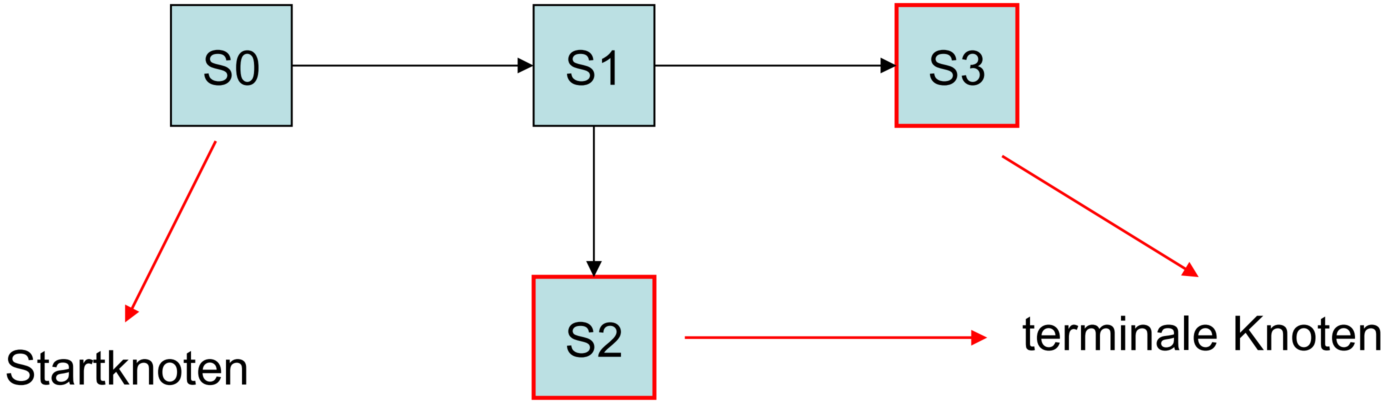
4.3 Übergangsnetze

transition network (TN)

4.3.1 Einfache und rekursive Übergangsnetze

Übergangsnetzwerk

Ein Übergangsnetzwerk *ist ein gerichteter Graph. Dieser Graph besitzt genau einen Start(*Anfangs)knoten S0 *(Knoten ohne Vorgänger) und einen oder mehrere* terminale Knoten *(Knoten ohne Nachfolger).*



Beispiel (kontextfreie Grammatik)

$$G = \left(V_N, V_T, R, S \right)$$

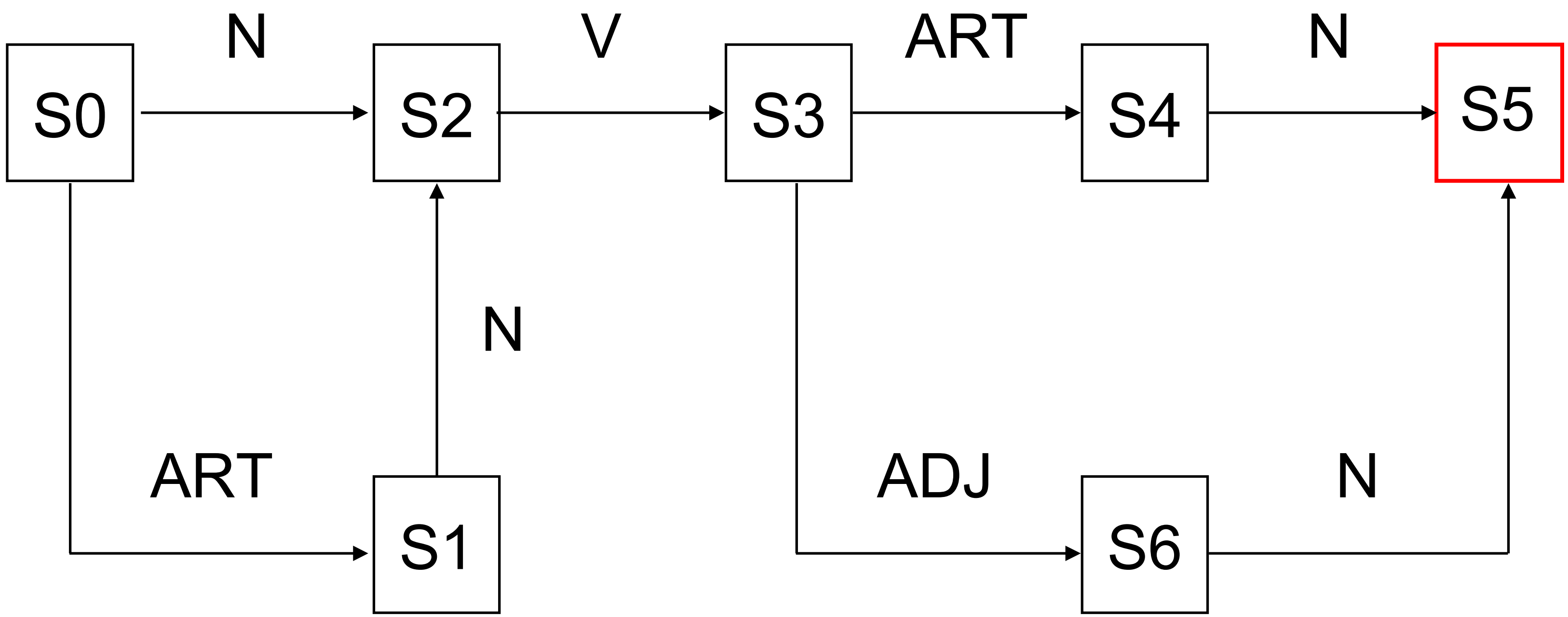
$$V_N = \left\{ S, NP, NP2, VP, N, V, ART, ADJ \right\}$$

$$V_T = \left\{ \text{Roboter}, \ldots \right\}$$

Regeln:

$$\begin{array}{rcl}
S & \rightarrow & NP \quad VP \\
NP & \rightarrow & N \\
NP & \rightarrow & ART \quad N \\
VP & \rightarrow & V \quad NP2 \\
NP2 & \rightarrow & ART \quad N \\
NP2 & \rightarrow & ADJ \quad N \\
N & \rightarrow & Roboter, \ldots \\
V & \rightarrow & ist, \ldots \\
ADJ & \rightarrow & grau, \ldots \\
ART & \rightarrow & der, \ldots
\end{array}$$

Beispiel (Übergangsnetz)



Kanten: präterminale Symbole (N, V, ADJ, ART)

Knoten: Satzteile (Phrasenteile, Phrasen, Satz)

S0 → S2 ⇨ NP

S2 → S5 ⇨ VP

S3 → S5 ⇨ NP2

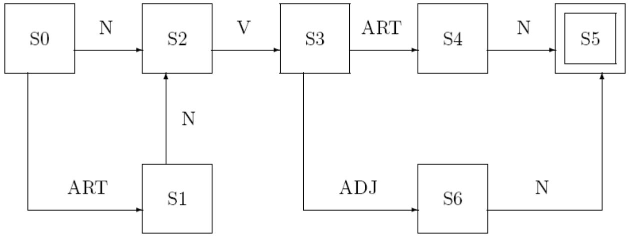
Einsatz von Übergangsnetzwerken

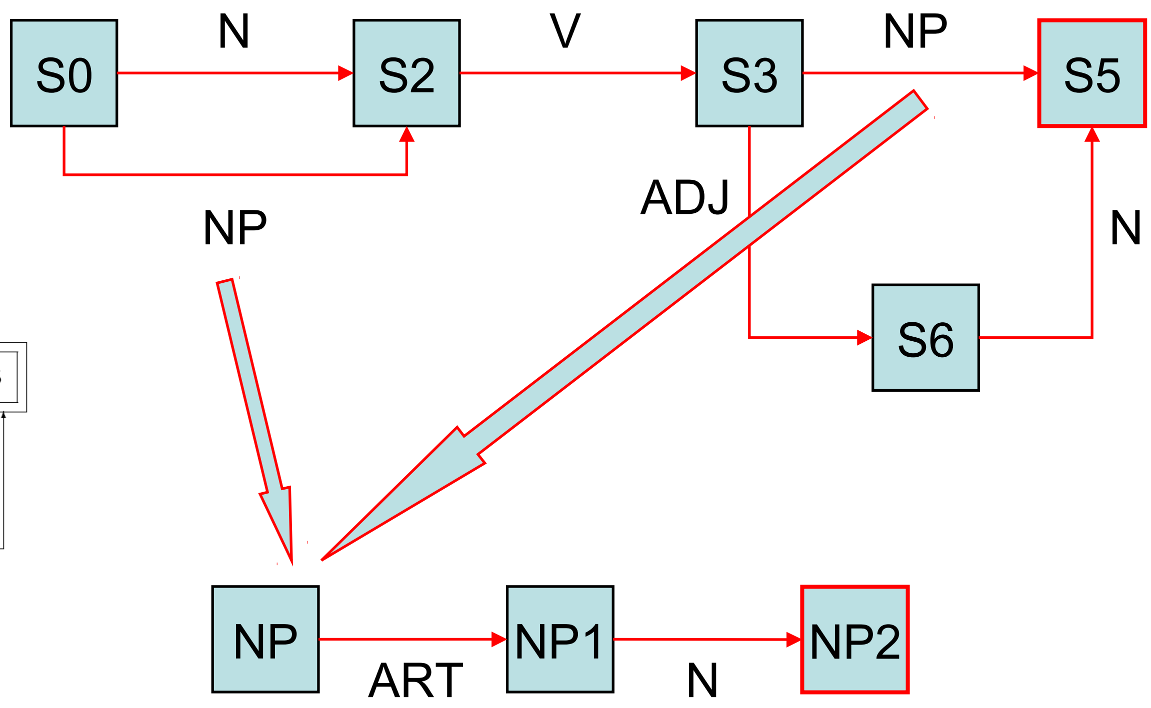
- Ein Weg vom Startknoten S0 bis zu einem terminalen Knoten, bei dem jeweils die auf den Kanten stehenden präterminalen Symbole durch ein beliebiges Wort ersetzt werden, das im Lexikon mit diesem präterminalen Symbol verknüpft ist, **generiert einen Satz** *S.*
- Ein **Satz S = $w_1 w_2 \ldots w_n$** der natürlichen Sprache wird vom Übergangsnetzwerk **akzeptiert**, wenn sich ein zusammenhängender Kantenzug Z der Länge n vom Startknoten bis zu einem terminalen Knoten finden lässt, so dass das präterminale Symbol auf der i-ten Kante von Z gleich der im Lexikon angegebenen Kategorie des i-ten Wortes w_i aus S ist.

Rekursive Übergangsnetzwerke (RTN)

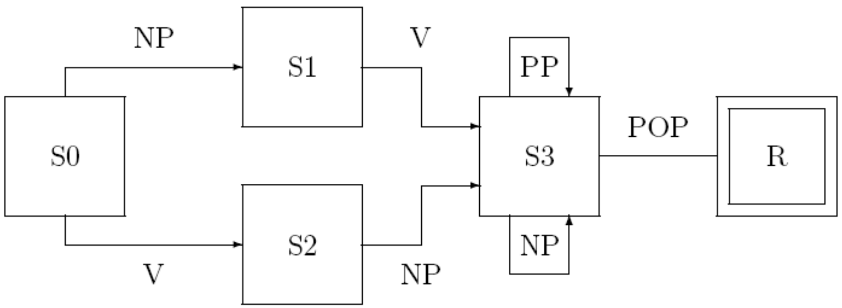
- Rekursive Übergangsnetzwerke können Kanten enthalten, die selbst Übergangsnetzwerke sein können, d.h. als Kantenmarkierungen sind nicht nur präterminale Symbole zugelassen, sondern auch beliebige nichtterminale Symbole (z.B. NP).

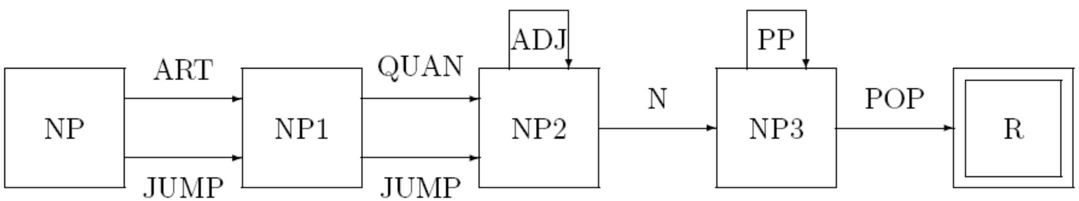
Beispiel


S0
N
S2
V
S3
ART
S4
N
S5
N
ART
S1
ADJ
S6
N

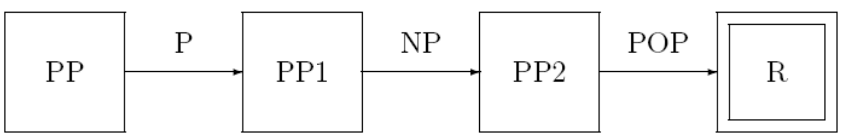

N
V
NP
S0
S2
S3
S5
NP
ADJ
N
S6
NP
NP1
NP2
ART
N

Beispiel





QUAN: Symbol für Zahlangabe



$$
\begin{array}{rcl}
NP & \rightarrow & ART \quad NP1 \\
NP & \rightarrow & NP1 \\
NP1 & \rightarrow & QUAN \quad NP2 \\
NP1 & \rightarrow & NP2 \\
NP2 & \rightarrow & ADJ \quad NP2 \\
NP2 & \rightarrow & N \\
NP2 & \rightarrow & N \quad NP3 \\
NP3 & \rightarrow & PP \\
NP3 & \rightarrow & PP \quad NP3 \\
PP & \rightarrow & P \quad NP \\
N & \rightarrow & Roboter, \ldots \\
ADJ & \rightarrow & grau, \ldots \\
ART & \rightarrow & der, \ldots \\
P & \rightarrow & mit, \ldots \\
QUAN & \rightarrow & zwei, \ldots
\end{array}
$$

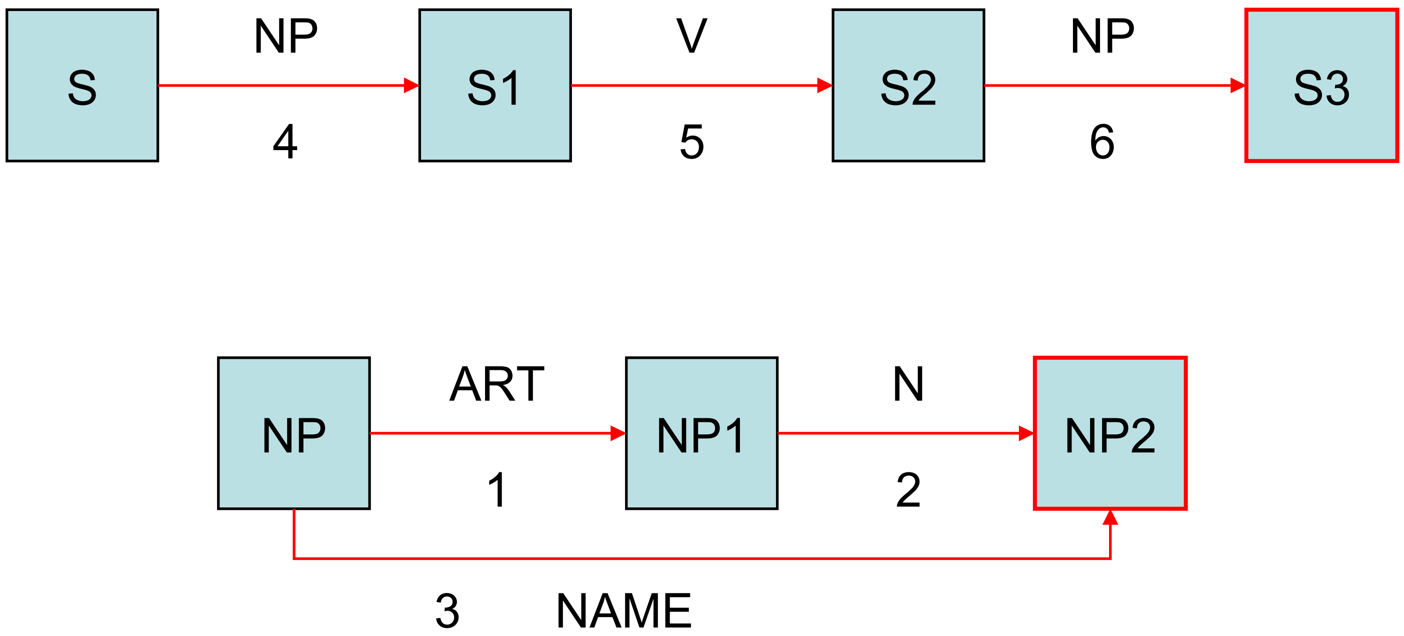
4.3.2 Erweiterte Übergangsnetze

augmented transition network
(ATN)

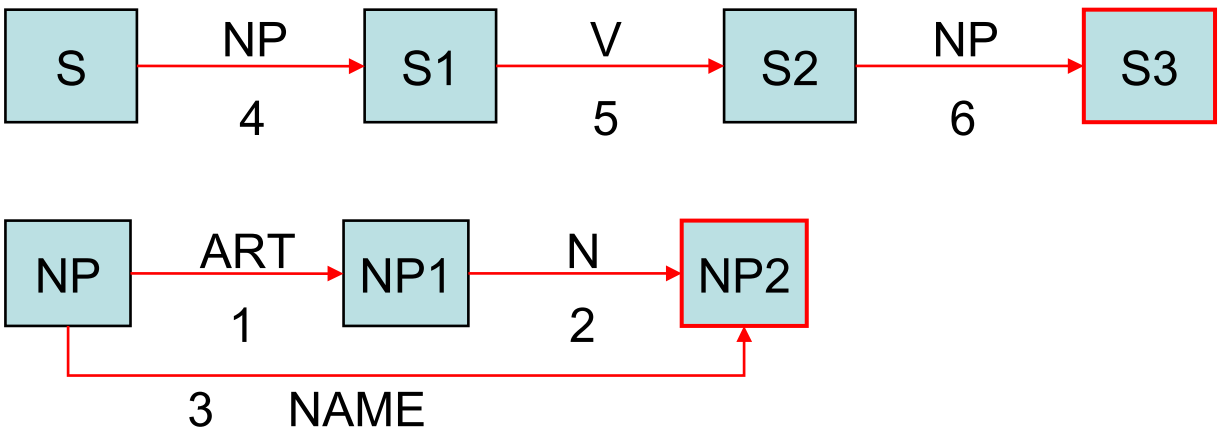
Erweiterte Übergangsnetze

- rekursives Übergangsnetzwerk, bei dem die Kanten mit prozeduralen Elementen versehen werden
  - Test, Kantendurchlaufbedingung
  - Aktionen
  - Registeroperationen

Beispiel



Beispiel



Test:

Kante 2

$$NUM \cap NUM(*) \neq \emptyset$$

Kante 5

$$NUM(SUBJ) \cap NUM(*) \neq \emptyset$$

Aktion:

Kante 1 $\quad DET = *, \quad NUM = NUM(*)$

Kante 2 $\quad HEAD = *, \quad NUM = NUM \cap NUM(*)$

Kante 3 $\quad NAME = *, \quad NUM = NUM(*)$

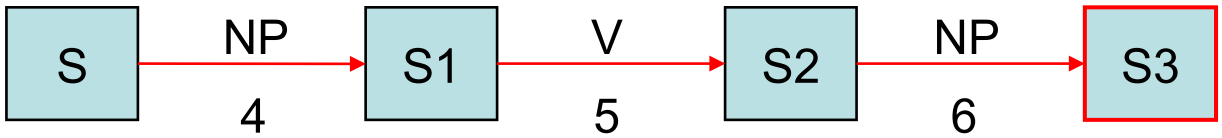
Kante 4 $\quad SUBJ = \text{¿}$

Kante 5 $\quad VERB = *, \quad NUM = NUM(SUBJ) \cap NUM(*)$

Kante 6 $\quad OBJ = \text{¿}$

* bedeutet dabei das gerade analysierte Wort

Beispiel



Der Hund sah Jack.

Kante 4:

$$SUBJ \leftarrow \left(NP \quad DET \leftarrow \mathrm{der} \quad HEAD \leftarrow \mathrm{Hund} \quad NUM \leftarrow 3\mathrm{s} \right)$$

Kante 5:

$$VERB \leftarrow \mathrm{sah} \quad NUM \leftarrow 3\mathrm{s}$$

Kante 6:

$$OBJ \leftarrow \left(NP \quad NAME \leftarrow \mathrm{Jack} \quad NUM \leftarrow 3\mathrm{s} \right)$$

Vor- und Nachteile

- Vorteile
  - graphische Anschaulichkeit
  - Überdeckung eines großen Sprachumfangs möglich
  - Eignung für generative und für analytische Zwecke
- Nachteile
  - ATNs sind nicht mehr rein deklarativ, sie enthalten prozedurale Elemente (prozedurale Verführung)
  - Berücksichtigung immer neuer Spezialfälle durch weitere Kanten und Tests
  - theoretisch linguistischer Gehalt nicht leicht abhebbar

4.5 Merkmalsstrukturen – Unifikationsgrammatiken

Einführung

- **Merkmalsstrukturen** sind der Formalismus zur Darstellung linguistischen Wissens, der derzeit in der Computerlinguistik am verbreitesten ist
- fast alle derzeit in der Computerlinguistik gängigen Grammatikformalismen beschreiben linguistische Daten in diesem Formalismus
- solche Grammatiken werden auch als **Unifikationsgrammatiken** bezeichnet

4.5.1 Definition

Merkmalsstrukturen

Eine Merkmalsstruktur *S ist eine Menge von Paaren (M:W), wobei M ein Merkmal bedeutet und diesem Merkmal M ein Wert W zugeordnet ist.*

$$S = \begin{bmatrix} M_1 & : & W_1 \\ M_2 & : & W_2 \\ & \vdots & \\ M_n & : & W_n \end{bmatrix}$$

Merkmal Wert

- Merkmal
  - beliebiges Symbol aus einer vorgegebenen Menge
- Wert
  - ein einfacher Wert (Atom, Zeichenkette, Zahl, . . .)
  - wieder eine Merkmalsstruktur
  - eine spezielle Konstruktion

Manchmal lassen wir den : weg.

spezielle Konstruktionen

- **Koreferenzen**, d.h. Konstruktionen, die dazu dienen, die Identität von Werten unterschiedlicher Merkmale auszudrücken

$\boxed{n}$

- Mengen von alternativ möglichen Werten

$W = \{ W_1; W_2; \ldots; W_k \}$ $W = W_1 \vee W_2 \vee \cdots \vee W_k$

4.5.2 Beispiele

weibliche Substantive im Nominativ

$$S = \begin{bmatrix} \text{CAT} & : & N \\ \text{KASUS} & : & nom \\ \text{GENUS} & : & f \end{bmatrix}$$

$$S = \begin{bmatrix} \text{SYN} & : & \begin{bmatrix} \text{CAT} & : & \begin{bmatrix} \text{NOMINAL} & : & + \\ \text{VERBAL} & : & - \end{bmatrix} \\ \text{AGR} & : & \begin{bmatrix} \text{KASUS} & : & nom \\ \text{GENUS} & : & f \end{bmatrix} \end{bmatrix} \end{bmatrix}$$

Verben in der dritten Person Singular

$$S = \begin{bmatrix} \mathrm{CAT} & : & V \\ \mathrm{NUM} & : & sg \\ \mathrm{PERS} & : & 3 \end{bmatrix}$$

Unterspezifikation

Merkmalsstrukturen als Repräsentationen linguistischer Objekte liefern im Allgemeinen nur partielle Informationen über deren Merkmale.

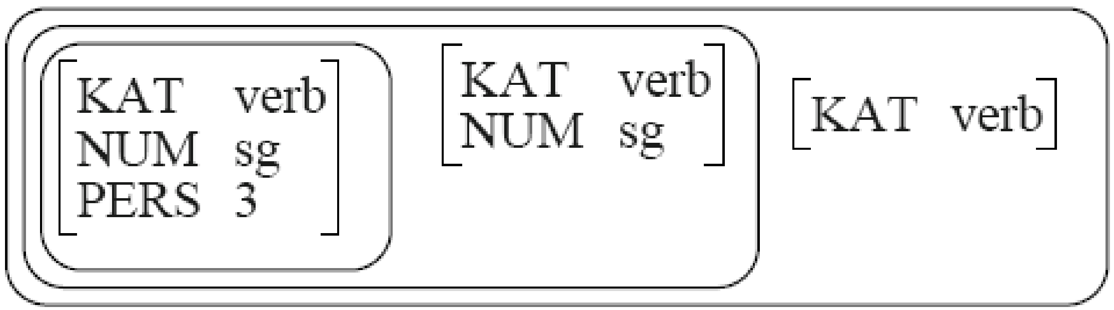
$$S = \begin{bmatrix} \mathrm{CAT} & : & N \\ G\,\mathrm{EN} & : & m \end{bmatrix}$$

Numerus und Kasus sind nicht festgelegt.

In einer Merkmalsstruktur können Merkmale, deren Werte noch nicht bekannt sind, unspezifiziert gelassen werden

Damit ist es möglich, ein Modell eines Objekts herzustellen mit dem, was bisher darüber bekannt ist und abzuwarten, bis durch den Kontext des Wortes in einer sprachlichen Äußerung weitere Information hinzukommt.

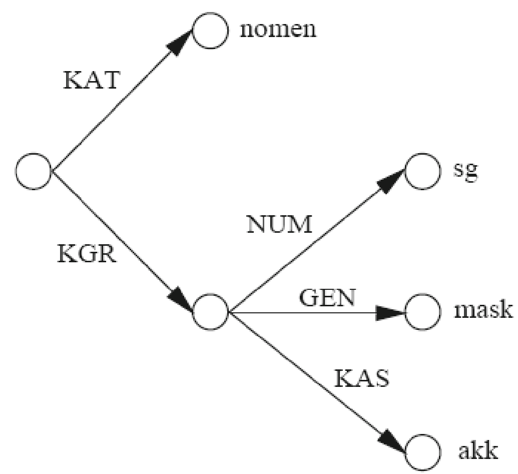
Merkmalsstrukturen beschreiben Mengen



Merkmalsstrukturen als Werte

Mittels komplexer Werte (Merkmalsstrukturen) lassen sich die für die Kongruenz relevanten Merkmale NUM (Numerus), GEN (Genus) und KAS (Kasus) unter einem Merkmal KGR (Kongruenz) zusammenfassen:

$$\begin{bmatrix} \text{KAT} & \textsc{nomen} \\ \text{KGR} & \begin{bmatrix} \text{NUM} & \textsc{sg} \\ \text{GEN} & \textsc{mask} \\ \text{KAS} & \textsc{akk} \end{bmatrix} \end{bmatrix}$$



Merkmalsstruktur als gerichteter Graph

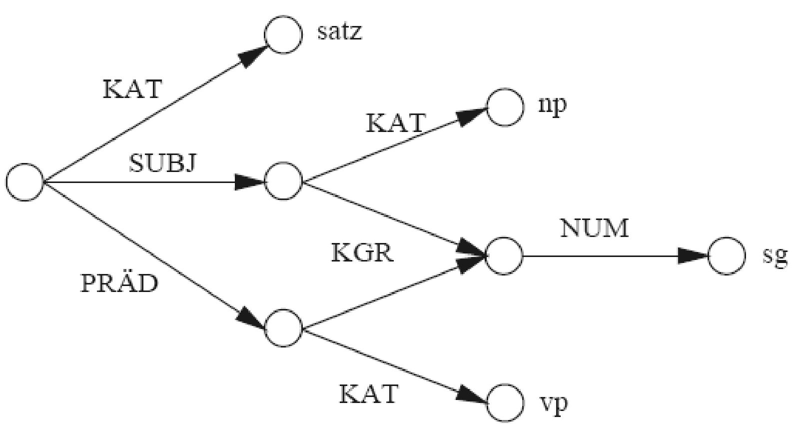
Koreferenzen

Der Hund bellt.

Betrachtet man einzelne Wörter wie Hund, der und bellt, kann man die Werte vieler ihrer grammatischen Merkmale nicht festlegen.

Dennoch weiß man, dass die Phrase der Hund in Person und Numerus mit dem Verb bellt übereinstimmen muss.

$$\begin{bmatrix} \text{KAT} & \textsc{satz} \\ \text{SUBJ} & \begin{bmatrix} \text{KAT} & \textsc{np} \\ \text{KGR} & \boxed{1}\begin{bmatrix} \text{NUM} & \textsc{sg} \end{bmatrix} \end{bmatrix} \\ \text{PRÄD} & \begin{bmatrix} \text{KAT} & \textsc{vp} \\ \text{KGR} & \boxed{1} \end{bmatrix} \end{bmatrix}$$



Koreferenzen

$$S_4 = \begin{bmatrix} \text{KAT} & \textsc{vp} \\ \text{KGR} & \begin{bmatrix} \text{NUM} & \textsc{sg} \\ \text{PERS} & 2 \end{bmatrix} \\ \text{OBJ} & \begin{bmatrix} \text{KGR} & \begin{bmatrix} \text{NUM} & \textsc{sg} \\ \text{PERS} & 2 \end{bmatrix} \end{bmatrix} \end{bmatrix}$$

zufällig gleiche Werte

$$S_5 = \begin{bmatrix} \text{KAT} & \textsc{vp} \\ \text{KGR} & \boxed{1} \begin{bmatrix} \text{NUM} & \textsc{sg} \\ \text{PERS} & 2 \end{bmatrix} \\ \text{OBJ} & \begin{bmatrix} \text{KGR} & \boxed{1} \end{bmatrix} \end{bmatrix}$$

Durch die Koreferenz wird die zusätzliche Information gegeben, dass die beiden Merkmale stets denselben Wert haben.

Disjunkte Werte

$$S_{den} = \begin{bmatrix} \text{KAT} & \textsc{art} \\ \text{KGR} & \begin{bmatrix} \text{NUM} & \textsc{sg} \\ \text{GEN} & \textsc{mask} \\ \text{KAS} & \textsc{akk} \end{bmatrix} \vee \begin{bmatrix} \text{NUM} & \textsc{pl} \\ \text{KAS} & \textsc{dat} \end{bmatrix} \end{bmatrix}$$

Die Artikelform den kann entweder ein Maskulinum im Akkusativ Singular sein, oder in allen Genera ein Dativ Plural.

Lexikoneinträge

$$S = \begin{bmatrix} \mathrm{CAT} & : & \mathit{ART} \\ \mathrm{HEAD} & : & \begin{bmatrix} \mathrm{AGR} & : & \begin{bmatrix} \mathrm{NUM} & : & \mathit{sg} \\ \mathrm{GEN} & : & \mathit{f} \end{bmatrix} \end{bmatrix} \end{bmatrix}$$

$$S = \begin{bmatrix} \mathrm{CAT} & : & \mathit{ART} \\ \mathrm{HEAD} & : & \begin{bmatrix} \mathrm{AGR} & : & \begin{bmatrix} \mathrm{NUM} & : & \mathit{pl} \\ \mathrm{KASUS} & : & \mathit{nom} \end{bmatrix} \end{bmatrix} \end{bmatrix}$$

Wort – **die**

$$S = \begin{bmatrix} \mathrm{CAT} & : & \mathit{N} \\ \mathrm{HEAD} & : & \begin{bmatrix} \mathrm{AGR} & : & \begin{bmatrix} \mathrm{GEN} & : & \mathit{m} \\ \mathrm{KASUS} & : & \mathit{nom} \end{bmatrix} \end{bmatrix} \end{bmatrix}$$

Wort – **Schüler**

4.5.3 Annotation von Grammatikregeln mit Merkmalsstrukturen

Annotation

Regel:

$$\boxed{X_0 \rightarrow X_1 X_2 \cdots X_n}$$

$$X_0 \in V_N, \quad X_i \in V \quad (i = 1, \ldots, n)$$

$$\boxed{S = \begin{bmatrix} X_0 & : & S_0 \\ X_1 & : & S_1 \\ & \vdots & \\ X_n & : & S_n \end{bmatrix}}$$

Merkmalsstrukturen

Annotation – Beispiel

Regel: $NP \rightarrow ART \quad ADJ \quad N$

$$S = \begin{bmatrix} X_0 & : & \begin{bmatrix} \mathrm{CAT} & : & NP \\ \mathrm{AGR} & : & \boxed{1} \end{bmatrix} \\ X_1 & : & \begin{bmatrix} \mathrm{CAT} & : & ART \\ \mathrm{AGR} & : & \boxed{1} \end{bmatrix} \\ X_2 & : & \begin{bmatrix} \mathrm{CAT} & : & ADJ \\ \mathrm{AGR} & : & \boxed{1} \end{bmatrix} \\ X_3 & : & \begin{bmatrix} \mathrm{CAT} & : & N \\ \mathrm{AGR} & : & \boxed{1} \end{bmatrix} \end{bmatrix}$$

Beispiel

Regel: $NP \rightarrow ART \quad N$

$$S = \begin{bmatrix} X_0 & : & \begin{bmatrix} \mathrm{CAT} & : & NP \\ \mathrm{HEAD} & : & \boxed{1}\begin{bmatrix} \mathrm{AGR} & : & \boxed{2} \end{bmatrix} \end{bmatrix} \\ X_1 & : & \begin{bmatrix} \mathrm{CAT} & : & ART \\ \mathrm{AGR} & : & \boxed{2} \end{bmatrix} \\ X_2 & : & \begin{bmatrix} \mathrm{CAT} & : & N \\ \mathrm{HEAD} & : & \boxed{1} \end{bmatrix} \end{bmatrix}$$

Beispiel

Regel: $S \rightarrow NP \quad VP$

$$S = \left[\begin{array}{lll} X0 & : & \left[\begin{array}{lll} CAT & : & S \\ HEAD & : & \boxed{1}\left[\begin{array}{lll} AGR & : & \boxed{2} \end{array}\right] \end{array}\right] \\ \\ X1 & : & \left[\begin{array}{lll} CAT & : & NP \\ HEAD & : & \boxed{2} \end{array}\right] \\ \\ X2 & : & \left[\begin{array}{lll} CAT & : & VP \\ HEAD & : & \boxed{1}\left[\begin{array}{lll} AGR & : & \boxed{2} \end{array}\right] \end{array}\right] \end{array}\right]$$

Beispiel

Regel: $S \rightarrow NP \quad VP$

$$S = \begin{bmatrix} X0 & : & \begin{bmatrix} CAT & : & S \\ HEAD & : & \begin{bmatrix} VERB & : & \boxed{1} \\ SUBJ & : & \boxed{2} \end{bmatrix} \end{bmatrix} \\ X1 & : & \begin{bmatrix} CAT & : & NP \\ HEAD & : & \boxed{2} \begin{bmatrix} STAMM & : & ... \\ DET & : & ... \\ AGR & : & \boxed{3} \end{bmatrix} \end{bmatrix} \\ X2 & : & \begin{bmatrix} CAT & : & VP \\ HEAD & : & \boxed{1} \begin{bmatrix} STAMM & : & ... \\ AGR & : & \boxed{3} \end{bmatrix} \end{bmatrix} \end{bmatrix}$$

Bemerkungen

- man kann die gesamte Regelinformation in eine Merkmalsstruktur bringen
- arbeitet man mit Lexikon, so ist auch den Lexikoneinträgen eine Merkmalsstruktur zuzuordnen
- **Unifikationsgrammatik** = Grammatik + Merkmalsstrukturen
- auch TAGs (Baumadjunktionsgrammatiken) können mit Merkmalsstrukturen annotiert werden

4.5.4 Operationen über Merkmalsstrukturen

Definitionen

U Diskursuniversum (endliche Menge)

Die Elemente von *U* könnten z.B. Wortformen, Phrasen oder Sätze sein.

t Merkmalsstruktur

$\|t\|$ Menge aller Elemente aus *U*, die durch *t* spezifiziert werden $\|t\| \subseteq U$

t_1, t_2 Merkmalsstrukturen

$$t_1 \text{ subsumiert } t_2 \Leftrightarrow \|t_1\| \supseteq \|t_2\|$$

$t_1 \sqsubseteq t_2$ $\rightarrow$ Halbordnung in der Menge der Merkmalsstrukturen

Beispiele

$$\begin{bmatrix} \mathrm{CAT} & : & N \end{bmatrix} \sqsubseteq \begin{bmatrix} \mathrm{CAT} & : & N \\ \mathrm{AGR} & : & \begin{bmatrix} \mathrm{KASUS} & : & nom \end{bmatrix} \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} \mathrm{CAT} & : & N \\ \mathrm{AGR} & : & \begin{bmatrix} \mathrm{KASUS} & : & nom \end{bmatrix} \end{bmatrix} \not\sqsubseteq \begin{bmatrix} \mathrm{CAT} & : & V \\ \mathrm{TEMP} & : & pres \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} \mathrm{CAT} & : & V \\ \mathrm{TEMP} & : & pres \end{bmatrix} \not\sqsubseteq \begin{bmatrix} \mathrm{CAT} & : & N \\ \mathrm{AGR} & : & \begin{bmatrix} \mathrm{KASUS} & : & nom \end{bmatrix} \end{bmatrix}$$

spezielle Merkmalsstrukturen

$\top$ Merkmalsstrutur (Topelement) $\|\top\| = U$

$\top \sqsubseteq t$

$\bot$ Merkmalsstrutur (Bottomelement) $\|\bot\| = \emptyset$

$t \sqsubseteq \bot$

für alle Merkmalsstrukturen *t*

Eigenschaften

Die Subsumption ist keine vollständige Ordnung, sondern eine partielle Ordnung.

1. Reflexivität: Jede Struktur S subsumiert sich selbst: $S \sqsubseteq S$ für alle S.
2. Transitivität: Wenn $S_1 \sqsubseteq S_2$ und $S_2 \sqsubseteq S_3$, dann $S_1 \sqsubseteq S_3$.
3. Antisymmetrie: Wenn $S_1 \sqsubseteq S_2$ und $S_2 \sqsubseteq S_1$, dann gilt $S_1 = S_2$.

Unifikation

t_0, t_1, t_2 Merkmalsstrukturen

Eine Merkmalsstruktur t_0 heißt Unifikation der Merkmalsstrukturen t_1 und t_2 genau dann, wenn die folgenden 3 Bedingungen erfüllt sind:

$$t_1 \sqsubseteq t_0$$

$$t_2 \sqsubseteq t_0$$

$$\forall t \text{ mit } \quad t_1 \sqsubseteq t \quad t_2 \sqsubseteq t \quad \text{gilt:} \quad t_0 \sqsubseteq t$$

$$t_0 = t_1 \sqcup t_2$$

Bemerkungen

- t_0 ist der allgemeinste Typ, der sowohl von t_1 als auch von t_2 subsumiert wird
- die Unifikation ist die wichtigste Operation über Merkmalsstrukturen (deshalb Unifikationsgrammatiken)
- Die Idee der Unifikation ist es, zwei Merkmalsstrukturen auf Verträglichkeit zu prüfen und - im Falle der Verträglichkeit - als Ergebnis eine Merkmalsstruktur zu liefern, die die Informationen der zwei ursprünglichen Merkmalsstrukturen vereint
- andernfalls schlägt die Unifikation fehl, bzw. liefert als Ergebnis das Bottomelement

Beispiel

$$S_a = \begin{bmatrix} \text{CAT} & NP \\ \text{AGR} & \begin{bmatrix} \text{NUM} & sg \end{bmatrix} \end{bmatrix} \qquad S_b = \begin{bmatrix} \text{CAT} & NP \\ \text{AGR} & \begin{bmatrix} \text{GEN} & f \end{bmatrix} \end{bmatrix} \qquad S_c = \begin{bmatrix} \text{CAT} & NP \\ \text{AGR} & \begin{bmatrix} \text{NUM} & pl \end{bmatrix} \end{bmatrix}$$

$$S_d = \begin{bmatrix} \text{CAT} & NP \\ \text{AGR} & \begin{bmatrix} \text{NUM} & sg \\ \text{GEN} & f \end{bmatrix} \end{bmatrix} \qquad S_e = \begin{bmatrix} \text{CAT} & NP \\ \text{AGR} & \begin{bmatrix} \text{NUM} & sg \\ \text{GEN} & f \\ \text{KAS} & dat \end{bmatrix} \end{bmatrix}$$

$$S_a \sqsubseteq S_d \qquad S_b \sqsubseteq S_d \qquad S_a \sqsubseteq S_e \qquad S_b \sqsubseteq S_e \qquad S_d \sqsubseteq S_e$$

$$S_d = S_a \sqcup S_b$$

$$\bot = S_a \sqcup S_c$$

Strukturen mit widersprüchlicher Information

Beispiel

$$\begin{bmatrix}\mathrm{CAT} & : & N\end{bmatrix} \sqcup \begin{bmatrix}\mathrm{KASUS} & : & nom\end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix}\mathrm{CAT} & : & N \\ \mathrm{KASUS} & : & nom\end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix}\mathrm{CAT} & : & V \\ \mathrm{AGR} & : & \begin{bmatrix}\mathrm{PERS} & : & 3 \\ \mathrm{NUM} & : & sg\end{bmatrix}\end{bmatrix} \sqcup \begin{bmatrix}\mathrm{CAT} & : & V \\ \mathrm{AGR} & : & \begin{bmatrix}\mathrm{PERS} & : & 1 \\ \mathrm{NUM} & : & sg\end{bmatrix}\end{bmatrix} = \perp$$

Eigenschaften

$$\|t_1 \sqcup t_2\| \subseteq \|t_1\| \cap \|t_2\|$$

$$t \sqcup \top = t$$

$$t \sqcup \bot = \bot$$

$$t_1 \sqcup t_2 = t_2 \sqcup t_1$$

$$t \sqcup t = t$$

$$(t_1 \sqcup t_2) \sqcup t_3 = t_1 \sqcup (t_2 \sqcup t_3)$$

Generalisierung

t_0, t_1, t_2 Merkmalsstrukturen

Eine Merkmalsstruktur t_0 heißt Generalisierung der Merkmalsstrukturen t_1 und t_2 genau dann, wenn die folgenden 3 Bedingungen erfüllt sind:

$$t_0 \sqsubseteq t_1$$

$$t_0 \sqsubseteq t_2$$

$$\forall t \quad \text{mit} \qquad t \sqsubseteq t_1 \qquad t \sqsubseteq t_2 \qquad \text{gilt:} \qquad t \sqsubseteq t_0$$

$$t_0 = t_1 \sqcap t_2$$

Bemerkung

- Generalisierung ist jene Operation, die die Information bestimmt, die zwei Merkmalsstrukturen gemeinsam ist.

Beispiel

$$\begin{bmatrix} \mathrm{CAT} & : & V \\ \mathrm{NUM} & : & sg \end{bmatrix} \;|\;|\; \begin{bmatrix} \mathrm{CAT} & : & V \\ \mathrm{NUM} & : & pl \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathrm{CAT} & : & V \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} \mathrm{CAT} & : & V \\ \mathrm{AGR} & : & \begin{bmatrix} \mathrm{PERS} & : & 3 \\ \mathrm{NUM} & : & sg \end{bmatrix} \end{bmatrix} \;|\;|\; \begin{bmatrix} \mathrm{CAT} & : & V \\ \mathrm{AGR} & : & \begin{bmatrix} \mathrm{PERS} & : & 1 \\ \mathrm{NUM} & : & sg \end{bmatrix} \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} \mathrm{CAT} & : & V \\ \mathrm{AGR} & : & \begin{bmatrix} \mathrm{NUM} & : & sg \end{bmatrix} \end{bmatrix}$$

falls keine Disjunktion für die Werte von Merkmalen zugelassen wird

Beispiel

$$\begin{bmatrix} \text{CAT} & : & V \\ \text{AGR} & : & \begin{bmatrix} \text{PERS} & : & 3 \\ \text{NUM} & : & sg \end{bmatrix} \end{bmatrix} \sqcup \begin{bmatrix} \text{CAT} & : & V \\ \text{AGR} & : & \begin{bmatrix} \text{PERS} & : & 1 \\ \text{NUM} & : & sg \end{bmatrix} \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} \text{CAT} & : & V \\ \text{AGR} & : & \begin{bmatrix} \text{PERS} & : & \left\{ 1 \; ; \; 3 \right\} \\ \text{NUM} & : & sg \end{bmatrix} \end{bmatrix}$$

falls Disjunktion für die Werte von Merkmalen zugelassen wird

Eigenschaften

$$\|t_1 \sqcap t_2\| \supseteq \|t_1\| \cup \|t_2\|$$

$$t \sqcap \top = \top$$

$$t \sqcap \bot = t$$

$$t_1 \sqcap t_2 = t_2 \sqcap t_1$$

$$t \sqcap t = t$$

$$(t_1 \sqcap t_2) \sqcap t_3 = t_1 \sqcap (t_2 \sqcap t_3)$$

Bemerkung

Die Distributivgesetze

- $(t_1 \sqcap t_2) \sqcup t_3 = (t_1 \sqcup t_3) \sqcap (t_2 \sqcup t_3)$
- $(t_1 \sqcup t_2) \sqcap t_3 = (t_1 \sqcap t_3) \sqcup (t_2 \sqcap t_3)$

gelten i. a. nicht (nur wenn Disjunktion für die Werte von Merkmalen zugelassen wird).

4.5.5 Parsing

Chart – Parser

- bei den Parsingalgorithmen wird jetzt auf Unifizierbarkeit statt auf Symbolgleichheit getestet
- eine Kante erhält ein weiteres Element, das Variablenbindungen beschreibt

$$[i, j, A, \alpha, B\beta, \theta] \in C$$

Prozedur Expand

Gegeben:

- Unifikationsgrammatik mit einer Regelmenge R
- Chart C

$$[i, j, A, \alpha, B\beta, \theta] \in C \qquad 0 \leq i \leq j \leq n, \quad A, B \in V_N, \quad \alpha, \beta \in V^{¿}$$

$$(B' \rightarrow \tau) \in R \qquad \tau \in V^{¿}$$

$$B^* ¿ B' \sqcup B$$

Unifikation

$$[j, j, B^*, \varepsilon, \tau, \theta'] \in C$$

neue Kante

beschreibt die durch die Unifikation modifizierte Menge von Variablenbindungen

Beispiel – Regeln

$$\begin{bmatrix} CAT & : & S \\ HEAD & : & \boxed{1} \end{bmatrix} \rightarrow \begin{bmatrix} CAT & : & NP \\ HEAD & : & \boxed{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} CAT & : & VP \\ HEAD & : & \boxed{1}\begin{bmatrix} AGR\,\boxed{2} \end{bmatrix} \end{bmatrix}$$

$$(\mathit{Regel:} \quad S \rightarrow NP \quad VP)$$

$$\begin{bmatrix} CAT & : & VP \\ HEAD & : & \boxed{3} \end{bmatrix} \rightarrow \begin{bmatrix} CAT & : & V \\ HEAD & : & \boxed{3} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} CAT & : & NP \end{bmatrix}$$

$$(\mathit{Regel:} \quad VP \rightarrow V \quad NP)$$

Beispiel – Regeln

$$\begin{bmatrix} CAT & : & NP \\ HEAD & : & \boxed{4} \end{bmatrix} \rightarrow \begin{bmatrix} CAT & : & N \\ HEAD & : & \boxed{4} \end{bmatrix}$$

$$(Regel: \quad NP \rightarrow N)$$

$$\begin{bmatrix} CAT & : & NP \\ HEAD & : & \boxed{5} \end{bmatrix} \rightarrow \begin{bmatrix} CAT & : & ART \end{bmatrix} \begin{bmatrix} CAT & : & N \\ HEAD & : & \boxed{5} \end{bmatrix}$$

$$(Regel: \quad NP \rightarrow ART \quad N)$$

Beispiel – Initialisierung der Chart

$$\begin{bmatrix} CAT & : & S \\ HEAD & : & \boxed{1} \end{bmatrix} \rightarrow \begin{bmatrix} CAT & : & NP \\ HEAD & : & \boxed{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} CAT & : & VP \\ HEAD & : & \boxed{1}\begin{bmatrix} AGR \boxed{2} \end{bmatrix} \end{bmatrix}$$

$$(\text{Regel:} \quad S \rightarrow NP \quad VP)$$

$$\left[0, 0, \begin{bmatrix} CAT & : & S \\ HEAD & : & \boxed{6} \end{bmatrix}, \varepsilon, \begin{bmatrix} CAT & : & NP \\ HEAD & : & \boxed{7} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} CAT & : & VP \\ HEAD & : & \boxed{6} \end{bmatrix}, \left\{ \left[\boxed{6} \begin{bmatrix} AGR \boxed{7} \end{bmatrix} \right] \right\} \right]$$

Beispiel – Expand

$$\left[0, 0, \left[\begin{array}{ccc} CAT & : & NP \\ HEAD & : & \boxed{8} \end{array}\right], \varepsilon, \left[\begin{array}{ccc} CAT & : & N \\ HEAD & : & \boxed{8} \end{array}\right], \{\}\right]$$

$$\left[0, 0, \left[\begin{array}{ccc} CAT & : & NP \\ HEAD & : & \boxed{9} \end{array}\right], \varepsilon, \left[\begin{array}{ccc} CAT & : & ART \end{array}\right] \quad \left[\begin{array}{ccc} CAT & : & N \\ HEAD & : & \boxed{9} \end{array}\right], \{\}\right]$$

Beispiel - Complete

$$\left[2,2,\begin{bmatrix} CAT & : & VP \\ HEAD & : & \boxed{10} \end{bmatrix},\varepsilon,\begin{bmatrix} CAT & : & V \\ HEAD & : & \boxed{10} \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} CAT & : & NP \end{bmatrix},\{\}\right]$$

$$\left[2,3,\begin{bmatrix} CAT & : & V \\ HEAD & : & \begin{bmatrix} PER & : & 3 \\ TMP & : & praes \\ NUM & : & sing \end{bmatrix} \end{bmatrix},\mathrm{schlaeft},\varepsilon,\{\}\right]$$

$$\Rightarrow \quad \left[2,3,\begin{bmatrix} CAT & : & VP \\ HEAD & : & \boxed{11} \end{bmatrix},\begin{bmatrix} CAT & : & V \\ HEAD & : & \boxed{11} \end{bmatrix},\begin{bmatrix} CAT & : & NP \end{bmatrix}, \left\{\left[\boxed{11}\begin{bmatrix} PER & : & 3 \\ TMP & : & praes \\ NUM & : & sing \end{bmatrix}\right]\right\}\right]$$