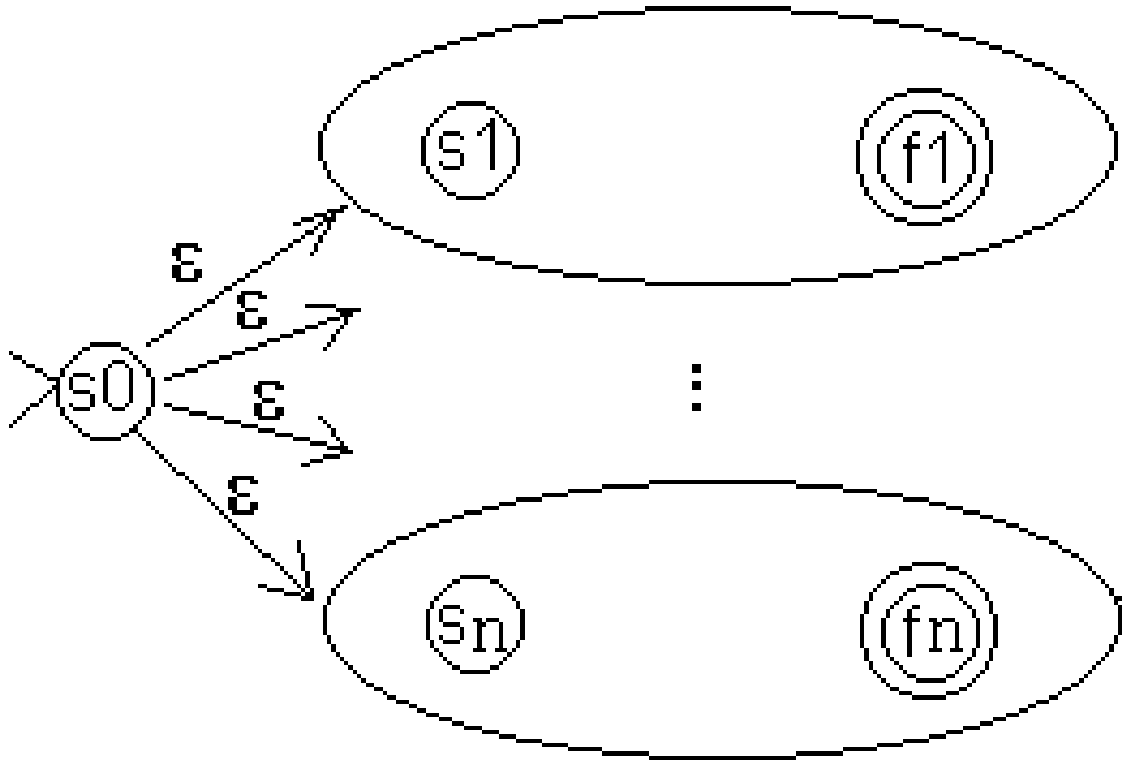
Es wird immer so weit gelesen, dass nach dem nächsten Zeichen kein regulärer Ausdruck der Lex–Spezifikation mehr passen würde.
Genügt das längste passende Lexem immernoch mehreren regulären Ausdrücken, so wird der reguläre Ausdruck genommen, der den kleinsten Index hat.

Beispiel:
whilei $\rightarrow$ Token *Identifier*
while $\rightarrow$ Token *WHILE*

Arbeitsweise eines Scanners



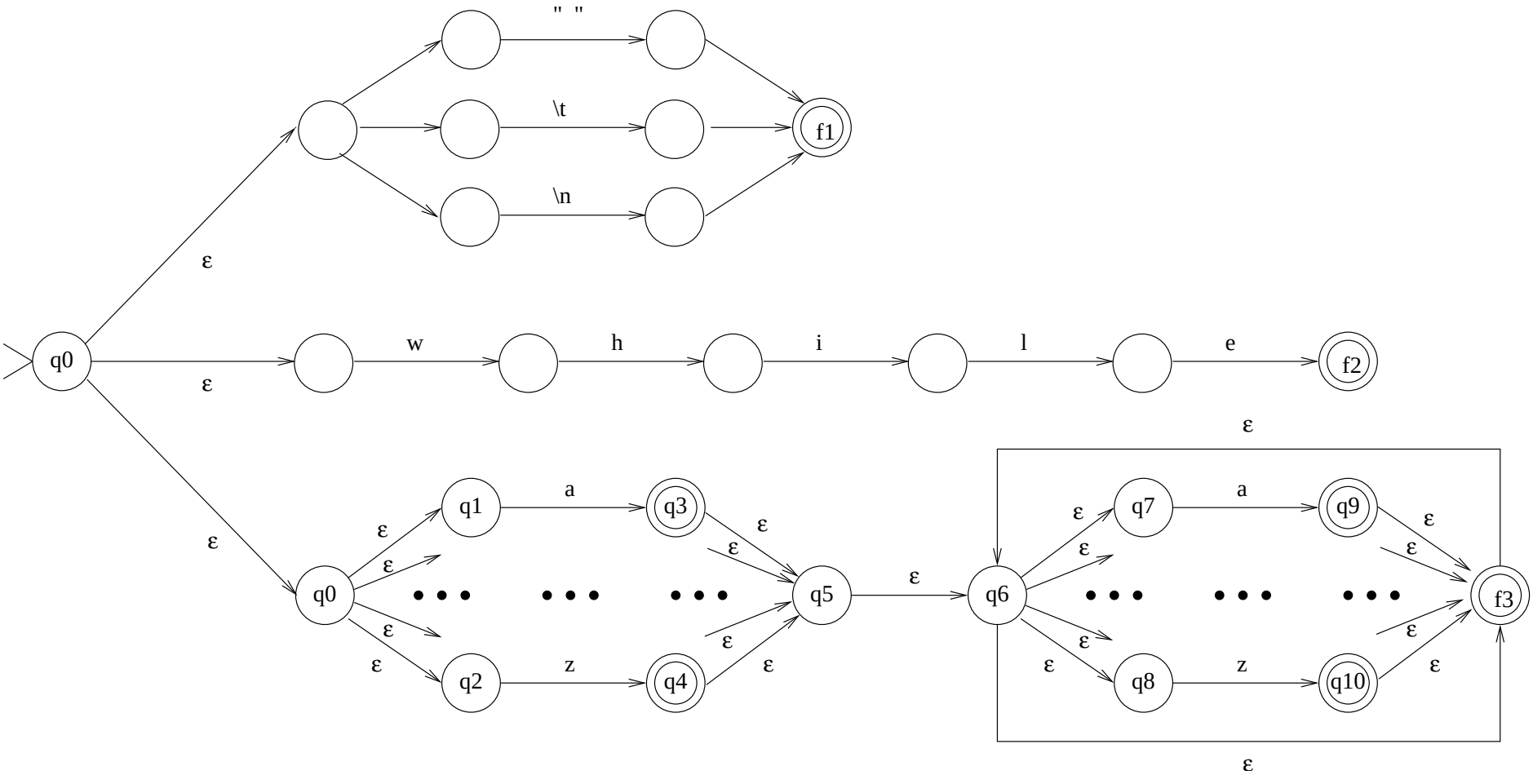
NEA der Lex–Spezifikation (Übergangstabelle)



Beispiel Mini-Java

```
[ \t\n]
while
[a-z][a-z]*
```

Beispiel Mini-Java



Der Scannergenerator *JLex*

- JLex ist ein Tool welches aus einer Lex–Spezifikation ein Java–Programm generiert, das den DEA–Simulator implementiert.
- Die Actions der Lex–Spezifikation werden in Java ausprogrammiert.

Die JLex - Spezifikation

```
User Code (Java)
%%
JLex Direktive
%%
Lex--Spezifikation
```

JLex–Direktiven (Anweisungen) I

`%class` *name* : definiert den Klassennamen *name* der erzeugten Klasse (default: `Yylex`)

`%function` *name* : definiert den Methodennamen *name*, die das nächste Lexem liest (default: `yylex()`)

`%type` *name* : definiert den Rückgabetyp von der Methode, die das nächste Lexem liest (default: `Yytoken`)

JLex–Direktiven (Anweisungen) II

```
%{
Java – Code
%}
```

: *Java – Code* wird an den Anfang der erzeugten Klasse kopiert

```
%init{
Java – Code
%init}
```

: *Java – Code* wird in den Konstruktor der erzeugten Klasse kopiert.

```
%eof{
Java – Code
%eof}
```

: *Java – Code* wird ausgeführt bei Erreichen des Dateiendes.

Java–Klasse erzeugen

Das Packet `JLex2.jar` muss in den `CLASSPATH` der Java–Umgebung aufgenommen werden

Aufruf der Scannergenerators:

`java -cp JLex2.jar JLex2.Main Datei` (JLex-Spezifikation)

Dadurch wird die Klasse `Datei.java` erzeugt, die den DEA–Simulator für die JLex-Spezifikation `Datei` enthält

JLex–Spezifikation I

Als Beispiel geben wir eine JLex–Spezifikation für einen kleiner Ausschnitt der Sprache html an.

```
%%

%public
%class browserlexer
%type int
%eofval{
  System.out.println("EOF reached");
  return -1;
%eofval}

a = (a|A)
b = (b|B)

ws = [ \t\r\n\b\015]+
```

JLex–Spezifikation II

```
%%
"<"(h|H)(t|T)(m|M)(l|L)">"  { System.out.println(yytext()); }
"</"(h|H)(t|T)(m|M)(l|L)">" { System.out.println(yytext()); }

"<"{b}">"           { System.out.println(yytext()); }
"</"{b}">"          { System.out.println(yytext()); }

[^\<]+              { System.out.println(yytext()); }
{ws}                { System.out.println(yytext()); }
.                   { System.out.println("FEHLER: "+yytext()); }
```

Java–Klasse für den Aufruf

```
class Main {

  public static void main(String args[])
                    throws java.io.IOException {

    browserlexer b =
        new browserlexer (
                    new java.io.InputStreamReader(System.in));
    while (b.yylex() != -1) {}
    }
}
```

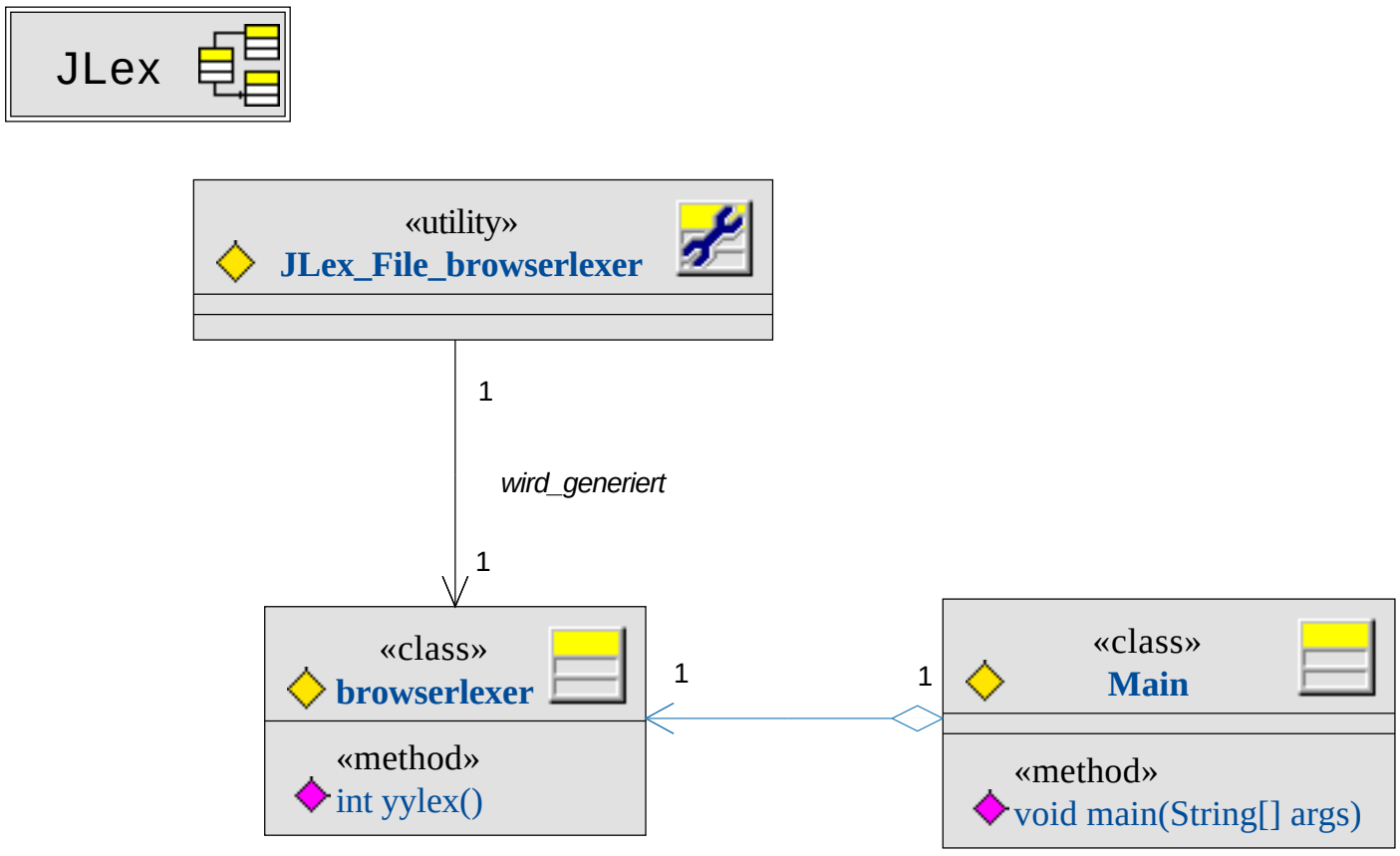
Makefile

```
Main.class: browserlexer.class Main.java
<TAB>   javac Main.java

browserlexer.class: browserlexer.java
<TAB>   javac browserlexer.java

browserlexer.java: browserlexer
<TAB>   java -cp JLex2.jar JLex2.Main browserlexer


clean:
<TAB>   rm *.class browserlexer.java
```


JLex
«utility»
JLex_File_browserlexer
1
wird_generiert
1
«class»
browserlexer
«method»
int yylex()
1
1
«class»
Main
«method»
void main(String[] args)