

Computerlinguistik II: Übung

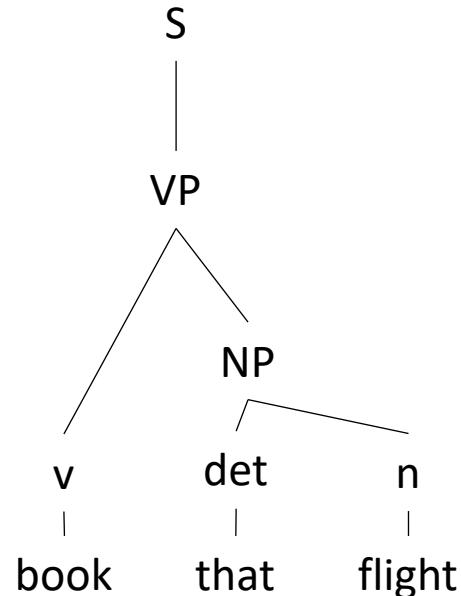
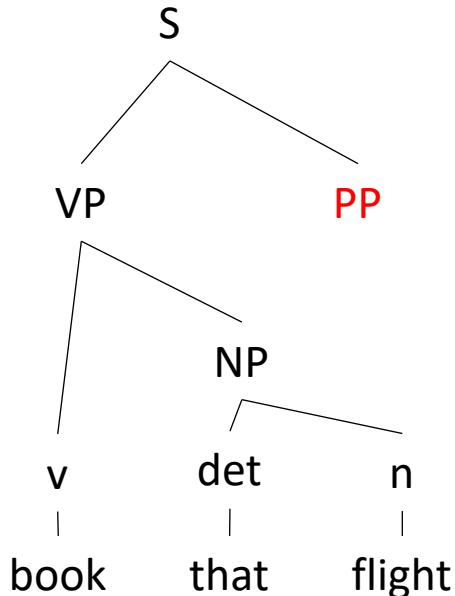
Earley Parsing

Sven Büchel

Jena University Language and Information Engineering (JULIE) Lab
Friedrich-Schiller-University Jena,
Jena, Germany

<https://julielab.de>

Problem einfacher Parsing-Strategien



$G = (N, T, P, S)$ mit
 ...
 $P = \{ S \rightarrow VP\ PP,$
 $S \rightarrow VP,$
 ...
 }

- Mehrfachberechnung von Teilbaumstrukturen
- Vorhandene Ambiguität wird ggf. nicht erkannt
- Fehlendes Abbruchkriterium beim linksrekursiven Regeln
- Idee: Alle möglichen Analysen für Teilbaumstrukturen werden parallel berechnet und gespeichert

Earley-Algorithmus: Grundzüge

- Füllt eine Tabelle (**Chart**) während eines einzigen Durchlaufs über den Eingabesatz
- Chart hat $N+1$ Einträge bei Satz der Länge N
- Chart speichert zu jeder Wortposition eine Liste von Zuständen (**States**). Diese repräsentieren all bis dahin möglichen Teilbäume
- Nach Ablauf des Algorithmus stehen in der letzten Chart-Position alle möglichen Analysen des Satzes

Chart für *book that flight*

Chart[0]

$\gamma \rightarrow \bullet S$	[0,0]	Dummy start state
$S \rightarrow \bullet NP VP$	[0,0]	Predictor
$NP \rightarrow \bullet Det NOMINAL$	[0,0]	Predictor
$NP \rightarrow \bullet Proper-Noun$	[0,0]	Predictor
$S \rightarrow \bullet Aux NP VP$	[0,0]	Predictor
$S \rightarrow \bullet VP$	[0,0]	Predictor
$VP \rightarrow \bullet Verb$	[0,0]	Predictor
$VP \rightarrow \bullet Verb NP$	[0,0]	Predictor

Chart[1]

$Verb \rightarrow book \bullet$	[0,1]	Scanner
$VP \rightarrow Verb \bullet$	[0,1]	Completer
$S \rightarrow VP \bullet$	[0,1]	Completer
$VP \rightarrow Verb \bullet NP$	[0,1]	Completer
$NP \rightarrow \bullet Det NOMINAL$	[1,1]	Predictor
$NP \rightarrow \bullet Proper-Noun$	[1,1]	Predictor

Chart[2]

$Det \rightarrow that \bullet$	[1,2]	Scanner
$NP \rightarrow Det \bullet NOMINAL$	[1,2]	Completer
$NOMINAL \rightarrow \bullet Noun$	[2,2]	Predictor
$NOMINAL \rightarrow \bullet Noun NOMINAL$	[2,2]	Predictor

Chart[3]

$Noun \rightarrow flight \bullet$	[2,3]	Scanner
$NOMINAL \rightarrow Noun \bullet$	[2,3]	Completer
$NOMINAL \rightarrow Noun \bullet NOMINAL$	[2,3]	Completer
$NP \rightarrow Det NOMINAL \bullet$	[1,3]	Completer
$VP \rightarrow Verb NP \bullet$	[0,3]	Completer
$S \rightarrow VP \bullet$	[0,3]	Completer
$NOMINAL \rightarrow \bullet Noun$	[3,3]	Predictor
$NOMINAL \rightarrow \bullet Noun NOMINAL$	[3,3]	Predictor

Diese und die nachfolgenden Abbildungen sind entnommen aus:

Dan Jurafsky & James Martin. 2000. Speech and Language Processing. Ed 1. Pearson. S. 375-384.

Zustände

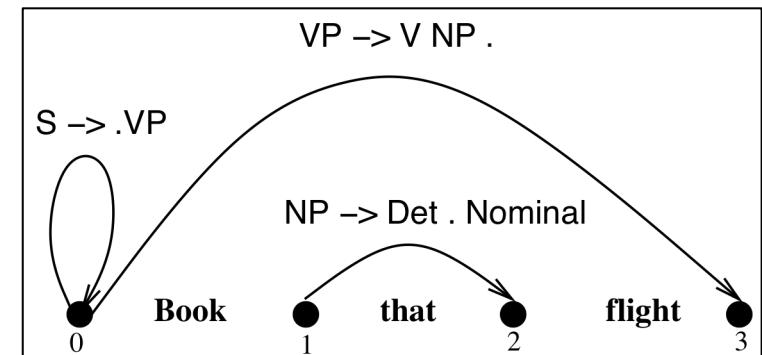
- Bestehen aus:
 - Produktionsregel (repräsentiert einen Teilbaum)
 - Fortschritt in der Erkennung dieser Regel („•“)
 - Position im Eingabesatz: [Teilbaumstart, •-Position]
- Steht in der letzten Chartposition ein Zustand $S \rightarrow a\bullet$, $[0, N]$ wurde der Satz erfolgreich verarbeitet

$S \rightarrow \bullet VP, [0, 0]$

$NP \rightarrow Det \bullet Nominal, [1, 2]$

$VP \rightarrow V NP \bullet, [0, 3]$

Notation im Chart



Alternative Graphennotation

Grundlegender Ablauf

- Algorithmus arbeitet sich von links nach rechts durch die Eingabe bzw. Chartpositionen
- In jeder Chartposition werden nacheinander alle Zustände betrachtet
- Je nach Beschaffenheit des Zustands wird eine von drei Funktionen ausgeführt (Predictor, Scanner, Completer)
- Diese fügen weitere Zustände zum Chart hinzu (falls noch nicht vorhanden), entweder an der aktuellen Chartposition (Predictor, Completer) oder an der nächsten (Scanner)

Grundlegender Ablauf (Pseudocode)

```

function EARLEY-PARSE(words, grammar) returns chart
    ENQUEUE(( $\gamma \rightarrow \bullet S$ , [0,0]), chart[0])
    for i  $\leftarrow$  from 0 to LENGTH(words) do
        for each state in chart[i] do
            if INCOMPLETE?(state) and
                NEXT-CAT(state) is not a part of speech then
                    PREDICTOR(state)
                elseif INCOMPLETE?(state) and
                    NEXT-CAT(state) is a part of speech then
                    SCANNER(state)
                else
                    COMPLETER(state)
            end
        end
    return(chart)

```

...

```

procedure ENQUEUE(state, chart-entry)
    if state is not already in chart-entry then
        PUSH(state, chart-entry)
    end

```

Predictor

- Wird aufgerufen, wenn Teilbaum noch nicht vollständig erkannt und nächstes Symbol (rechts vom „•“) NT aber kein POS-Symbol ist
- Top-Down Vorhersage
- Füge mögliche Erweiterungen zum Chart an der aktuellen Position hinzu

Predictor (Pseudocode)

```
procedure PREDICTOR( $(A \rightarrow \alpha \bullet B \beta, [i, j])$ )
  for each  $(B \rightarrow \gamma)$  in GRAMMAR-RULES-FOR( $B, grammar$ ) do
    ENQUEUE( $(B \rightarrow \bullet \gamma, [j, j]), chart[j]$ )
  end
```

Scanner

- Wird aufgerufen, wenn Teilbaum noch nicht vollständig erkannt und nächstes Symbol POS-Symbol ist
- Bottom-Up Vorhersage
- Füge neuen Zustand für erkannte POS-Regel an nächster Chartposition hinzu

Scanner (Pseudocode)

```
procedure SCANNER( $(A \rightarrow \alpha \bullet B \beta, [i, j])$ )
    if  $B \subset \text{PARTS-OF-SPEECH}(word[j])$  then
        ENQUEUE( $(B \rightarrow word[j], [j, j + 1]), chart[j+1]$ )
```

Completer

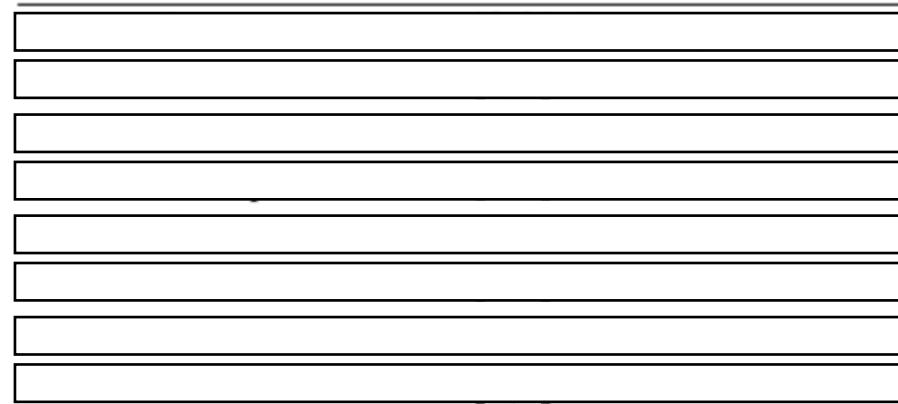
- Wird aufgerufen, wenn Teilbaum vollständig erkannt („•“ ganz rechts)
- Schaut zurück auf Zustände, die als nächstes die Erkennung der entsprechenden Konstituente erwarten
- Fügt neuen Zustand an aktueller Chartposition hinzu, bei dem der „•“ hinter die entsprechende Konstituente vorgerückt wurde

Completer (Pseudocode)

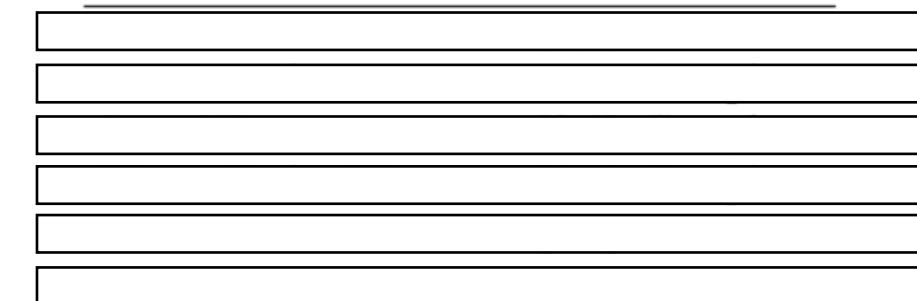
```
procedure COMPLETER( $(B \rightarrow \gamma \bullet, [j, k])$ )
    for each  $(A \rightarrow \alpha \bullet B \beta, [i, j])$  in  $chart[j]$  do
        ENQUEUE( $(A \rightarrow \alpha B \bullet \beta, [i, k])$ ,  $chart[k]$ )
    end
```

Anwendung des Earley-Algorithmus

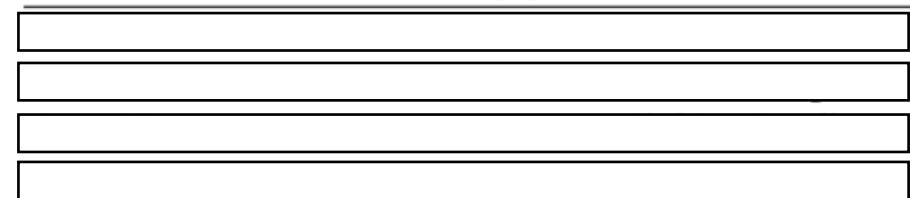
Chart[0]



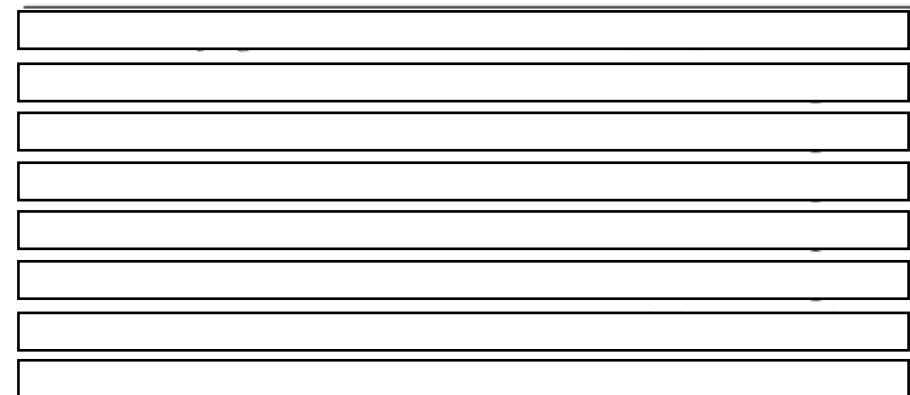
Chart[1]



Chart[2]



Chart[3]



Anwendung des Earley-Algorithmus

Chart[0]

$\gamma \rightarrow \bullet S$	[0,0] Dummy start state

Chart[1]

Chart[2]

Chart[3]

Anwendung des Earley-Algorithmus

Chart[0]

$\gamma \rightarrow \bullet S$	[0,0]	Dummy start state
$S \rightarrow \bullet NP VP$	[0,0]	Predictor

$S \rightarrow \bullet Aux NP VP$	[0,0]	Predictor
$S \rightarrow \bullet VP$	[0,0]	Predictor

Chart[1]

Chart[2]

Chart[3]

Anwendung des Earley-Algorithmus

Chart[0]

$\gamma \rightarrow \bullet S$	[0,0]	Dummy start state
$S \rightarrow \bullet NP VP$	[0,0]	Predictor
$NP \rightarrow \bullet Det NOMINAL$	[0,0]	Predictor
$NP \rightarrow \bullet Proper-Noun$	[0,0]	Predictor
$S \rightarrow \bullet Aux NP VP$	[0,0]	Predictor
$S \rightarrow \bullet VP$	[0,0]	Predictor

Chart[1]

Chart[2]

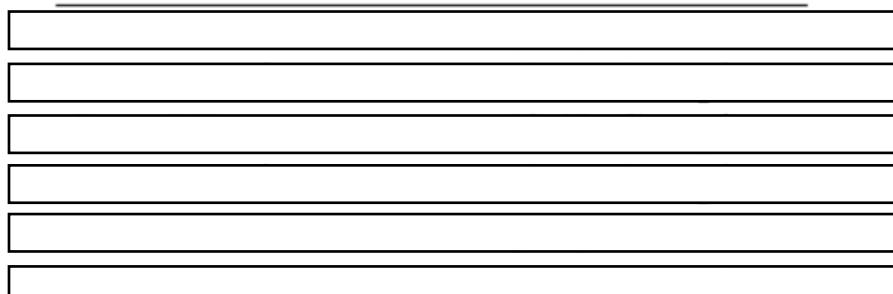
Chart[3]

Anwendung des Earley-Algorithmus

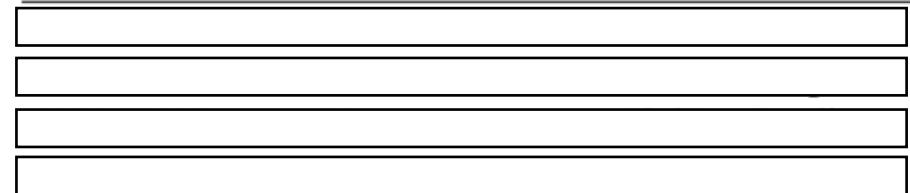
Chart[0]

$\gamma \rightarrow \bullet S$	[0,0]	Dummy start state
$S \rightarrow \bullet NP VP$	[0,0]	Predictor
$NP \rightarrow \bullet Det NOMINAL$	[0,0]	Predictor
$NP \rightarrow \bullet Proper-Noun$	[0,0]	Predictor
$S \rightarrow \bullet Aux NP VP$	[0,0]	Predictor
$S \rightarrow \bullet VP$	[0,0]	Predictor
$VP \rightarrow \bullet Verb$	[0,0]	Predictor
$VP \rightarrow \bullet Verb NP$	[0,0]	Predictor

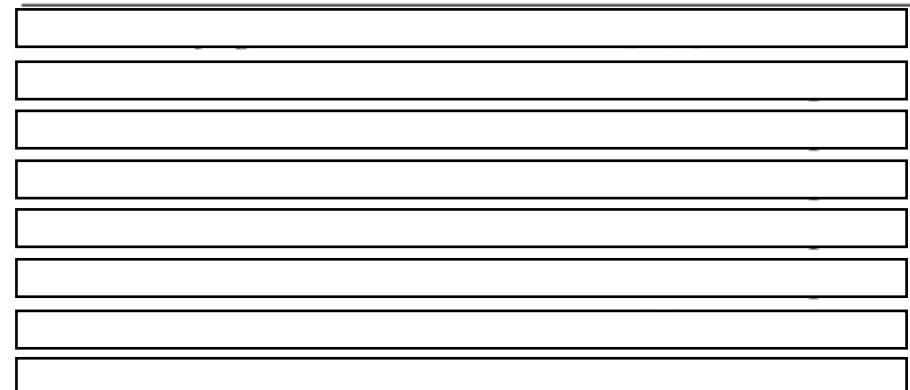
Chart[1]



Chart[2]



Chart[3]



- Scanner wird für *Aux* aufgerufen findet jedoch keine Regel, die auf die Eingabe passt

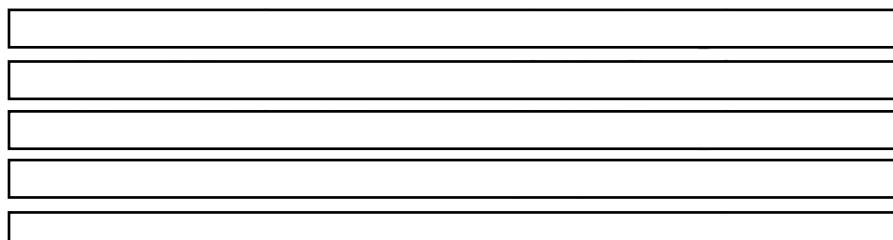
Anwendung des Earley-Algorithmus

Chart[0]

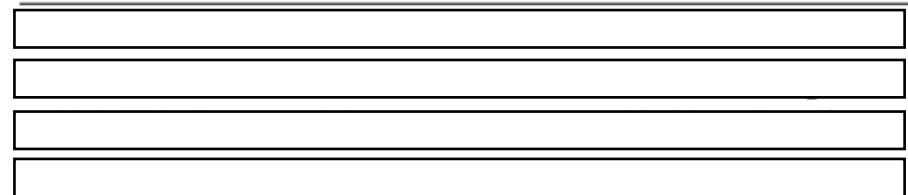
$\gamma \rightarrow \bullet S$	[0,0]	Dummy start state
$S \rightarrow \bullet NP VP$	[0,0]	Predictor
$NP \rightarrow \bullet Det NOMINAL$	[0,0]	Predictor
$NP \rightarrow \bullet Proper-Noun$	[0,0]	Predictor
$S \rightarrow \bullet Aux NP VP$	[0,0]	Predictor
$S \rightarrow \bullet VP$	[0,0]	Predictor
$VP \rightarrow \bullet Verb$	[0,0]	Predictor
$VP \rightarrow \bullet Verb NP$	[0,0]	Predictor

Chart[1]

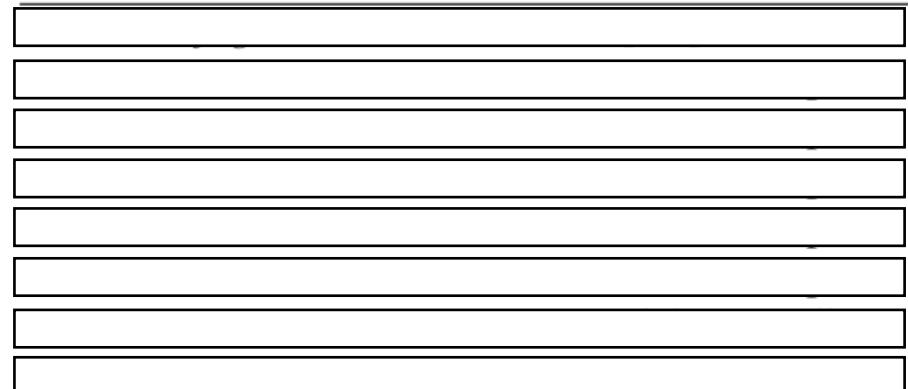
$Verb \rightarrow book \bullet$	[0,1]	Scanner
---------------------------------	-------	---------



Chart[2]



Chart[3]



- Zweite VP-Regel führt ebenfalls zum Aufruf des Scanners. Das Ergebnis ist aber jeweils das selbe.
- Chart[0] abgearbeitet. Weiter mit Chart[1].

Anwendung des Earley-Algorithmus

Chart[0]

$\gamma \rightarrow \bullet S$	[0,0]	Dummy start state
$S \rightarrow \bullet NP VP$	[0,0]	Predictor
$NP \rightarrow \bullet Det NOMINAL$	[0,0]	Predictor
$NP \rightarrow \bullet Proper-Noun$	[0,0]	Predictor
$S \rightarrow \bullet Aux NP VP$	[0,0]	Predictor
$S \rightarrow \bullet VP$	[0,0]	Predictor
$VP \rightarrow \bullet Verb$	[0,0]	Predictor
$VP \rightarrow \bullet Verb NP$	[0,0]	Predictor

Chart[2]

Chart[3]

Chart[1]

$Verb \rightarrow book \bullet$	[0,1]	Scanner
$VP \rightarrow Verb \bullet$	[0,1]	Completer
$VP \rightarrow Verb \bullet NP$	[0,1]	Completer

Anwendung des Earley-Algorithmus

Chart[0]

$\gamma \rightarrow \bullet S$	[0,0]	Dummy start state
$S \rightarrow \bullet NP VP$	[0,0]	Predictor
$NP \rightarrow \bullet Det NOMINAL$	[0,0]	Predictor
$NP \rightarrow \bullet Proper-Noun$	[0,0]	Predictor
$S \rightarrow \bullet Aux NP VP$	[0,0]	Predictor
$S \rightarrow \bullet VP$	[0,0]	Predictor
$VP \rightarrow \bullet Verb$	[0,0]	Predictor
$VP \rightarrow \bullet Verb NP$	[0,0]	Predictor

Chart[2]

Chart[3]

Chart[1]

$Verb \rightarrow book \bullet$	[0,1]	Scanner
$VP \rightarrow Verb \bullet$	[0,1]	Completer
$S \rightarrow VP \bullet$	[0,1]	Completer
$VP \rightarrow Verb \bullet NP$	[0,1]	Completer

Anwendung des Earley-Algorithmus

Chart[0]

$\gamma \rightarrow \bullet S$	[0,0]	Dummy start state
$S \rightarrow \bullet NP VP$	[0,0]	Predictor
$NP \rightarrow \bullet Det NOMINAL$	[0,0]	Predictor
$NP \rightarrow \bullet Proper-Noun$	[0,0]	Predictor
$S \rightarrow \bullet Aux NP VP$	[0,0]	Predictor
$S \rightarrow \bullet VP$	[0,0]	Predictor
$VP \rightarrow \bullet Verb$	[0,0]	Predictor
$VP \rightarrow \bullet Verb NP$	[0,0]	Predictor

Chart[2]

Chart[3]

Chart[1]

$Verb \rightarrow book \bullet$	[0,1]	Scanner
$VP \rightarrow Verb \bullet$	[0,1]	Completer
$S \rightarrow VP \bullet$	[0,1]	Completer
$VP \rightarrow Verb \bullet NP$	[0,1]	Completer
$NP \rightarrow \bullet Det NOMINAL$	[1,1]	Predictor
$NP \rightarrow \bullet Proper-Noun$	[1,1]	Predictor

Anwendung des Earley-Algorithmus

Chart[0]

$\gamma \rightarrow \bullet S$	[0,0]	Dummy start state
$S \rightarrow \bullet NP VP$	[0,0]	Predictor
$NP \rightarrow \bullet Det NOMINAL$	[0,0]	Predictor
$NP \rightarrow \bullet Proper-Noun$	[0,0]	Predictor
$S \rightarrow \bullet Aux NP VP$	[0,0]	Predictor
$S \rightarrow \bullet VP$	[0,0]	Predictor
$VP \rightarrow \bullet Verb$	[0,0]	Predictor
$VP \rightarrow \bullet Verb NP$	[0,0]	Predictor

Chart[1]

$Verb \rightarrow book \bullet$	[0,1]	Scanner
$VP \rightarrow Verb \bullet$	[0,1]	Completer
$S \rightarrow VP \bullet$	[0,1]	Completer
$VP \rightarrow Verb \bullet NP$	[0,1]	Completer
$NP \rightarrow \bullet Det NOMINAL$	[1,1]	Predictor
$NP \rightarrow \bullet Proper-Noun$	[1,1]	Predictor

Chart[2]

$Det \rightarrow that \bullet$	[1,2]	Scanner

Chart[3]

- Chart[1] abgearbeitet. Weiter mit Chart[2].

Anwendung des Earley-Algorithmus

Chart[0]		
$\gamma \rightarrow \bullet S$	[0,0]	Dummy start state
$S \rightarrow \bullet NP VP$	[0,0]	Predictor
$NP \rightarrow \bullet Det NOMINAL$	[0,0]	Predictor
$NP \rightarrow \bullet Proper-Noun$	[0,0]	Predictor
$S \rightarrow \bullet Aux NP VP$	[0,0]	Predictor
$S \rightarrow \bullet VP$	[0,0]	Predictor
$VP \rightarrow \bullet Verb$	[0,0]	Predictor
$VP \rightarrow \bullet Verb NP$	[0,0]	Predictor

Chart[1]

$Verb \rightarrow book \bullet$	[0,1]	Scanner
$VP \rightarrow Verb \bullet$	[0,1]	Completer
$S \rightarrow VP \bullet$	[0,1]	Completer
$VP \rightarrow Verb \bullet NP$	[0,1]	Completer
$NP \rightarrow \bullet Det NOMINAL$	[1,1]	Predictor
$NP \rightarrow \bullet Proper-Noun$	[1,1]	Predictor

Chart[2]

$Det \rightarrow that$ •	[1,2]	Scanner
$NP \rightarrow Det \bullet NOMINAL$	[1,2]	Completer

Chart[3]

Anwendung des Earley-Algorithmus

Chart[0]			
$\gamma \rightarrow \bullet S$	[0,0]	Dummy start state	
$S \rightarrow \bullet NP VP$	[0,0]	Predictor	
$NP \rightarrow \bullet Det NOMINAL$	[0,0]	Predictor	
$NP \rightarrow \bullet Proper-Noun$	[0,0]	Predictor	
$S \rightarrow \bullet Aux NP VP$	[0,0]	Predictor	
$S \rightarrow \bullet VP$	[0,0]	Predictor	
$VP \rightarrow \bullet Verb$	[0,0]	Predictor	
$VP \rightarrow \bullet Verb NP$	[0,0]	Predictor	

Chart[1]

$Verb \rightarrow book \bullet$	[0,1]	Scanner
$VP \rightarrow Verb \bullet$	[0,1]	Completer
$S \rightarrow VP \bullet$	[0,1]	Completer
$VP \rightarrow Verb \bullet NP$	[0,1]	Completer
$NP \rightarrow \bullet Det NOMINAL$	[1,1]	Predictor
$NP \rightarrow \bullet Proper-Noun$	[1,1]	Predictor

Chart[2]		
$Det \rightarrow that\bullet$	[1,2]	Scanner
$NP \rightarrow Det\bullet NOMINAL$	[1,2]	Completer
$NOMINAL \rightarrow \bullet Noun$	[2,2]	Predictor
$NOMINAL \rightarrow \bullet Noun NOMINAL$	[2,2]	Predictor

Chart[3]

Anwendung des Earley-Algorithmus

Chart[0]

$\gamma \rightarrow \bullet S$	[0,0]	Dummy start state
$S \rightarrow \bullet NP VP$	[0,0]	Predictor
$NP \rightarrow \bullet Det NOMINAL$	[0,0]	Predictor
$NP \rightarrow \bullet Proper-Noun$	[0,0]	Predictor
$S \rightarrow \bullet Aux NP VP$	[0,0]	Predictor
$S \rightarrow \bullet VP$	[0,0]	Predictor
$VP \rightarrow \bullet Verb$	[0,0]	Predictor
$VP \rightarrow \bullet Verb NP$	[0,0]	Predictor

Chart[1]

$Verb \rightarrow book \bullet$	[0,1]	Scanner
$VP \rightarrow Verb \bullet$	[0,1]	Completer
$S \rightarrow VP \bullet$	[0,1]	Completer
$VP \rightarrow Verb \bullet NP$	[0,1]	Completer
$NP \rightarrow \bullet Det NOMINAL$	[1,1]	Predictor
$NP \rightarrow \bullet Proper-Noun$	[1,1]	Predictor

Chart[2]

$Det \rightarrow that \bullet$	[1,2]	Scanner
$NP \rightarrow Det \bullet NOMINAL$	[1,2]	Completer
$NOMINAL \rightarrow \bullet Noun$	[2,2]	Predictor
$NOMINAL \rightarrow \bullet Noun NOMINAL$	[2,2]	Predictor

Chart[3]

$Noun \rightarrow flight \bullet$	[2,3]	Scanner

- Chart[2] abgearbeitet. Weiter mit Chart[3].

Anwendung des Earley-Algorithmus

Chart[0]

$\gamma \rightarrow \bullet S$	[0,0]	Dummy start state
$S \rightarrow \bullet NP VP$	[0,0]	Predictor
$NP \rightarrow \bullet Det NOMINAL$	[0,0]	Predictor
$NP \rightarrow \bullet Proper-Noun$	[0,0]	Predictor
$S \rightarrow \bullet Aux NP VP$	[0,0]	Predictor
$S \rightarrow \bullet VP$	[0,0]	Predictor
$VP \rightarrow \bullet Verb$	[0,0]	Predictor
$VP \rightarrow \bullet Verb NP$	[0,0]	Predictor

Chart[1]

$Verb \rightarrow book \bullet$	[0,1]	Scanner
$VP \rightarrow Verb \bullet$	[0,1]	Completer
$S \rightarrow VP \bullet$	[0,1]	Completer
$VP \rightarrow Verb \bullet NP$	[0,1]	Completer
$NP \rightarrow \bullet Det NOMINAL$	[1,1]	Predictor
$NP \rightarrow \bullet Proper-Noun$	[1,1]	Predictor

Chart[2]

$Det \rightarrow that \bullet$	[1,2]	Scanner
$NP \rightarrow Det \bullet NOMINAL$	[1,2]	Completer
$NOMINAL \rightarrow \bullet Noun$	[2,2]	Predictor
$NOMINAL \rightarrow \bullet Noun NOMINAL$	[2,2]	Predictor

Chart[3]

$Noun \rightarrow flight \bullet$	[2,3]	Scanner
$NOMINAL \rightarrow Noun \bullet$	[2,3]	Completer
$NOMINAL \rightarrow Noun \bullet NOMINAL$	[2,3]	Completer

Anwendung des Earley-Algorithmus

Chart[0]

$\gamma \rightarrow \bullet S$	[0,0]	Dummy start state
$S \rightarrow \bullet NP VP$	[0,0]	Predictor
$NP \rightarrow \bullet Det NOMINAL$	[0,0]	Predictor
$NP \rightarrow \bullet Proper-Noun$	[0,0]	Predictor
$S \rightarrow \bullet Aux NP VP$	[0,0]	Predictor
$S \rightarrow \bullet VP$	[0,0]	Predictor
$VP \rightarrow \bullet Verb$	[0,0]	Predictor
$VP \rightarrow \bullet Verb NP$	[0,0]	Predictor

Chart[1]

$Verb \rightarrow book \bullet$	[0,1]	Scanner
$VP \rightarrow Verb \bullet$	[0,1]	Completer
$S \rightarrow VP \bullet$	[0,1]	Completer
$VP \rightarrow Verb \bullet NP$	[0,1]	Completer
$NP \rightarrow \bullet Det NOMINAL$	[1,1]	Predictor
$NP \rightarrow \bullet Proper-Noun$	[1,1]	Predictor

Chart[2]

$Det \rightarrow that \bullet$	[1,2]	Scanner
$NP \rightarrow Det \bullet NOMINAL$	[1,2]	Completer
$NOMINAL \rightarrow \bullet Noun$	[2,2]	Predictor
$NOMINAL \rightarrow \bullet Noun NOMINAL$	[2,2]	Predictor

Chart[3]

$Noun \rightarrow flight \bullet$	[2,3]	Scanner
$NOMINAL \rightarrow Noun \bullet$	[2,3]	Completer
$NOMINAL \rightarrow Noun \bullet NOMINAL$	[2,3]	Completer
$NP \rightarrow Det NOMINAL \bullet$	[1,3]	Completer

Anwendung des Earley-Algorithmus

Chart[0]

$\gamma \rightarrow \bullet S$	[0,0]	Dummy start state
$S \rightarrow \bullet NP VP$	[0,0]	Predictor
$NP \rightarrow \bullet Det NOMINAL$	[0,0]	Predictor
$NP \rightarrow \bullet Proper-Noun$	[0,0]	Predictor
$S \rightarrow \bullet Aux NP VP$	[0,0]	Predictor
$S \rightarrow \bullet VP$	[0,0]	Predictor
$VP \rightarrow \bullet Verb$	[0,0]	Predictor
$VP \rightarrow \bullet Verb NP$	[0,0]	Predictor

Chart[1]

$Verb \rightarrow book \bullet$	[0,1]	Scanner
$VP \rightarrow Verb \bullet$	[0,1]	Completer
$S \rightarrow VP \bullet$	[0,1]	Completer
$VP \rightarrow Verb \bullet NP$	[0,1]	Completer
$NP \rightarrow \bullet Det NOMINAL$	[1,1]	Predictor
$NP \rightarrow \bullet Proper-Noun$	[1,1]	Predictor

Chart[2]

$Det \rightarrow that \bullet$	[1,2]	Scanner
$NP \rightarrow Det \bullet NOMINAL$	[1,2]	Completer
$NOMINAL \rightarrow \bullet Noun$	[2,2]	Predictor
$NOMINAL \rightarrow \bullet Noun NOMINAL$	[2,2]	Predictor

Chart[3]

$Noun \rightarrow flight \bullet$	[2,3]	Scanner
$NOMINAL \rightarrow Noun \bullet$	[2,3]	Completer
$NOMINAL \rightarrow Noun \bullet NOMINAL$	[2,3]	Completer
$NP \rightarrow Det NOMINAL \bullet$	[1,3]	Completer

$NOMINAL \rightarrow \bullet Noun$	[3,3]	Predictor
$NOMINAL \rightarrow \bullet Noun NOMINAL$	[3,3]	Predictor

Anwendung des Earley-Algorithmus

Chart[0]

$\gamma \rightarrow \bullet S$	[0,0]	Dummy start state
$S \rightarrow \bullet NP VP$	[0,0]	Predictor
$NP \rightarrow \bullet Det NOMINAL$	[0,0]	Predictor
$NP \rightarrow \bullet Proper-Noun$	[0,0]	Predictor
$S \rightarrow \bullet Aux NP VP$	[0,0]	Predictor
$S \rightarrow \bullet VP$	[0,0]	Predictor
$VP \rightarrow \bullet Verb$	[0,0]	Predictor
$VP \rightarrow \bullet Verb NP$	[0,0]	Predictor

Chart[1]

$Verb \rightarrow book \bullet$	[0,1]	Scanner
$VP \rightarrow Verb \bullet$	[0,1]	Completer
$S \rightarrow VP \bullet$	[0,1]	Completer
$VP \rightarrow Verb \bullet NP$	[0,1]	Completer
$NP \rightarrow \bullet Det NOMINAL$	[1,1]	Predictor
$NP \rightarrow \bullet Proper-Noun$	[1,1]	Predictor

Chart[2]

$Det \rightarrow that \bullet$	[1,2]	Scanner
$NP \rightarrow Det \bullet NOMINAL$	[1,2]	Completer
$NOMINAL \rightarrow \bullet Noun$	[2,2]	Predictor
$NOMINAL \rightarrow \bullet Noun NOMINAL$	[2,2]	Predictor

Chart[3]

$Noun \rightarrow flight \bullet$	[2,3]	Scanner
$NOMINAL \rightarrow Noun \bullet$	[2,3]	Completer
$NOMINAL \rightarrow Noun \bullet NOMINAL$	[2,3]	Completer
$NP \rightarrow Det NOMINAL \bullet$	[1,3]	Completer
$VP \rightarrow Verb NP \bullet$	[0,3]	Completer

$NOMINAL \rightarrow \bullet Noun$	[3,3]	Predictor
$NOMINAL \rightarrow \bullet Noun NOMINAL$	[3,3]	Predictor

Anwendung des Earley-Algorithmus

Chart[0]

$\gamma \rightarrow \bullet S$	[0,0]	Dummy start state
$S \rightarrow \bullet NP VP$	[0,0]	Predictor
$NP \rightarrow \bullet Det NOMINAL$	[0,0]	Predictor
$NP \rightarrow \bullet Proper-Noun$	[0,0]	Predictor
$S \rightarrow \bullet Aux NP VP$	[0,0]	Predictor
$S \rightarrow \bullet VP$	[0,0]	Predictor
$VP \rightarrow \bullet Verb$	[0,0]	Predictor
$VP \rightarrow \bullet Verb NP$	[0,0]	Predictor

Chart[1]

$Verb \rightarrow book \bullet$	[0,1]	Scanner
$VP \rightarrow Verb \bullet$	[0,1]	Completer
$S \rightarrow VP \bullet$	[0,1]	Completer
$VP \rightarrow Verb \bullet NP$	[0,1]	Completer
$NP \rightarrow \bullet Det NOMINAL$	[1,1]	Predictor
$NP \rightarrow \bullet Proper-Noun$	[1,1]	Predictor

Chart[2]

$Det \rightarrow that \bullet$	[1,2]	Scanner
$NP \rightarrow Det \bullet NOMINAL$	[1,2]	Completer
$NOMINAL \rightarrow \bullet Noun$	[2,2]	Predictor
$NOMINAL \rightarrow \bullet Noun NOMINAL$	[2,2]	Predictor

Chart[3]

$Noun \rightarrow flight \bullet$	[2,3]	Scanner
$NOMINAL \rightarrow Noun \bullet$	[2,3]	Completer
$NOMINAL \rightarrow Noun \bullet NOMINAL$	[2,3]	Completer
$NP \rightarrow Det NOMINAL \bullet$	[1,3]	Completer
$VP \rightarrow Verb NP \bullet$	[0,3]	Completer
$S \rightarrow VP \bullet$	[0,3]	Completer
$NOMINAL \rightarrow \bullet Noun$	[3,3]	Predictor
$NOMINAL \rightarrow \bullet Noun NOMINAL$	[3,3]	Predictor

- Aufruf des Scanners für NOMINAL-Regeln führen nicht zum hinzufügen weiterer Zustände, weil keine Wörtern mehr auf der Eingabe stehen.