

Sprachorientierte KI: Syntax und Parsing

- Syntax als Untersuchungsgegenstand
- Wortartensambiguierung
- Phrasenstrukturgrammatiken
- Parsing mit Phrasenstrukturgrammatiken
- Restringierte Phrasenstrukturgrammatiken
- Unifikationsgrammatiken
- Constraint-basierte Grammatiken
- Robustes Parsing



Wolfgang Menzel: Sprachorientierte KI: Syntax und Parsing – p. 1

Unifikationsgrammatiken

- Merkmalstrukturen
- Regeln mit komplexen Kategorien
- Organisation des Lexikons
- Grammatikmodelle mit Unifikation



Wolfgang Menzel: Sprachorientierte KI: Syntax und Parsing – p. 2

Merkmalstrukturen

- Attribute und Werte
- Rekursive Merkmalstrukturen
- Koreferenz
- Disjunktive Merkmalstrukturen
- Generalisierung
- Termunifikation



Wolfgang Menzel: Sprachorientierte KI: Syntax und Parsing – p. 3

Attribute und Werte

- Attributierte Grammatiken: Merkmale als Annotation der kategorialen Symbole

$$N_{\text{nom,sg,neutr}} \rightarrow \text{Haus}$$
$$N[\text{nom,sg,neutr}] \rightarrow \text{Haus}$$
$$N \begin{array}{|l|l|l|} \hline \text{case} & \text{nom} & \\ \hline \text{num} & \text{sg} & \rightarrow \text{Haus} \\ \hline \text{gen} & \text{neutr} & \\ \hline \end{array}$$

- explizite Notation von Attributnamen



Wolfgang Menzel: Sprachorientierte KI: Syntax und Parsing – p. 4

Attribute und Werte

- komplexe Kategorien: Einbeziehung des Kategoriennamens in die Merkmalstruktur

$$\text{Haus: } \begin{array}{|l|l|l|} \hline \text{cat} & \text{N} & \\ \hline \text{case} & \text{nom} & \\ \hline \text{num} & \text{sg} & \\ \hline \text{gen} & \text{neutr} & \\ \hline \end{array}$$

- Merkmalstruktur als funktionale Abbildung:

Eine Merkmalstruktur ist eine eindeutige Abbildung aus der Menge der Attribute in die Menge der Werte

- eindeutige Attributnamen / eindeutige Wertezuordnung



Wolfgang Menzel: Sprachorientierte KI: Syntax und Parsing – p. 5

Attribute und Werte

- Merkmalstruktur:

Eine Merkmalstruktur ist eine endliche Menge von Attribut-Wert-Paaren, die eine funktionale Abbildung aus der Menge der Attribute in die Menge der Werte realisiert.

- Anzahl der Attribute ist endlich aber frei wählbar
- Merkmalstrukturen sind seitlich erweiterbar

- partielle Beschreibungen: unterspezifizierte Merkmalstrukturen

$$\text{Frauen: } \begin{array}{|l|l|l|} \hline \text{cat} & \text{N} & \\ \hline \text{num} & \text{pl} & \\ \hline \text{gen} & \text{fem} & \\ \hline \end{array}$$



Wolfgang Menzel: Sprachorientierte KI: Syntax und Parsing – p. 6

Attribute und Werte

- Subsumtion:

Eine Merkmalstruktur M_1 subsumiert eine Merkmalstruktur M_2 gdw. jedes Attribut-Wert-Paar aus M_1 auch in M_2 enthalten ist.

→ nicht alle Paare aus M_2 müssen auch in M_1 enthalten sein

- Notationsvariante 1:

Constraint-basiert (SHIEBER 1986): $M_1 \sqsubseteq M_2$

- M_2 enthält eine größere Menge von Constraints als M_1
- M_2 ist eine Erweiterung von M_1 (POLLARD UND SAG 1987)

- M_1 ist weniger informativ als M_2 (SHIEBER 1986, POLLARD UND SAG 1987)

aber:

- M_1 ist allgemeiner als M_2



Wolfgang Menzel: Sprachorientierte KI: Syntax und Parsing – p. 7



Wolfgang Menzel: Sprachorientierte KI: Syntax und Parsing – p. 8

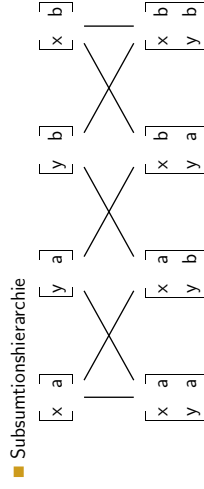
Attribute und Werte

- Notationsvariante 2:
- Instanzen-basiert (POLLARD UND SAG 1987): $M_1 \succeq M_2$
 - M_2 ist spezieller als M_1
 - M_2 entsteht aus M_1 durch Constraintverschärfung
 - Es gibt weniger Instanzen für M_2 als für M_1
- aber:
 - M_2 ist Erweiterung von M_1



Wolfgang Menzel: Sprachorientierte KI: Syntax und Parsing – p. 9

Attribute und Werte



Wolfgang Menzel: Sprachorientierte KI: Syntax und Parsing – p. 10

Attribute und Werte

- formale Eigenschaften der Subsumtion
 - reflexiv: $\forall M_i. M_i \sqsubseteq M_i$
 - transitiv: $\forall M_i. \forall M_j. \forall M_k. M_i \sqsubseteq M_j \wedge M_j \sqsubseteq M_k \rightarrow M_i \sqsubseteq M_k$
 - antisymmetrisch: $\forall M_i. \forall M_j. M_i \sqsubseteq M_j \wedge M_j \sqsubseteq M_i \rightarrow M_i = M_j$
- Subsumtionsrelation definiert eine Halbordnung
- nicht alle Merkmalstrukturen müssen in einer Subsumtionsbeziehung stehen



Wolfgang Menzel: Sprachorientierte KI: Syntax und Parsing – p. 11

Attribute und Werte

- Unifikation I (subsumtions-basiert)
- M_1, M_2 und M_3 seien Merkmalstrukturen. Dann ist M_3 die Unifikation von M_1 und M_2

$$M_3 = M_1 \sqcup M_2$$
 wenn
 - M_3 von M_1 und M_2 subsumiert wird und
 - M_3 alle anderen Merkmalstrukturen subsumiert, die ebenfalls von M_1 und M_2 subsumiert werden.
- Unifikationsresultat M_3 ist die allgemeinste Merkmalstruktur, die sowohl von M_1 als auch von M_2 subsumiert wird



Wolfgang Menzel: Sprachorientierte KI: Syntax und Parsing – p. 12

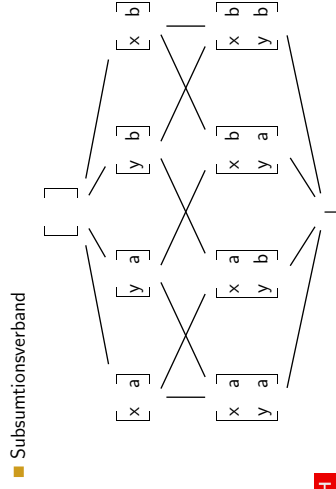
Attribute und Werte

- nicht alle Merkmalstrukturen stehen in einer Subsumtionsrelation \rightarrow Unifikation kann scheitern
- Ergänzten der Subsumtionshierarchie zum Verband
 - bottom (\perp) inkonsistente (überspezifizierte) Merkmalstruktur
 - top (\top) total unterspezifizierte Merkmalstruktur
- identisch mit einer (unbenannten) Variablen ($[]$)



Wolfgang Menzel: Sprachorientierte KI: Syntax und Parsing – p. 13

Attribute und Werte



Wolfgang Menzel: Sprachorientierte KI: Syntax und Parsing – p. 14

Attribute und Werte

- Unifikation II (aussagenlogisch) (POLLARD UND SAG 1987)
- Unifikation zweier Merkmalstrukturen M_1 und M_2 ist die logische Konjunktion aller diejenigen Aussagen, für die die Merkmalstrukturen M_1 und M_2 stehen.

Analogie zur Konjunktion, daher Notationsvariante:

$$M_3 = M_1 \wedge M_2$$

bzw.

$$M_3 = \begin{bmatrix} M_1 \\ M_2 \end{bmatrix}$$

- Unifikation vereinigt zwei Aspekte:

1. Verträglichkeitstest
 2. Informationsanreicherung
- Unifikationsergebnis vereinigt zwei Aspekte
 1. BOOLE'scher Wert bezüglich des Erfolgs der Unifikation
 2. Vereinigungsmenge der verträglichen Information aus beiden Merkmalstrukturen



Wolfgang Menzel: Sprachorientierte KI: Syntax und Parsing – p. 15



Wolfgang Menzel: Sprachorientierte KI: Syntax und Parsing – p. 16

Attribute und Werte

- formale Eigenschaften der Unifikation
 - idempotent: $M \sqcup M = M$
 - kommutativ: $M_i \sqcup M_j = M_j \sqcup M_i$
 - assoziativ: $(M_i \sqcup M_j) \sqcup M_k = M_i \sqcup (M_j \sqcup M_k)$
 - neutrales Element: $\perp \sqcup M = M$
 - Nullelement: $\perp \sqcup \perp = \perp$

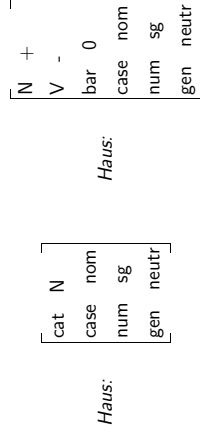
- Unifikation und Subsumtion sind wechselseitig auseinander definierbar

$$M_i \sqsubseteq M_j \leftrightarrow M_i \sqcup M_j = M_j$$

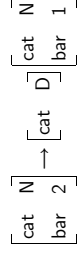


Attribute und Werte

- Merkmalsbasierte Lexikoneinträge

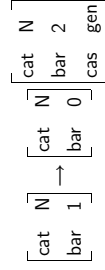


- Regeln mit komplexen Kategorien



Attribute und Werte

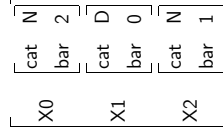
- Modellierung von Rektionsforderungen



Attribute und Werte

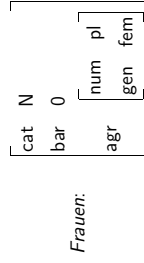
- Abbildung der Regelstruktur in Merkmalstrukturen

Beispiel: binärverzweigende Regel: $X_0 \rightarrow X_1 X_2$



Rekursive Merkmalstrukturen

- Datenabstraktion:
 - Bedingungen sollen nicht für einzelne Merkmale formuliert werden, sondern für Merkmalsbündel
 - rekursiv eingebettete Merkmalstrukturen:
 - Werte eines Attributs ist wieder eine Merkmalstruktur



Rekursive Merkmalstrukturen

- Zugriff zu den Werten über Pfade
 - $\langle \text{cat} \rangle = \text{N}$
 - $\langle \text{bar} \rangle = 0$
 - $\langle \text{agr num} \rangle = \text{pl}$
 - $\langle \text{agr gen} \rangle = \text{fem}$
 - $\langle \text{agr} \rangle = \begin{bmatrix} \text{num} & \text{pl} \\ \text{gen} & \text{fem} \end{bmatrix}$



Rekursive Merkmalstrukturen

- Unifikation III (konstruktive Berechnungsvorschrift)

Zwei Merkmalstrukturen M_1 und M_2 unifizieren, wenn für jedes gemeinsame Merkmal der beiden Strukturen gilt, daß

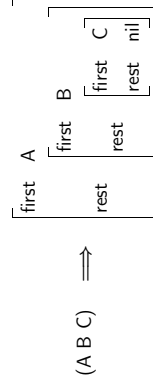
 - bei atomaren Werten die beiden Wertebelegungen identisch sind bzw.
 - bei komplexen Werten die beiden Wertebelegungen unifizieren

Ist die Unifikation erfolgreich, liefert sie als Resultat die Menge aller vollständigen Pfade aus M_1 und M_2 mit ihren zugeordneten Werten. Scheitert die Unifikation ist das Resultat \perp .



Rekursive Merkmalstrukturen

- Repräsentation rekursiver Datenstrukturen
 - Listen
 - Bäume



Rekursive Merkmalstrukturen

- Beispiel: Subkategorisierungsliste

$$(NP[dat] NP[akk]) \Rightarrow \left[\begin{array}{c} \text{first} \\ \text{rest} \end{array} \right] \left[\begin{array}{c} \left[\begin{array}{c} \text{cat} \text{ N} \\ \text{bar} \text{ 2} \\ \text{cas} \text{ dat} \end{array} \right] \\ \left[\begin{array}{c} \text{cat} \text{ N} \\ \text{bar} \text{ 2} \\ \text{cas} \text{ akk} \\ \text{rest} \text{ nil} \end{array} \right] \end{array} \right]$$
- Zwei Listen unifizieren gdw.
 - sie gleich lang sind und
 - ihre Elemente paarweise unifizieren.



Wolfgang Menzel: Sprachorientierte KI: Syntax und Parsing – p. 25

Koreferenz

- Repräsentation von Merkmalstrukturen als Pfadgleichungen

$$\begin{array}{c} \left[\begin{array}{c} \text{cat} \text{ N} \\ \text{bar} \text{ 2} \end{array} \right] \\ X0 \\ \left[\begin{array}{c} \text{cat} \text{ D} \\ \text{bar} \text{ 0} \end{array} \right] \\ X1 \\ \left[\begin{array}{c} \text{cat} \text{ N} \\ \text{bar} \text{ 1} \end{array} \right] \\ X2 \end{array} \Rightarrow \begin{array}{c} \langle X0 \text{ cat} \rangle = \text{N} \\ \langle X0 \text{ bar} \rangle = 2 \\ \langle X1 \text{ cat} \rangle = \text{D} \\ \langle X1 \text{ bar} \rangle = 0 \\ \langle X2 \text{ cat} \rangle = \text{N} \\ \langle X2 \text{ bar} \rangle = 1 \end{array}$$



Wolfgang Menzel: Sprachorientierte KI: Syntax und Parsing – p. 26

Koreferenz

- Kongruenz durch Identifizierung von Pfadwerten

Kongruenz, reentrancy, structure sharing

 - Projektion: $\langle X0 \text{ agr} \rangle = \langle X2 \text{ agr} \rangle$
 - Kongruenz: $\langle X1 \text{ agr} \rangle = \langle X2 \text{ agr} \rangle$



Wolfgang Menzel: Sprachorientierte KI: Syntax und Parsing – p. 27

Koreferenz

- Darstellung in Merkmalmatrizen durch Koreferenzindex bzw. Pfadgleichungen

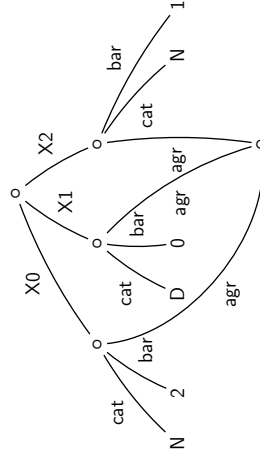
$$\begin{array}{c} \left[\begin{array}{c} \text{cat} \text{ N} \\ \text{bar} \text{ 2} \\ \text{agr} \text{ []} \end{array} \right] \\ X0 \\ \left[\begin{array}{c} \text{cat} \text{ D} \\ \text{bar} \text{ 0} \\ \text{agr} \text{ []} \end{array} \right] \\ X1 \\ \left[\begin{array}{c} \text{cat} \text{ N} \\ \text{bar} \text{ 1} \\ \text{agr} \text{ []} \end{array} \right] \\ X2 \end{array} \quad \begin{array}{c} \left[\begin{array}{c} \text{cat} \text{ N} \\ \text{bar} \text{ 2} \\ \text{agr} \end{array} \right] \\ X0 \\ \left[\begin{array}{c} \text{cat} \text{ D} \\ \text{bar} \text{ 0} \\ \text{agr} = \langle X0 \text{ agr} \rangle \end{array} \right] \\ X1 \\ \left[\begin{array}{c} \text{cat} \text{ N} \\ \text{bar} \text{ 1} \\ \text{agr} = \langle X0 \text{ agr} \rangle \end{array} \right] \\ X2 \end{array}$$
- Koreferenz entspricht einer benannten Variablen



Wolfgang Menzel: Sprachorientierte KI: Syntax und Parsing – p. 28

Koreferenz

- Merkmalstrukturen mit Koreferenz entsprechen einem gerichteten azyklischen Graphen



Wolfgang Menzel: Sprachorientierte KI: Syntax und Parsing – p. 29

Koreferenz

- Definition durch Analogie (SHIEBER 1986)

Eine Merkmalstruktur ist ein gerichteter azyklischer Graph (DAG) über einer endlichen Menge von Kantennotationen und einer endlichen Menge von atomaren Werten

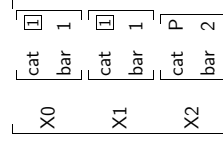
 - terminologische Vielfalt
 - Merkmalmatrizen
 - Merkmalsgraphen
 - Merkmalmatrizen
 - Attribut-Wert-Matrizen (AVM)
 - Merkmal-Wert-Strukturen
 - funktionale Strukturen (KAY 1984)



Wolfgang Menzel: Sprachorientierte KI: Syntax und Parsing – p. 30

Koreferenz

- Beispiel: generalisierte Adjunktionsregel für Präpositionalphrasen



Wolfgang Menzel: Sprachorientierte KI: Syntax und Parsing – p. 31

Koreferenz

- Auswirkungen der Koreferenz auf den Informationsgehalt:
 - Strukturgleichheit (type identity):

$$\left[\begin{array}{c} x \text{ []} \\ y \text{ []} \end{array} \right]$$
 - Referenzidentität (token identity):

$$\left[\begin{array}{c} x \text{ []} \\ y \text{ []} \end{array} \right]$$
 - Eine Koreferenz ist ein zusätzliches Constraint.
 - Identität ist spezieller als Gleichheit:

$$\left[\begin{array}{c} x \text{ []} \\ y \text{ []} \end{array} \right] \sqsubseteq \left[\begin{array}{c} x \text{ []} \\ y \text{ []} \end{array} \right]$$



Definition der Unifikation bleibt unverändert

Wolfgang Menzel: Sprachorientierte KI: Syntax und Parsing – p. 32

Disjunktive Merkmalstrukturen

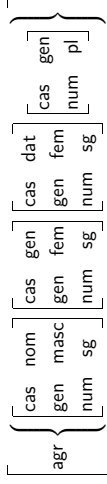
- Problem: Merkmalstrukturen sind konjunktive Verknüpfungen von elementaren Informationen
 - Lesartenunterschiede müssen als alternative Merkmalstrukturen beschrieben werden
 - sehr hohe Zahl morphosyntaktischer Lesarten in den flektierenden Sprachen
- Modellierung von alternativen Lesarten durch Disjunktion
 - Disjunktion + funktionale Abbildung
→ "ausschließendes Oder" (EXOR)



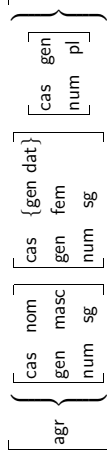
Wolfgang Menzel: Sprachorientierte KI: Syntax und Parsing – p. 33

Disjunktive Merkmalstrukturen

- Ziel: Disjunktionen lokal halten
 - globale Disjunktion für *der*



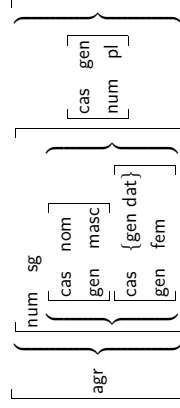
- Disjunktion von atomaren Werten



Wolfgang Menzel: Sprachorientierte KI: Syntax und Parsing – p. 34

Disjunktive Merkmalstrukturen

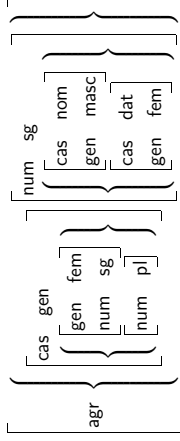
- Disjunktion für komplexe Merkmalstrukturen



Wolfgang Menzel: Sprachorientierte KI: Syntax und Parsing – p. 35

Disjunktive Merkmalstrukturen

- alternativ:
 - effektive Darstellung vor allem der präterminalen Mehrdeutigkeiten
- beseitigt aber nicht die gravierenden Effektivitätsprobleme



erstmalig in der Functional Unification Grammar (KAY 1984) verwendet

Wolfgang Menzel: Sprachorientierte KI: Syntax und Parsing – p. 36

Disjunktive Merkmalstrukturen

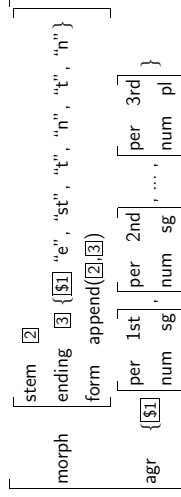
- verteilte Disjunktion
 - Einschränkung der Kombinierbarkeit von Disjunkten
 - Anwendung zur redundanzfreien Repräsentation von Flexionsparadigmen:
 - Flexionsparadigma ist Disjunktion von Paaren aus Flexionsendung und morphosyntaktischen Merkmalen
 - aber: nicht alle morphosyntaktischen Informationen sind aber endungsabhängig
 - Redundanzbeseitigung durch verteilte Disjunktion



Wolfgang Menzel: Sprachorientierte KI: Syntax und Parsing – p. 37

Disjunktive Merkmalstrukturen

- Matrixrepräsentation



Wolfgang Menzel: Sprachorientierte KI: Syntax und Parsing – p. 38

Disjunktive Merkmalstrukturen

- Form-basierte Notation
 - morph $\left[\begin{array}{c} \left\{ \begin{array}{c} \text{stem} \\ \text{ending} \\ \text{form} \end{array} \right\} \left\{ \begin{array}{c} \text{"e", "st", "t", "n"} \\ \text{append} \end{array} \right\} \end{array} \right]$
 - agr $\left[\begin{array}{c} \left\{ \begin{array}{c} \text{per} \\ \text{num} \end{array} \right\} \left\{ \begin{array}{c} \text{1st, 2nd, 3rd, 2nd}, \{1st, 3rd\} \\ \text{sg, sg, pl} \end{array} \right\} \end{array} \right]$



Wolfgang Menzel: Sprachorientierte KI: Syntax und Parsing – p. 39

Generalisierung

- Disjunktion ist Zusammenfassung zweier unterschiedlicher zu einer gemeinsamen Merkmalstruktur
 - gemeinsame Bestandteile werden ausgeklammert
 - redundanzarme Repräsentation
 - Denotationsmenge bleibt erhalten
→ schwache Generalisierung



Wolfgang Menzel: Sprachorientierte KI: Syntax und Parsing – p. 40

Generalisierung

- starke Generalisierung: Beschränkung auf die gemeinsame Information
- starke Generalisierung für disjunktionstrennende Merkmalstrukturen:

Die Generalisierung zweier disjunktionstrennender Merkmalstrukturen M_1 und M_2 ist die speziellste (disjunktionstrennende) Merkmalstruktur M_3 , die sowohl M_1 als auch M_2 subsummiert.

Die Generalisierung zweier disjunktionstrennender Merkmalstrukturen M_1 und M_2 ist die Schnittmenge aller Pfade aus M_1 und M_2 und der dazugehörigen Werte.

Notation: $M_3 = M_1 \sqcap M_2$



Wolfgang Menzel: Sprachorientierte KI: Syntax und Parsing – p. 41

Generalisierung

- Generalisierung als duale Operation zur Unifikation
 - Informationsverlust
 - die Denotatmenge wird ausgeweitet
- formale Eigenschaften der Generalisierung
 - idempotent: $M \sqcap M = M$
 - kommutativ: $M_i \sqcap M_j = M_j \sqcap M_i$
 - assoziativ: $(M_i \sqcap M_j) \sqcap M_k = M_i \sqcap (M_j \sqcap M_k)$
 - neutrales Element: $\perp \sqcap M = M$
 - Nullelement: $\top \sqcap M = \top$



Wolfgang Menzel: Sprachorientierte KI: Syntax und Parsing – p. 42

Generalisierung

- Generalisierung und Subsumtion sind auseinander definierbar

$$M_i \sqsubseteq M_j \leftrightarrow M_i \sqcap M_j = M_i$$

- für Unifikation und Generalisierung gilt das Distributivgesetz

$$(M_i \sqcup M_j) \sqcup M_k = (M_i \sqcup M_k) \sqcap (M_j \sqcup M_k)$$

$$(M_i \sqcup M_j) \sqcap M_k = (M_i \sqcap M_k) \sqcup (M_j \sqcap M_k)$$



Wolfgang Menzel: Sprachorientierte KI: Syntax und Parsing – p. 43



Wolfgang Menzel: Sprachorientierte KI: Syntax und Parsing – p. 44

Generalisierung

- Einsatzgebiete für starke Generalisierung
 - Koordinationsanalyse: Ermitteln der gemeinsamen Einordnungsinstanz
 - Effektivierung der Analyse durch Zusammenfassen von Lesarten und gemeinsamer Vorunifikation
 - gemeinsame Repräsentation phonetisch ähnlicher Erkennungshypothesen durch generalisierte Merkmalstrukturen



Wolfgang Menzel: Sprachorientierte KI: Syntax und Parsing – p. 45



Wolfgang Menzel: Sprachorientierte KI: Syntax und Parsing – p. 46

Termunifikation

- Vereinfachung 2: vereinbarte Anordnung der Attribute
 - Listen
 - implizite Attributzuordnung
 - Attributnamen können entfallen
 - Listenunifikation: Listen unterschiedlicher Länge unifizieren nicht
- Vereinfachung 3: Koreferenz nur über benannte Variable
 - Trennung von Koreferenz und Wertedeklaration
 - gleichzeitige Wertezuweisung erfordert externen Mechanismus



Wolfgang Menzel: Sprachorientierte KI: Syntax und Parsing – p. 47



Wolfgang Menzel: Sprachorientierte KI: Syntax und Parsing – p. 48

Termunifikation

- Spezialfall der Graphunifikation
- Vereinfachung 1: Merkmalstrukturen sind seitwärts geschlossen
 - Mengen
 - feste Anzahl von Attributen (Stelligkeit)
 - nur vereinbarte Attribute zulässig
 - alle vereinbarten Attribute notwendig

Termunifikation

- Vereinfachung 4: ausgezeichnete (atomare) Werte als Funktor
 - Termunifikation
- rekursive Einbettbarkeit der Terme bleibt erhalten
 - Datenabstraktion (head-Merkmal)
 - komplexe Kategorien (slash-Merkmal)
- Termunifikation + kontextfreies Grundgerüst \rightarrow DCG



Wolfgang Menzel: Sprachorientierte KI: Syntax und Parsing – p. 48

Terminifikation

- Einbettung in Prolog
 - Verwendung der nichtdeterministischen Inferenzmaschine als Parser/Generator
 - Implementation durch Transformation in Prolog-Klauseln
 - Repräsentation der Konstituenten durch Differenzlistentechnik

S	→ NP VP	s(X0,X2) :- np(X0,X1),vp(X1,X2).
N	→ <i>haus</i>	n([haus R],R)



Wolfgang Menzel: Sprachorientierte KI: Syntax und Parsing – p. 49



Wolfgang Menzel: Sprachorientierte KI: Syntax und Parsing – p. 50

Terminifikation

- Aufruf eines Erkenners:
?- s([hans, kauft, das, haus],[]).
- Strukturaufbau auf einem zusätzlichen Argument

Terminifikation

- schnelle Realisierung von einfachen Prototypsystemen
- Nachteile
 - hohe Stelligkeit für anspruchsvolle Grammatiken
→ unübersichtlich und fehleranfällig
 - Modifikationen am Merkmalsinventar erfordern meist umfangreiche Änderungen in der Gesamtgrammatik und in benachbarten Komponenten (z.B. Lexikon)
 - irrelevante Attributpositionen müssen durch (redundante) anonyme Variable belegt sein



Wolfgang Menzel: Sprachorientierte KI: Syntax und Parsing – p. 51



Wolfgang Menzel: Sprachorientierte KI: Syntax und Parsing – p. 52

Formale Eigenschaften

- "Kontextfreie" Regeln mit komplexen Kategorien
 - context free backbone
- Grammatiken mit komplexen Kategorien sind nicht mehr kontextfrei
 - Pfadlänge ist unbeschränkt
 - kann zum Abzählen verwendet werden (PEANO-Arithmetik)
 - Indizierte Grammatiken

cat	N	cat	N
i	[0]	i	[i 0]

...



Wolfgang Menzel: Sprachorientierte KI: Syntax und Parsing – p. 53



Wolfgang Menzel: Sprachorientierte KI: Syntax und Parsing – p. 54

Formale Eigenschaften

- Komplexe Kategorien erlauben die Repräsentation von Regelstrukturen nach dem \bar{X} -Schema
 - bar-Ebenen
 - Projektion
 - Kongruenz
 - Rektion



Wolfgang Menzel: Sprachorientierte KI: Syntax und Parsing – p. 55



Wolfgang Menzel: Sprachorientierte KI: Syntax und Parsing – p. 56

Formale Eigenschaften

- Funktionsauswertungen als Argumentbelegung
 - Konkatenation im Bereich Morphologie und Syntax
- $$\begin{bmatrix} \text{stem} & \boxed{1} & \text{erzähl} \\ \text{ending} & \boxed{2} & \\ \text{form} & \text{append}(\boxed{1},\boxed{2}) & \end{bmatrix}$$
- Anordnungsregularitäten
 - Funktionen sind nicht bidirektional
 - "Verstecken" nichtdeklarativer Komponenten

Formale Eigenschaften

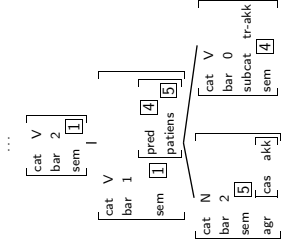
- Aufbau beliebiger Strukturbeschreibungen durch geeignete Wahl von Korreferenzen
z.B. logische Form

cat	I	cat	N	cat	I
bar	2	bar	2	bar	1
sem	[agens 2]	sem	[agr 3] [cas nom]	sem	[agr 3]

→

cat	V	cat	N	cat	V
bar	1	bar	2	bar	0
sem	[pred 1] [patients 2]	sem	[agr 3] [cas akk]	subcat	tr-akk
				sem	[agr 3]

Formale Eigenschaften



Wolfgang Menzel: Sprachorientierte KI: Syntax und Parsing – p. 57

Formale Eigenschaften

- Erzeugung linksrekursiver Strukturen mit rechtsrekursiven Regeln
- linksrekursive Regeln (DCG-Notation)
 - $np(np(Sn, Spp)) \rightarrow np(Snp), pp(Spp)$
 - $np(np(Sd, Sn)) \rightarrow d(Sd), n(Sn)$
 - rechtsrekursive Regeln
 - $np(np(Sd, Sn)) \rightarrow d(Sd), n(Sn)$
 - $np(Spps) \rightarrow d(Sd), n(Sn), pps(np(Sd, Sn), Spps)$
- $pps(Snp, np(Snp, Spp)) \rightarrow pp(Spp)$
- $pps(Snp, Spps) \rightarrow pp(Spp), pps(np(Snp, Spp), Spps)$



Wolfgang Menzel: Sprachorientierte KI: Syntax und Parsing – p. 59

Formale Eigenschaften

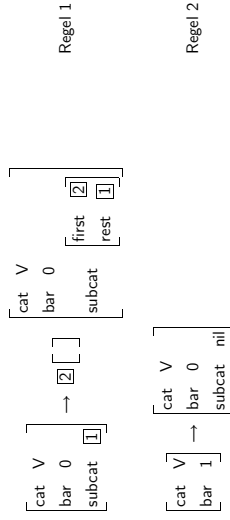
- Parsing mit komplexen Kategorien
 - Test von Kategorien auf Gleichheit wird durch Unifizierbarkeit ersetzt
 - aber: Unifikation ist destruktiv
 - Information wird zu Regeln und Lexikoneinträgen hinzugefügt
 - Kopieren vor Unifikation
 - Test auf Wiederverwendbarkeit einer Kante durch Subsumtion
 - Zusammenfassen ähnlicher Kanten?



Wolfgang Menzel: Sprachorientierte KI: Syntax und Parsing – p. 61

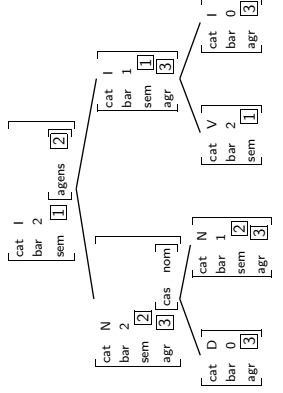
Subkategorisierung

- Abarbeitung der Subcat-Liste durch entsprechende Regeln



Wolfgang Menzel: Sprachorientierte KI: Syntax und Parsing – p. 63

Formale Eigenschaften



Wolfgang Menzel: Sprachorientierte KI: Syntax und Parsing – p. 58

Formale Eigenschaften

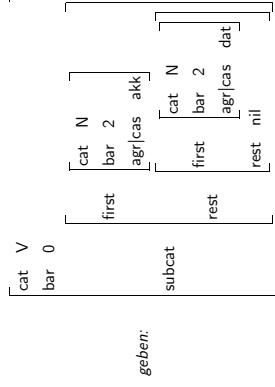
- Beispiel: *das Haus hinter der Straße mit dem roten Dach*
 - $?- np(S, [d, h, hds, mdrd], [])$.
 - $np(Spps1) \rightarrow d(Sd), n(Sn), pps(np(Sd, Sn), Spps1)$.
 - $pps(np(Sd, Sn), Spps1) \rightarrow d(Sd), n(Sn), pps(np(Sd, Sn), Spps1)$.
 - $?- pps(np(d(d), n(h)), Spps1, [hds, mdrd], z1)$.
 - $pps(Snp2, Spps2) \rightarrow pp(Spp), pps(np(Snp, Spp), Spps2)$.
 - $pps(Snp2, Spps2) \rightarrow pp(Spp), pps(np(Snp, Spp), Spps2)$.
 - $?- pps(np(np(d(d), n(h)), pp(hds)), Spps2, [mdrd], z2)$.
 - $pps(Snp, np(Snp, Spp)) \rightarrow pp(Spp)$.
- $Snp = np(np(d(d), n(h)), pp(hds))$.
- $Spps2 = np(np(np(d(d), n(h))), pp(hds))$.



Wolfgang Menzel: Sprachorientierte KI: Syntax und Parsing – p. 60

Subkategorisierung

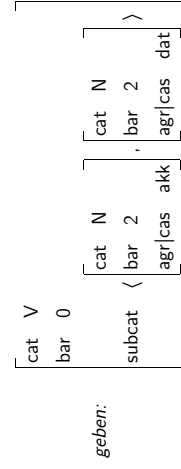
- Modellierung der Valenzforderungen als Liste



Wolfgang Menzel: Sprachorientierte KI: Syntax und Parsing – p. 62

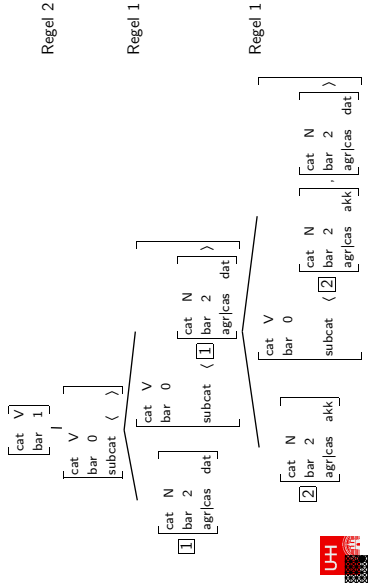
Subkategorisierung

- Listennotation



Wolfgang Menzel: Sprachorientierte KI: Syntax und Parsing – p. 64

Subkategorisierung



Wolfgang Menzel: Sprachorientierte KI: Syntax und Parsing – p. 65



Bewegungsoperationen

- Transformationen/Bewegungen sind unidirektional und prozedural
- Ziel: deklarative Integration in Merkmalstrukturen
- Slash-Operator
 - S/NP Satz ohne Nominalgruppe
 - VP/V Verbalgruppe ohne Verb
 - S/NP/NP
 - ...

Wolfgang Menzel: Sprachorientierte KI: Syntax und Parsing – p. 66



Bewegungsoperationen

- Slash-Operator
 - Ursprung: Kategorialgrammatik (BAR-HILLEL 1963)
 - später in der GPSG wieder aufgegriffen (GAZDAR U.A., 1985)
 - auch anordnungssensitive Variante: S\NP/NP

Wolfgang Menzel: Sprachorientierte KI: Syntax und Parsing – p. 67



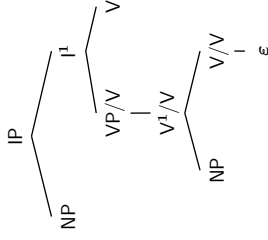
Bewegungsoperationen

- Flexionsbewegung des Verbs
 - fehlende Kategorie wird im Baum "nach oben" transportiert
 - IP → NP I¹
 - I¹ → VP/V V Slash-Einführung
 - VP/V → V¹/V Slash-Übertragung
 - V¹/V → NP V/V Slash-Übertragung
 - V/V → ε Slash-Eliminierung

Wolfgang Menzel: Sprachorientierte KI: Syntax und Parsing – p. 68



Bewegungsoperationen



- X-Schema nicht exakt gewahrt (I⁰ fehlt)

Wolfgang Menzel: Sprachorientierte KI: Syntax und Parsing – p. 69



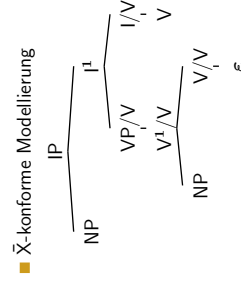
Bewegungsoperationen

- erweiterte Semantik des Slash-Operators:
 - fehlende Kategorie → zu bewegenden Kategorie
 - IP → NP I¹
 - I/V → V Slash-Einführung
 - I¹ → VP/V I/V Slash-Übertragung
 - VP/V → V¹/V Slash-Übertragung
 - V¹/V → NP V/V Slash-Übertragung
 - V/V → ε Slash-Eliminierung

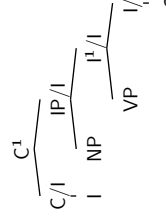
Wolfgang Menzel: Sprachorientierte KI: Syntax und Parsing – p. 70



Bewegungsoperationen



- Verboranstellung
 - C/I → I Slash-Einführung
 - C¹ → C/I IP/I Slash-Übertragung
 - IP/I → NP I¹/I Slash-Übertragung
 - I¹/I → VP I/I Slash-Übertragung
 - I/I → ε Slash-Eliminierung



Wolfgang Menzel: Sprachorientierte KI: Syntax und Parsing – p. 71

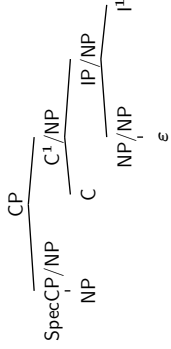


Wolfgang Menzel: Sprachorientierte KI: Syntax und Parsing – p. 72



Bewegungsoperationen

- Topikalisierung
 $CP \rightarrow \text{SpecCP/NP } C^1/\text{NP}$
 $\text{SpecCP/NP} \rightarrow NP$ Slash-Einführung
 $C^1/\text{NP} \rightarrow C \text{ IP/NP}$ Slash-Übertragung
 $\text{IP/NP} \rightarrow NP/\text{NP } I^1$ Slash-Übertragung
 $NP/\text{NP} \rightarrow \epsilon$ Slash-Eliminierung



Wolfgang Menzel: Sprachorientierte KI: Syntax und Parsing – p. 73

Bewegungsoperationen

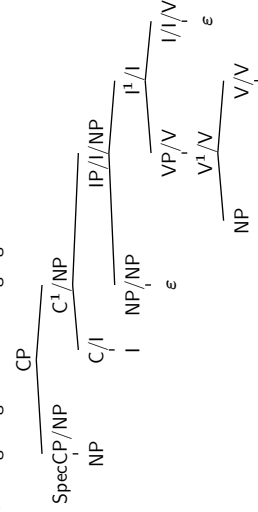
- Übertragung in Merkmalstrukturen: Slash-Merkmal
 - bewegte Konstituenten sind durch Koreferenz mit ihrer Spur verbunden
 - Spurenkonvention gewahrt
 - Ermittlung der semantischen Form ist invariant gegenüber Bewegungsoperationen



Wolfgang Menzel: Sprachorientierte KI: Syntax und Parsing – p. 74

Bewegungsoperationen

- Überlagerung der drei Bewegungen



- Überschneidung von Bewegungspfaden:
 Listen als Werte des Slash-Merkmals



Wolfgang Menzel: Sprachorientierte KI: Syntax und Parsing – p. 75

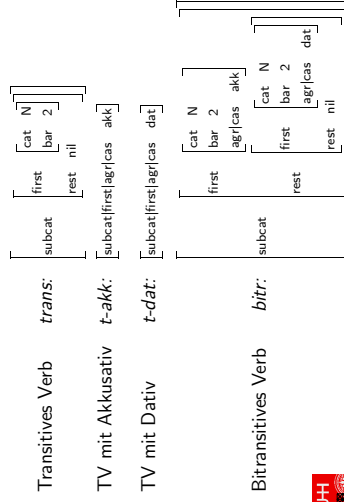
Organisation des Lexikons

- Lexikalisierung des grammatischen Wissens
 - hochgradig komplexe Wörterbucheinträge
 - Probleme bei Erarbeitung und Wartung
 - hochgradige Redundanz
- Ziel: Mehrfachnutzung von Merkmalstrukturen



Wolfgang Menzel: Sprachorientierte KI: Syntax und Parsing – p. 77

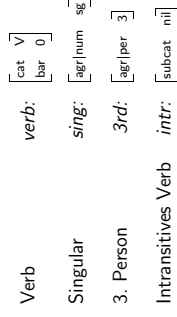
Organisation des Lexikons



Wolfgang Menzel: Sprachorientierte KI: Syntax und Parsing – p. 79

Organisation des Lexikons

- Templates
 - Klassennamen für wiederverwendbare Teilstrukturen
 - generalisierbare Information wird explizit dargestellt
 - manchmal auch als structure sharing bezeichnet



Wolfgang Menzel: Sprachorientierte KI: Syntax und Parsing – p. 78

Organisation des Lexikons

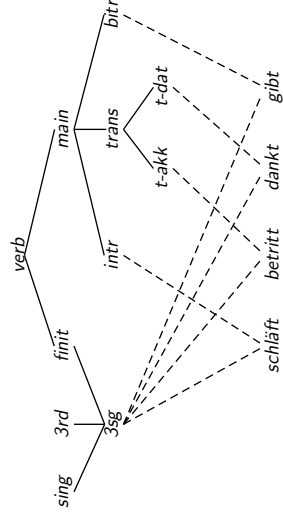
- Lexikoneinträge als Unifikation von Templates
 - schläft $\text{verb} \sqcup \text{intr} \sqcup \text{sing} \sqcup 3\text{rd} \sqcup \text{sem} \sqcup \text{schlafen}$
 - betritt $\text{verb} \sqcup \text{trans} \sqcup \text{t-akk} \sqcup \text{sing} \sqcup 3\text{rd} \sqcup \text{sem} \sqcup \text{betreten}$
 - gibt $\text{verb} \sqcup \text{bitr} \sqcup \text{sing} \sqcup 3\text{rd} \sqcup \text{sem} \sqcup \text{geben}$
- Hierarchische Abstraktion: Vererbung
 - isa (trans, verb)
 - isa (t-akk, trans)
 - isa (3sg, sing)
 - isa (3sg, 3rd)
 - ...



Wolfgang Menzel: Sprachorientierte KI: Syntax und Parsing – p. 80

Organisation des Lexikons

- Mehrfachvererbung ist möglich und typisch



Wolfgang Menzel: Sprachorientierte KI: Syntax und Parsing – p. 81

Organisation des Lexikons

- resultierende Merkmalstruktur ist die Unifikation aller ererbten Teilstrukturen mit den jeweils wortformspezifischen Angaben

schläft intr ⊔ 3sg ⊔ [sem schlafen]
betritt t-akk ⊔ 3sg ⊔ [sem schlafen]
gibt bitr ⊔ 3sg ⊔ [sem geben]



Wolfgang Menzel: Sprachorientierte KI: Syntax und Parsing – p. 82

Organisation des Lexikons

- nichtmonotone Vererbung
- Konfliktlösung durch
 - implizite Präferenzregeln (speziell vor allgemein, links vor rechts)
 - speziellen (unsymmetrischen) Unifikationsoperator (\sqcup_o) mit expliziter Präferenzmarkierung
- Unifikation ist nicht mehr kommutativ
- Reihenfolge der Unifikationen beeinflusst das Ergebnis



Wolfgang Menzel: Sprachorientierte KI: Syntax und Parsing – p. 83

Organisation des Lexikons

- Überschreiben von Standardwerten
 - besonders im morpo-syntaktischen Bereich erwünscht:
 - ein Wort flektiert regulär, falls nichts anderes angegeben ist
 - aber auch: Verbalenzen als Spezialisierung des intransitiven Falls (HUDSON 1985)

bitr: $\begin{matrix} \text{TRANS } L_o \\ \text{subcat/rest} \end{matrix} \begin{matrix} \text{first} \\ \dots \\ \text{rest nil} \end{matrix} \begin{matrix} \text{cat NP} \\ \dots \end{matrix}$

- aber: Reihenfolge der Komplemente in der Subcat-Liste ist oftmals bereits anderweitig festgelegt



Wolfgang Menzel: Sprachorientierte KI: Syntax und Parsing – p. 84

Grammatikmodelle mit Unifikation

- Klassifikation:
 - Theorieneutrale Werkzeuge: PATR-II, FUG, DCG
 - CFG-basierte Grammatiktheorien: LFG, GPSG
- PATR-II (SHIEBER ET AL. 1983)
 - parse and translate
 - Pfadnotation an kontextfreien Regeln

$$VP_1 \rightarrow VP_2 X$$

$$\langle VP_1 \text{ head} \rangle = \langle VP_2 \text{ head} \rangle$$

$$\langle VP_2 \text{ subcat first} \rangle = \langle X \rangle$$

$$\langle VP_2 \text{ subcat rest} \rangle = \langle VP_1 \text{ subcat} \rangle$$
 - Templates zur Lexikonorganisation



Wolfgang Menzel: Sprachorientierte KI: Syntax und Parsing – p. 85

Grammatikmodelle mit Unifikation

- FUG (KAY 1984)
 - functional grammar + unification
 - functional unification grammar
 - Verbindung strukturelle und funktionaler Beschreibung:
 - ausgewählte Merkmale mit speziellen Interpretationen:
 - cset, pattern

$\begin{matrix} \text{cset } \{ \text{3} \text{4} \} \\ \text{pattern } (\text{3} \text{4}) \\ \text{cat } S \\ \text{head } \text{1} \text{subject} \text{2} \\ \text{subj } \text{3} \text{cat NP} \text{2} \\ \text{pred } \text{4} \text{cat VP} \text{1} \end{matrix}$



Wolfgang Menzel: Sprachorientierte KI: Syntax und Parsing – p. 86

Grammatikmodelle mit Unifikation

- FUG (Fortsetzung)
 - Ziel der Berechnung ist eine finale funktionale Struktur für den Satz
 - spezielle ANY-Variable
 - dürfen in der finalen Struktur nicht ungebunden sein
 - Modellierung der Subkategorisierung durch Variablenbindung
 - Konzept der ANY-Variablen ist nichtmonoton:
 - nicht wohlgeformte Strukturen (mit ungebundenen ANY-Variablen) können durch zusätzliche Informationsanreicherung wohlgeformt werden



Wolfgang Menzel: Sprachorientierte KI: Syntax und Parsing – p. 87

Grammatikmodelle mit Unifikation

- DCG (PEREIRA, WARREN 1980)
 - definite clause grammar
 - Termunifikation
 - feste Stelligkeit
 - keine Attributnamen



Wolfgang Menzel: Sprachorientierte KI: Syntax und Parsing – p. 88

Grammatikmodelle mit Unifikation

- LFG (BRESNAN 1982)
- lexical functional grammar
- Notationskonventionen

↑ <i>name</i>	Wert des Merkmals <i>name</i> am Mutterknoten
↓ <i>name</i>	Wert des Merkmals <i>name</i> am aktuellen Tochterknoten
↑ bzw. ↓	die nichtkategoriale Information am betreffenden Knoten

S → NP VP

(↑ subj)=↓ ↑=↓



Wolfgang Menzel: Sprachorientierte KI: Syntax und Parsing – p. 89

Grammatikmodelle mit Unifikation

- LFG (Fortsetzung)
- endliche Menge universeller grammatischer Funktionen: subj., obj., ...
- Subkategorisierungsinformation wird über die Prädikat-Argument-Struktur des Verbes vermittelt (↑ pred) = tragen((↑ subj) (↑ obj))



Wolfgang Menzel: Sprachorientierte KI: Syntax und Parsing – p. 90

Grammatikmodelle mit Unifikation

- LFG (Fortsetzung)
- spezielle Wohlgeformtheitsbedingung für das finale pred-Merkmal
- Vollständigkeit: alle grammatischen Funktionen in der semantischen Form besitzen Werte in der f-Struktur
- Kohärenz: außer den angegebenen grammatischen Funktionen besitzen keine weiteren Funktionen Werte in der f-Struktur
- stark universalgrammatischer Anspruch



Wolfgang Menzel: Sprachorientierte KI: Syntax und Parsing – p. 91

Grammatikmodelle mit Unifikation

- GPSG (GAZDAR ET AL. 1985)
- generalized phrase structure grammar
- Rekursivität der Merkmalstrukturen stark eingeschränkt
- Regeln im ID/LP-Format
- Bewegungsoperationen durch slash-Operator



Wolfgang Menzel: Sprachorientierte KI: Syntax und Parsing – p. 92

Grammatikmodelle mit Unifikation

- GPSG (Fortsetzung)
- Prinzipien zur Einschränkung der Merkmalsbelegungen
- head feature convention: Projektion der Kopfmerkmale an die Phrase
- control agreement principle: Subjekt-Verb-Kongruenz, Rektionsforderungen
- foot feature principle: Bindungsrestriktionen für Bewegungsoperationen und pronominale Referenz



Wolfgang Menzel: Sprachorientierte KI: Syntax und Parsing – p. 93

Grammatikmodelle mit Unifikation

- andere Grammatikmodelle mit Unifikation
- Kategorialgrammatik (CUG: USZKOREIT 1986, UCG: ZEEVAT ET AL. 1987)
- Baumadjunktionsgrammatik (UTAG: HARBUSCH 1990)
- Dependenzgrammatik (DUG: HELLMWIG 1986)



Wolfgang Menzel: Sprachorientierte KI: Syntax und Parsing – p. 94