

Syntax natürlicher Sprachen

9: Featurebasierte Grammatiken

A. Wisiorek

Centrum für Informations- und Sprachverarbeitung,
Ludwig-Maximilians-Universität München

09.12.2025

1. Feature-Modellierung

1 Feature-Modellierung

- Subkategorisierung und Objektkasus
- Verbales Agreement und Subjektkasus

2 Beispiel-Unifikationsgrammatiken

- Subkategorisierung in GPSG und HPSG
- Kasus und Agreement im Deutschen

3 Weitere Feature-Modellierungen

- Auxiliare und Inversion
- Gap-Feature für *Long Distance Dependencies*

1.1. Subkategorisierung und Objektkasus

1 Feature-Modellierung

- Subkategorisierung und Objektkasus
- Verbales Agreement und Subjektkasus

2 Beispiel-Unifikationsgrammatiken

- Subkategorisierung in GPSG und HPSG
- Kasus und Agreement im Deutschen

3 Weitere Feature-Modellierungen

- Auxiliare und Inversion
- Gap-Feature für *Long Distance Dependencies*

Subkategorisierung

- Unterteilung der Klasse der Verben nach Valenztypen:
 - Anzahl und Art verbaler Argumente (Komplemente)
-
- Anzahl und Art der verbalen Argumente (Valenz) muss in formaler Modellierung berücksichtigt werden, um Überproduktion zu vermeiden
 - falscher Argumenttyp: *Er jagt, dass er kommt.
 - falsche Anzahl: *Der Hund bellt den Vogel.

Subkategorisierungsrahmen

- formale Repräsentation der syntaktischen Valenz eines Wortes

Beispiele Subkategorisierungsrahmen

rennen : [_ NP_{NOM}]

jagen : [_ NP_{NOM} NP_{ACC}]

- **Subkategorisierungsprinzip:** Ein Verb kann nur in einer **Umgebung** auftreten, die seinem **Subkategorisierungsrahmen entspricht**
- Subkategorisierung als **Beschränkung (Constraint)** der **syntaktischen Umgebung** (Kontext) von Verben, in der sie vorkommen können

Subkategorisierung mit kontextsensitiven Regeln

- **Berücksichtigung Kontext** zur Modellierung von Subkategorisierung unter Erhalt der Klasse V
 - **kontextsensitive Regeln:** formale Grammatik kann **mehr als ein Nichtterminal auf der linken Seite** enthalten (Kontext)
 - Ersetzung einzelner Nichtterminale (hier: V) nur in Kontext
-
- Problem: kontextsensitive Regeln **komplex in der Verarbeitung**
 - **Status** von Vintrans usw. als Subklasse von V wird nur **indirekt** über kontextsensitive Regel **sichtbar**

Kontextsensitive Regeln

- 1 $_V _ \rightarrow _V \text{intrans} _$
- 2 $_V \text{ NP} \rightarrow _V \text{trans} \text{ NP}$
- 3 $_V \text{ PP} \rightarrow _V \text{prepobj} \text{ PP}$
- 4 $_V \text{ NP NP} \rightarrow _V \text{ditrans} \text{ NP NP}$
- 5 $_V \text{ NP PP} \rightarrow _V \text{place} \text{ NP PP}$
- 6 $_V \text{ S-BAR} \rightarrow _V \text{clause} \text{ S-BAR}$
- 7
- 8 $\text{VP} \rightarrow _V _ | _V \text{ NP} | \dots$

- z.B. darf V mit rechtem Kontext NP nur zu Vtrans abgeleitet werden.

- Subkategorisierung als Merkmal in Lexikoneinträgen der Verben
- Status als Subkategorie der Wortklasse Verb direkt modelliert:
V [SUBCAT=intrans]
- Verwendung SUBCAT-Merkmal als Index von PSG-Regeln zur Angabe, welche Argumente ein Verb verlangt
- verwendet u.a. in Feature-Grammar der GPSG (*Generalized Phrase Structure Grammar*)

CFG-Regeln mit SUBCAT-Feature

- 1 VP → V [SUBCAT=intrans]
- 2 VP → V [SUBCAT=trans] NP
- 3 VP → V [SUBCAT=prepobj] PP
- 4 VP → V [SUBCAT=ditrans] NP NP
- 5 VP → V [SUBCAT=place] NP PP
- 6 VP → V [SUBCAT=clause] S-BAR
- 7
- 8 V [SUBCAT=intrans] → bellt
- 9 V [SUBCAT=trans] → jagt

Subkategorisierung als direkte Valenzkodierung

- Alternativ können in einem SUBCAT-Merkmal auch direkt die verlangten Komplementtypen (als komplexes Merkmal) kodiert werden
- Grundidee der Categorical Grammar
- verwendet u.a. in Feature-Grammar der HPSG (*Head-driven Phrase Structure Grammar*)

	CAT	V	CAT	V												
bellt	AGR	<table><tr><td>TEMP</td><td>PRES</td></tr><tr><td>NUM</td><td>SG</td></tr><tr><td>PER</td><td>3</td></tr></table>	TEMP	PRES	NUM	SG	PER	3	AGR	<table><tr><td>TEMP</td><td>PRES</td></tr><tr><td>NUM</td><td>SG</td></tr><tr><td>PER</td><td>3</td></tr></table>	TEMP	PRES	NUM	SG	PER	3
TEMP	PRES															
NUM	SG															
PER	3															
TEMP	PRES															
NUM	SG															
PER	3															
	SUBCAT	NONE	SUBCAT	<table><tr><td>CAT</td><td>NP</td></tr><tr><td>CASE</td><td>ACC</td></tr></table>	CAT	NP	CASE	ACC								
CAT	NP															
CASE	ACC															

Constraintregeln für Subkategorisierung

- Regel für intransitive VP:

$$\begin{bmatrix} \text{CAT} & \text{VP} \\ \text{AGR} & \boxed{1} \end{bmatrix} \rightarrow \begin{bmatrix} \text{CAT} & V \\ \text{AGR} & \boxed{1} \\ \text{SUBCAT} & \text{NONE} \end{bmatrix}$$

- Lexikoneintrag (intransitives Verb = ohne Komplement):

$$bellt \begin{bmatrix} \text{CAT} & V \\ \text{AGR} & \begin{bmatrix} \text{TEMP} & \text{PRES} \\ \text{NUM} & \text{SG} \\ \text{PER} & 3 \end{bmatrix} \\ \text{SUBCAT} & \text{NONE} \end{bmatrix}$$

- Regel für transitive VP (auch für Präpositionalobjekt usw.):

$$\begin{bmatrix} \text{CAT} & \text{VP} \\ \text{AGR} & \boxed{1} \end{bmatrix} \rightarrow \begin{bmatrix} \text{CAT} & V \\ \text{AGR} & \boxed{1} \\ \text{SUBCAT} & \boxed{2} \end{bmatrix}$$

- Constraintanweisung: z.B. $\langle V \text{ SUBCAT} \rangle = \langle NP \rangle$ usw.
- Lexikoneinträge (transitives Verb mit Akkusativ-Komplement):

jagt

$$\begin{bmatrix} \text{CAT} & V \\ \text{AGR} & \begin{bmatrix} \text{TEMP} & \text{PRES} \\ \text{NUM} & \text{SG} \\ \text{PER} & 3 \end{bmatrix} \\ \text{SUBCAT} & \begin{bmatrix} \text{CAT} & \text{NP} \\ \text{CASE} & \text{ACC} \end{bmatrix} \end{bmatrix}, \text{den Hund}$$

$$\begin{bmatrix} \text{CAT} & \text{NP} \\ \text{CASE} & \text{ACC} \\ \text{AGR} & \begin{bmatrix} \text{NUM} & \text{SG} \\ \text{GEN} & \text{MASK} \\ \text{PER} & 3 \end{bmatrix} \end{bmatrix}$$

- Beispiel: Ablehnung intransitives Verb + NP (transitive VP-Regel)
 → *Unifikation schlägt fehl*, inkompatiblen Werte im SUBCAT-Merkmal
 (Constraintanweisung: $\langle V \text{ SUBCAT} \rangle = \langle NP \rangle$):

	$\begin{bmatrix} \text{CAT} & V \\ & \begin{bmatrix} \text{TEMP} & \text{PRES} \\ \text{NUM} & \text{SG} \\ \text{PER} & 3 \end{bmatrix} \\ \text{AGR} & \text{NONE} \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} \text{CAT} & \text{NP} \\ \text{CASE} & \text{ACC} \\ \text{AGR} & \begin{bmatrix} \text{NUM} & \text{SG} \\ \text{GEN} & \text{MASK} \\ \text{PER} & 3 \end{bmatrix} \end{bmatrix}$
<i>bellt</i>	$\begin{bmatrix} \text{CAT} & \text{NP} \\ \text{CASE} & \text{ACC} \\ \text{AGR} & \begin{bmatrix} \text{NUM} & \text{SG} \\ \text{GEN} & \text{MASK} \\ \text{PER} & 3 \end{bmatrix} \end{bmatrix}$	<i>den Hund</i> = FAIL!

1.2. Verbales Agreement und Subjektkasus

1 Feature-Modellierung

- Subkategorisierung und Objektkasus
- Verbales Agreement und Subjektkasus

2 Beispiel-Unifikationsgrammatiken

- Subkategorisierung in GPSG und HPSG
- Kasus und Agreement im Deutschen

3 Weitere Feature-Modellierungen

- Auxiliare und Inversion
- Gap-Feature für *Long Distance Dependencies*

Constraintregel für verbales Agreement und Subjekt-Kasus

- Berücksichtigung von **Subjekt-Verb-Kongruenz** und **Kasus des Subjekts** zur Vermeidung von Überproduktion:

*Der Hund bellen

*Den Hund bellt

$$\begin{bmatrix} \text{CAT} & S \end{bmatrix} \rightarrow \begin{bmatrix} \text{CAT} & NP \\ \text{CASE} & NOM \\ \text{AGR} & \boxed{1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \text{CAT} & VP \\ \text{AGR} & \boxed{1} \end{bmatrix}$$

- mit Regeln für NP und intransitive VP von oben:

$$\begin{bmatrix} \text{CAT} & \text{NP} \\ \text{CASE} & \boxed{2} \\ \text{AGR} & \boxed{1} \end{bmatrix} \rightarrow \begin{bmatrix} \text{CAT} & \text{DET} \\ \text{CASE} & \boxed{2} \\ \text{AGR} & \boxed{1} \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} \text{CAT} & \text{N} \\ \text{CASE} & \boxed{2} \\ \text{AGR} & \boxed{1} \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} \text{CAT} & \text{VP} \\ \text{AGR} & \boxed{1} \end{bmatrix} \rightarrow \begin{bmatrix} \text{CAT} & V \\ \text{AGR} & \boxed{1} \\ \text{SUBCAT} & \text{NONE} \end{bmatrix}$$

- Akzeptanz:

→ Unifikation gelingt (*keine inkompatiblen Strukturen*)

<i>der</i>	$\begin{bmatrix} \text{CAT} & \text{DET} \\ \text{CASE} & \text{NOM} \\ \text{AGR} & \begin{bmatrix} \text{NUM} & \text{SG} \\ \text{GEN} & \text{MASK} \end{bmatrix} \end{bmatrix}$	<i>Hund</i>	$\begin{bmatrix} \text{CAT} & \text{N} \\ \text{AGR} & \begin{bmatrix} \text{NUM} & \text{SG} \\ \text{GEN} & \text{MASK} \\ \text{PER} & 3 \end{bmatrix} \end{bmatrix}$	<i>bellt</i>	$\begin{bmatrix} \text{CAT} & \text{V} \\ \text{AGR} & \begin{bmatrix} \text{TEMP} & \text{PRES} \\ \text{NUM} & \text{SG} \\ \text{PER} & 3 \end{bmatrix} \\ \text{SUBCAT} & \text{NONE} \end{bmatrix}$
	$\begin{bmatrix} \text{CAT} & \text{NP} \\ \text{CASE} & \text{NOM} \\ \text{AGR} & \begin{bmatrix} \text{NUM} & \text{SG} \\ \text{GEN} & \text{MASK} \\ \text{PER} & 3 \end{bmatrix} \end{bmatrix},$		$\begin{bmatrix} \text{CAT} & \text{VP} \\ \text{AGR} & \begin{bmatrix} \text{TEMP} & \text{PRES} \\ \text{NUM} & \text{SG} \\ \text{PER} & 3 \end{bmatrix} \\ \text{SUBCAT} & \text{NONE} \end{bmatrix}$		

- Ablehnung:

→ **Subjekt-Verb-Agreement-Constraint wird verletzt: <NP AGR NUM>**

= <VP AGR NUM>

→ (Subjekt-Kasus-Constraint erfüllt, <NP CASE> unterspezifiziert)

<i>die</i>	$\begin{bmatrix} \text{CAT} & \text{DET} \\ \text{AGR} & \begin{bmatrix} \text{NUM} & \text{SG} \\ \text{GEN} & \text{FEM} \end{bmatrix} \end{bmatrix}$	<i>Katze</i>	$\begin{bmatrix} \text{CAT} & \text{N} \\ \text{AGR} & \begin{bmatrix} \text{NUM} & \text{SG} \\ \text{GEN} & \text{FEM} \\ \text{PER} & 3 \end{bmatrix} \end{bmatrix}$	<i>bellen</i>	$\begin{bmatrix} \text{CAT} & \text{V} \\ \text{AGR} & \begin{bmatrix} \text{TEMP} & \text{PRES} \\ \text{NUM} & \text{PL} \\ \text{PER} & 3 \end{bmatrix} \\ \text{SUBCAT} & \text{NONE} \end{bmatrix}$
	$\begin{bmatrix} \text{CAT} & \text{NP} \\ \text{AGR} & \begin{bmatrix} \text{NUM} & \text{SG} \\ \text{GEN} & \text{FEM} \\ \text{PER} & 3 \end{bmatrix} \end{bmatrix},$		$\begin{bmatrix} \text{CAT} & \text{VP} \\ \text{AGR} & \begin{bmatrix} \text{TEMP} & \text{PRES} \\ \text{NUM} & \text{PL} \\ \text{PER} & 3 \end{bmatrix} \\ \text{SUBCAT} & \text{NONE} \end{bmatrix}$		

- Ablehnung:

→ *Subjekt-Kasus-Constraint* wird verletzt: $\langle NP \text{ CASE} \rangle = NOM$

<i>den</i>	$\begin{bmatrix} \text{CAT} & \text{DET} \\ \text{CASE} & \text{ACC} \\ \text{AGR} & \begin{bmatrix} \text{NUM} & \text{SG} \\ \text{GEN} & \text{MASK} \end{bmatrix} \end{bmatrix}$	<i>Hund</i>	$\begin{bmatrix} \text{CAT} & \text{N} \\ \text{AGR} & \begin{bmatrix} \text{NUM} & \text{SG} \\ \text{GEN} & \text{MASK} \\ \text{PER} & 3 \end{bmatrix} \end{bmatrix}$	<i>bellt</i>	$\begin{bmatrix} \text{CAT} & V \\ \text{AGR} & \begin{bmatrix} \text{TEMP} & \text{PRES} \\ \text{NUM} & \text{SG} \\ \text{PER} & 3 \end{bmatrix} \\ \text{SUBCAT} & \text{NONE} \end{bmatrix}$
	$\begin{bmatrix} \text{CAT} & \text{NP} \\ \text{CASE} & \text{ACC} \\ \text{AGR} & \begin{bmatrix} \text{NUM} & \text{SG} \\ \text{GEN} & \text{MASK} \\ \text{PER} & 3 \end{bmatrix} \end{bmatrix},$		$\begin{bmatrix} \text{CAT} & VP \\ \text{AGR} & \begin{bmatrix} \text{TEMP} & \text{PRES} \\ \text{NUM} & \text{SG} \\ \text{PER} & 3 \end{bmatrix} \\ \text{SUBCAT} & \text{NONE} \end{bmatrix}$		

2. Beispiel-Unifikationsgrammatiken

1 Feature-Modellierung

- Subkategorisierung und Objektkasus
- Verbales Agreement und Subjektkasus

2 Beispiel-Unifikationsgrammatiken

- Subkategorisierung in GPSG und HPSG
- Kasus und Agreement im Deutschen

3 Weitere Feature-Modellierungen

- Auxiliare und Inversion
- Gap-Feature für *Long Distance Dependencies*

2.1. Subkategorisierung in GPSG und HPSG

1 Feature-Modellierung

- Subkategorisierung und Objektkasus
- Verbales Agreement und Subjektkasus

2 Beispiel-Unifikationsgrammatiken

- Subkategorisierung in GPSG und HPSG
- Kasus und Agreement im Deutschen

3 Weitere Feature-Modellierungen

- Auxiliare und Inversion
- Gap-Feature für *Long Distance Dependencies*

NLTK-Kapitel zur Feature-Modellierung syntaktischer Phänomene des Englischen

- Grundlage = **NLTK 9.3.1:**
<https://www.nltk.org/book/ch09.html#subcategorization>
- zu *feature structures* und *feature-based grammars* im NLTK siehe auch:
<http://www.nltk.org/howto/featgram.html>
<http://www.nltk.org/howto/featstruct.html>

- Ansatz der **GPSG** (*Generalized Phrase Structure Grammar*)
- SUBCAT-Wert als **Index der VP-Produktionsregeln**
- **atomare Werte:** `intrans`, `trans`, `clause`
- auch Subkategorisierung nach Komplementsätzen
- **Grammatik besteht im Kern aus PSG-Regeln**, die um Merkmalsbeschränkungen erweitert sind

Unifikationsgrammatik mit SUBCAT als Index

VP [TENSE=?t, NUM=?n] → V[SUBCAT=intrans, TENSE=?t, NUM=?n]
VP [TENSE=?t, NUM=?n] → V[SUBCAT=trans, TENSE=?t, NUM=?n] NP
VP [TENSE=?t, NUM=?n] → V[SUBCAT=clause, TENSE=?t, NUM=?n] SBar

V[SUBCAT=intrans, TENSE=pres, NUM=sg] → 'disappears' | 'walks'
V[SUBCAT=trans, TENSE=pres, NUM=sg] → 'sees' | 'likes'
V[SUBCAT=clause, TENSE=pres, NUM=sg] → 'says' | 'claims'

V[SUBCAT=intrans, TENSE=pres, NUM=pl] → 'disappear' | 'walk'
V[SUBCAT=trans, TENSE=pres, NUM=pl] → 'see' | 'like'
V[SUBCAT=clause, TENSE=pres, NUM=pl] → 'say' | 'claim'

V[SUBCAT=intrans, TENSE=past, NUM=?n] → 'disappeared' | '
walked'
V[SUBCAT=trans, TENSE=past, NUM=?n] → 'saw' | 'liked'
V[SUBCAT=clause, TENSE=past, NUM=?n] → 'said' | 'claimed'

SBar → Comp S
Comp → 'that'

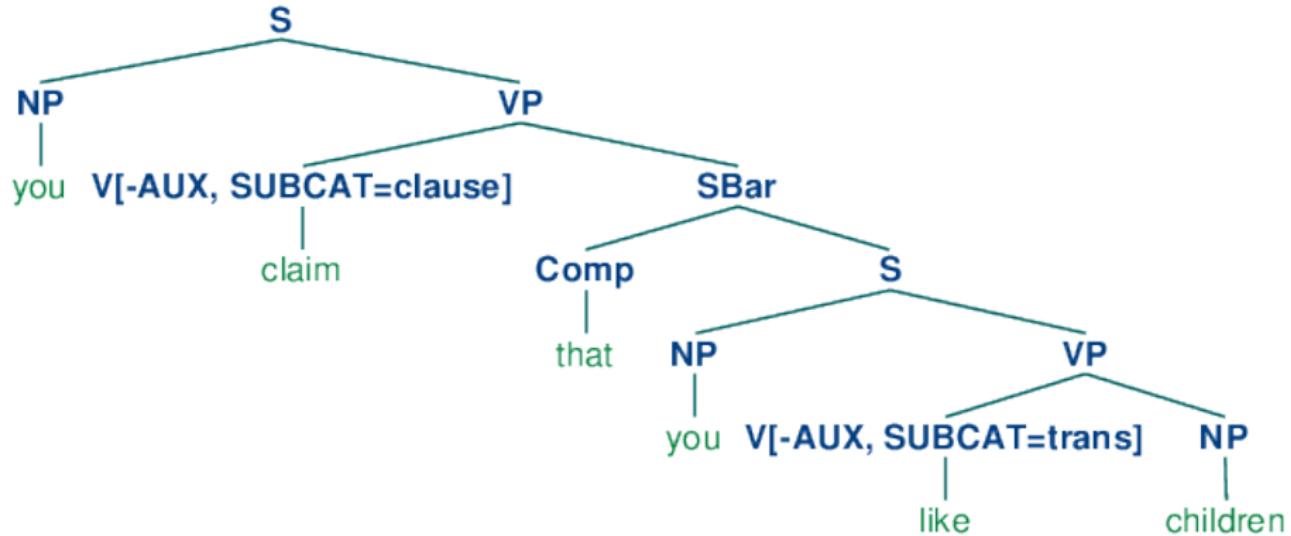


Abbildung: Subkategorisierung nach Komplementsatz
[\(\[http://www.nltk.org/book/tree_images/ch09-tree-10.png\]\(http://www.nltk.org/book/tree_images/ch09-tree-10.png\)\)](http://www.nltk.org/book/tree_images/ch09-tree-10.png)

- Ansatz der **HPSG** (*Head-driven Phrase Structure Grammar*)
- Wert des SUBCAT-Merkals ist eine **Liste der Argumente**, in deren Umgebung das Verb auftreten kann
- **kein PSG-Regelkern** mehr notwendig
- **Modellierung** syntaktischer Kategorien **durch komplexe Merkmalsstrukturen unterschiedlicher Spezifität:**
 - *Strukturinformation in Kategorien statt in Regeln*
 - *Idee der Categorical Grammar*

- Argument-Liste im SUBCAT-Merkmal:

$$\left[\begin{array}{ll} \text{CAT} & V \\ \text{AGR} & \boxed{1} \\ \text{SUBCAT} & < \left[\begin{array}{ll} \text{CAT} & NP \\ \text{CASE} & NOM \\ \text{AGR} & \boxed{1} \end{array} \right], \left[\begin{array}{ll} \text{CAT} & NP \\ \text{CASE} & ACC \end{array} \right] > \end{array} \right]$$

- Alternativ für jeden Argumenttyp ein Merkmal:

$$\left[\begin{array}{ll} \text{CAT} & V \\ \text{AGR} & \boxed{1} \\ \text{SBJ} & \left[\begin{array}{ll} \text{CAT} & NP \\ \text{CASE} & NOM \\ \text{AGR} & \boxed{1} \end{array} \right] \\ \text{OBJ} & \left[\begin{array}{ll} \text{CAT} & NP \\ \text{CASE} & ACC \end{array} \right] \end{array} \right]$$

```
1 #V put = verbale Kategorie, die 3 Argumente benötigt:  
2 V[SUBCAT=<NP, NP, PP>]  
3  
4 #VP = verbale Kategorie, die 1 Argument benötigt (  
      Subjekt-NP):  
5 V[SUBCAT=<NP>]  
6  
7 #SATZ = verbale Kategorie, die kein Argument benötigt:  
8 V[SUBCAT=<>]
```

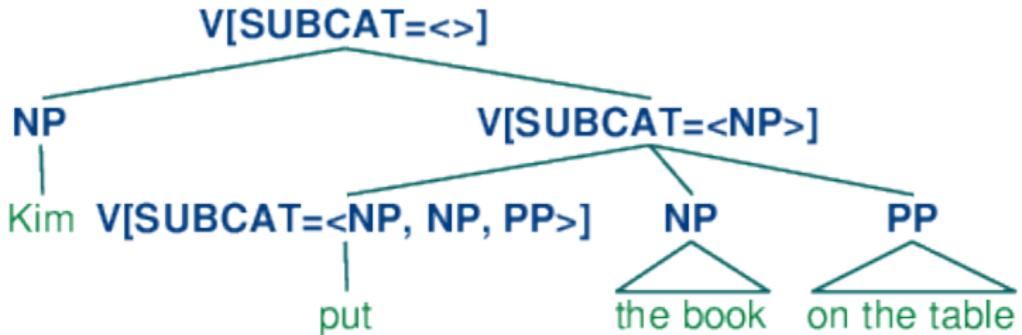


Abbildung: Subkategorisierung mit direkter Kodierung der Valenz
[\(http://www.nltk.org/book/tree_images/ch09-tree-11.png\)](http://www.nltk.org/book/tree_images/ch09-tree-11.png)

- VP als verbale Kategorie, die ein Subjekt-Argument benötigt
- Satz als verbale Kategorie, die keine weiteren Argumente fordert

2.2. Kasus und Agreement im Deutschen

1 Feature-Modellierung

- Subkategorisierung und Objektkasus
- Verbales Agreement und Subjektkasus

2 Beispiel-Unifikationsgrammatiken

- Subkategorisierung in GPSG und HPSG
- **Kasus und Agreement im Deutschen**

3 Weitere Feature-Modellierungen

- Auxiliare und Inversion
- Gap-Feature für *Long Distance Dependencies*

- Grundlage = **NLTK Kapitel 9.3.5:**

<http://www.nltk.org/book/ch09.html#code-germancfg>

- Beispielgrammatik für Berücksichtigung von **Kasusrektion** und **verbalem Agreement** mit **merkmalsstrukturbasierter Grammatik** zur Vermeidung von Überproduktion:
**den Hund (CASE) sehen (AGR) dem Vogel (CASE)*
- einfache Lösung für **Subkategorisierung (Anzahl Argumente)** über **Kategorienerweiterung** (**der Hund kommt den Vogel*):
IV=intransitives Verb, TV=transitives Verb
- Rektionsbeziehung über Merkmalconstraint, insbesondere Kasus der Objekt-NP eines TV:**
→ *TV-Merkmal OBJCASE muss mit CASE-Merkmal von NP unifizierbar sein, als Pfadgleichung: <TV OBJCASE>=<NP CASE>*

Kasus-Rektion als Merkmalconstraint

$$\begin{bmatrix} \text{CAT} & \text{VP} \\ \text{AGR} & \boxed{1} \end{bmatrix} \rightarrow \begin{bmatrix} \text{CAT} & \text{IV} \\ \text{AGR} & \boxed{1} \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} \text{CAT} & \text{VP} \\ \text{AGR} & \boxed{1} \end{bmatrix} \rightarrow \begin{bmatrix} \text{CAT} \\ \text{AGR} \\ \text{OBJCASE} \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} \text{TV} \\ \boxed{1} \\ \boxed{2} \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} \text{CAT} & \text{NP} \\ \text{CASE} & \boxed{2} \end{bmatrix}$$

kommt $\begin{bmatrix} \text{CAT} & \text{IV} \\ \text{AGR} & \begin{bmatrix} \text{NUM} & \text{SG} \\ \text{PER} & 3 \end{bmatrix} \end{bmatrix}$ *folgt* $\begin{bmatrix} \text{CAT} & \text{TV} \\ \text{AGR} & \begin{bmatrix} \text{NUM} & \text{SG} \\ \text{PER} & 3 \end{bmatrix} \\ \text{OBJCASE} & \text{DAT} \end{bmatrix}$

Merkmalstrukturbasierte Grammatik für das Deutsche (german.fcfg)

```
## Natural Language Toolkit: german.fcfg
% start S
# Grammar Productions

S -> NP [CASE=nom, AGR=?a] VP [AGR=?a]

NP [CASE=?c, AGR=?a] -> PRO [CASE=?c, AGR=?a]
NP [CASE=?c, AGR=?a] -> Det [CASE=?c, AGR=?a] N [CASE=?c,
AGR=?a]

VP [AGR=?a] -> IV [AGR=?a]
VP [AGR=?a] -> TV [OBJCASE=?c, AGR=?a] NP [CASE=?c]
```

```

### Lexical Productions (Auswahl):
# Singular determiners masc Sg
Det [CASE=nom, AGR=[GND=masc,PER=3,NUM=sg]] -> 'der'
Det [CASE=dat, AGR=[GND=masc,PER=3,NUM=sg]] -> 'dem'
Det [CASE=acc, AGR=[GND=masc,PER=3,NUM=sg]] -> 'den'
# Nouns
N [AGR=[GND=masc,PER=3,NUM=sg]] -> 'Hund'
N [CASE=nom, AGR=[GND=masc,PER=3,NUM=pl]] -> 'Hunde'
N [CASE=dat, AGR=[GND=masc,PER=3,NUM=pl]] -> 'Hunden'
N [CASE=acc, AGR=[GND=masc,PER=3,NUM=pl]] -> 'Hunde'
# Pronouns
PRO [CASE=nom, AGR=[PER=1,NUM=sg]] -> 'ich'
PRO [CASE=acc, AGR=[PER=1,NUM=sg]] -> 'mich'
PRO [CASE=dat, AGR=[PER=1,NUM=sg]] -> 'mir'
PRO [CASE=nom, AGR=[PER=3,NUM=sg]] -> 'er' | 'sie' | 'es'
# Verbs
IV [AGR=[NUM=sg,PER=3]] -> 'kommt'
TV [OBJCASE=acc, AGR=[NUM=sg,PER=3]] -> 'sieht' | 'mag'
TV [OBJCASE=dat, AGR=[NUM=sg,PER=2]] -> 'folgst' | 'hilfst'
'
```

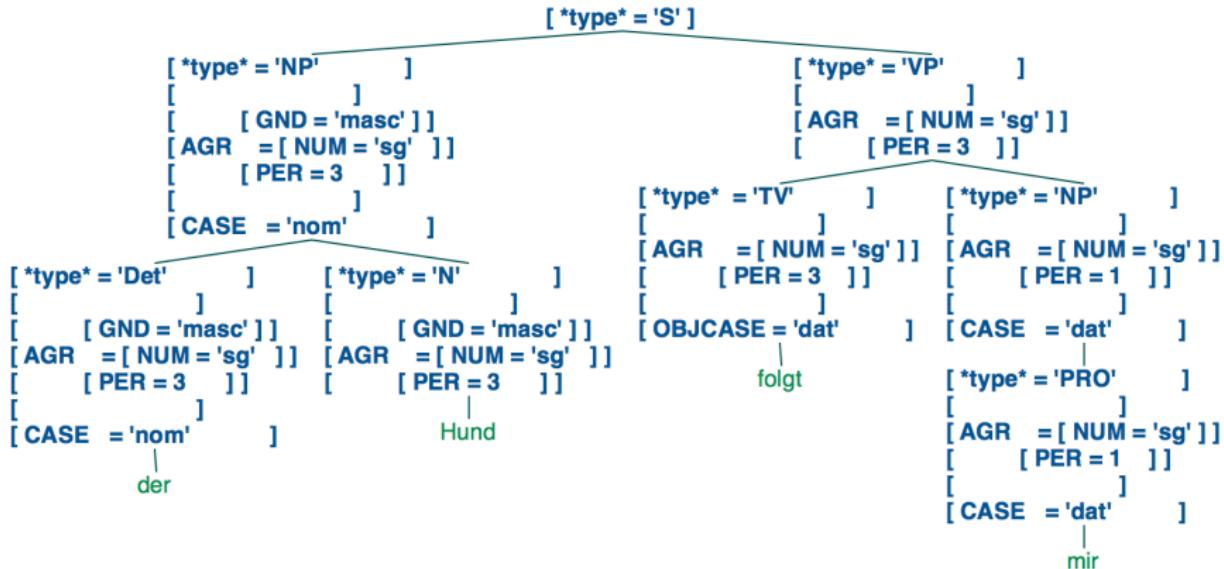


Abbildung: Syntaxbaum zu Ableitung der german.fcfg

3. Weitere Feature-Modellierungen

1 Feature-Modellierung

- Subkategorisierung und Objektkasus
- Verbales Agreement und Subjektkasus

2 Beispiel-Unifikationsgrammatiken

- Subkategorisierung in GPSG und HPSG
- Kasus und Agreement im Deutschen

3 Weitere Feature-Modellierungen

- Auxiliare und Inversion
- Gap-Feature für *Long Distance Dependencies*

3.1. Auxiliare und Inversion

1 Feature-Modellierung

- Subkategorisierung und Objektkasus
- Verbales Agreement und Subjektkasus

2 Beispiel-Unifikationsgrammatiken

- Subkategorisierung in GPSG und HPSG
- Kasus und Agreement im Deutschen

3 Weitere Feature-Modellierungen

- **Auxiliare und Inversion**
- Gap-Feature für *Long Distance Dependencies*

Invertierte Wortstellung im Englischen

Entscheidungsfragesatz

- siehe auch **NLTK 9.3.3:** <https://www.nltk.org/book/ch09.html#auxiliary-verbs-and-inversion>

Inversion

- Beim **Entscheidungsfragesatz vertauscht** sich im Englischen die **Stellung von finitem Hilfsverb (AUX) und Subjekt-NP**

Feature-Modellierung

- **Zusatzregel mit invertierter Wortstellung** für Fragesatz:
 - (boolsches) **Inversionsmerkmal:** [+/-INV]
 - (boolsches) **Auxiliarmerkmal:** [+/-AUX]

Inverted-Clause-Regeln

S [+INV] → V [+AUX] NP VP [-AUX]

VP [-AUX] → V [-AUX] NP

Beispiel-Parsebaum Inversion

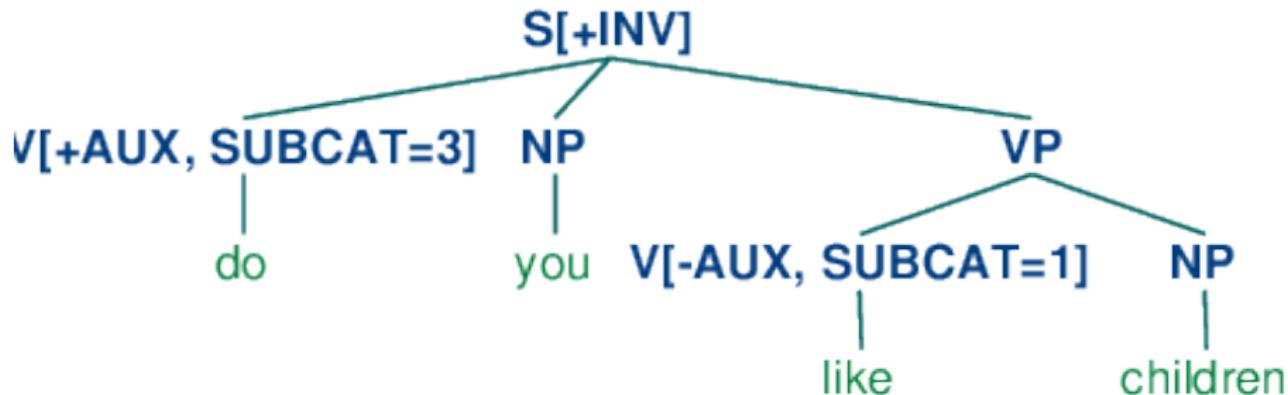
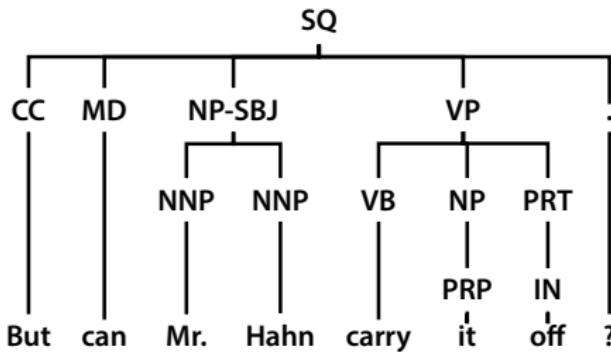


Abbildung: Auxiliare und Inversion

(http://www.nltk.org/book/tree_images/ch09-tree-15.png)

Inversion in der Penn-Treebank

- Modellierung über entsprechende CFG-Kategorien: SQ, SINV
- **SQ (Penn-Treebank):** "*Inverted yes/no question, or main clause of a wh-question, following the wh-phrase in SBARQ.*"



- **SINV (Penn-Treebank):** "*Inverted declarative sentence, i.e. one in which the subject follows the tensed verb or modal.*"
 - Beispiel: *Rarely do you see Kim.*

3.2. Gap-Feature für *Long Distance Dependencies*

1 Feature-Modellierung

- Subkategorisierung und Objektkasus
- Verbales Agreement und Subjektkasus

2 Beispiel-Unifikationsgrammatiken

- Subkategorisierung in GPSG und HPSG
- Kasus und Agreement im Deutschen

3 Weitere Feature-Modellierungen

- Auxiliare und Inversion
- Gap-Feature für *Long Distance Dependencies*

Wh-Movement im Englischen (auch Wh-Extraction)

- NLTK 9.3.4: <https://www.nltk.org/book/ch09.html#unbounded-dependency-constructions>

Wh-Extraction

- beim **Ergänzungsfragesatz** nach dem Objekt wird die **Objekt-NP aus der VP herausbewegt** und satzinitial gestellt: *Who do you like _?*
→ **Long Distance Dependency** oder **Unbounded Dependency**
- An Ausgangspunkt im Syntaxbaum bleibt Leerstelle (*trace*) zurück

Feature-Modellierung

- in GPSG: Modellierung durch ***Slash-Kategorien***
 - VP/NP = 'VP ohne NP'; entspricht VP mit extrahierter Objekt-NP
 - NP/NP kann mit entsprechender Regel als leerer String realisiert werden (bzw. als trace-Element)
- Slash-Kategorien (Leerstellen) können als Feature in einer FCFG umgesetzt werden

Modellierung Movement im Ergänzungsfragesatz mit Gap-Feature (feat1.fcfg)

- ① Einführung einer **Satzkategorie mit NP-Lücke**: S/NP
→ *Slash-Kategorie*: Satzkonstituente fehlt NP-Subkonstituente
- ② Zusatzregel für Ergänzungsfragesätze mit vorangestelltem Fragepronomen (*filler*): S → NP S/NP ('gap-introduction')
- ③ Slash-Kategorie kann als **Merkmal mit fehlender Kategorie als Wert** modelliert werden: S [SLASH=NP]
→ *NLTK*: Parser interpretiert S/NP entsprechend
- ④ über **Variable** wird die **gap-Information heruntergereicht** bis NP/NP:
 $S/?x \rightarrow \text{AUX } NP \ VP/?x; VP/x? \rightarrow V \ NP/?x$
- ⑤ Realisierung der Lücke als **leeren String** über NP/NP → ϵ

```
1 nltk.data.show_cfg('grammars/book_grammars/feat1.fcfg')
2 % start S
3 # Grammar Productions:
4 S[-INV] -> NP VP
5 S[-INV]/?x -> NP VP/?x
6 S[-INV] -> NP S/NP
7 S[-INV] -> Adv [+NEG] S [+INV]
8 S[+INV] -> V [+AUX] NP VP
9 S[+INV]/?x -> V [+AUX] NP VP/?x
10 SBar -> Comp S[-INV]
11 SBar/?x -> Comp S[-INV]/?x
12 VP -> V [SUBCAT=intrans, -AUX]
13 VP -> V [SUBCAT=trans, -AUX] NP
14 VP/?x -> V [SUBCAT=trans, -AUX] NP/?x
15 VP -> V [SUBCAT=clause, -AUX] SBar
16 VP/?x -> V [SUBCAT=clause, -AUX] SBar/?x
17 VP -> V [+AUX] VP
18 VP/?x -> V [+AUX] VP/?x
19
20
```

```
21
22 # Lexical Productions:
23 V[SUBCAT=intrans, -AUX] -> 'walk' | 'sing'
24 V[SUBCAT=trans, -AUX] -> 'see' | 'like'
25 V[SUBCAT=clause, -AUX] -> 'say' | 'claim'
26 V[+AUX] -> 'do' | 'can'
27 NP[-WH] -> 'you' | 'cats'
28 NP[+WH] -> 'who'
29 Adv[+NEG] -> 'rarely' | 'never'
30 NP/NP ->
31 Comp -> 'that'
```

Modellierung Wh-Extraction mit Slash-Merkmal

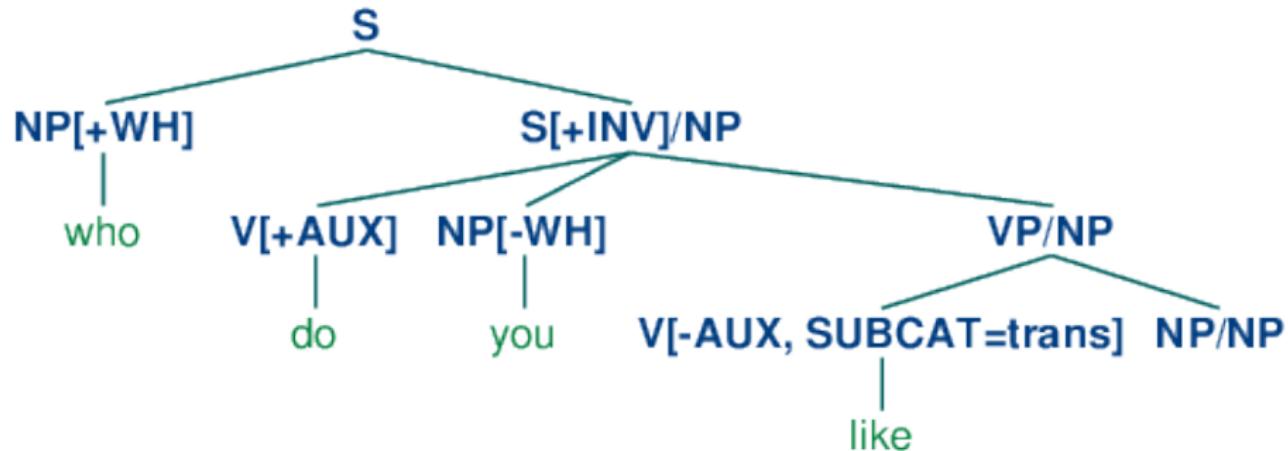


Abbildung: (http://www.nltk.org/book/tree_images/ch09-tree-16.png)

Extrahiertes Element kann beliebig tief rekursiv eingebettet sein (*Unbounded Dependency*)

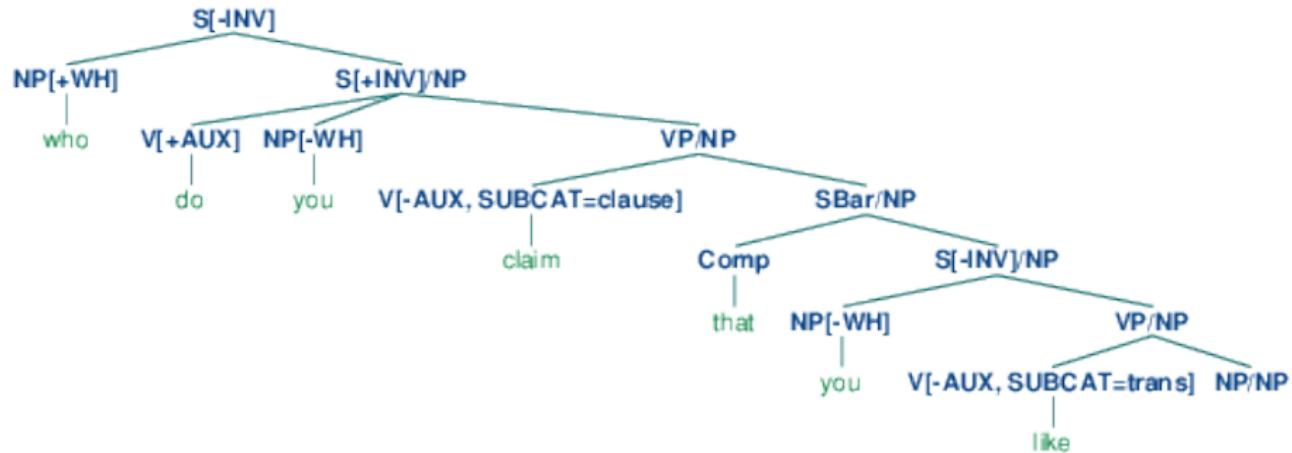


Abbildung: (http://www.nltk.org/book/tree_images/ch09-tree-17.png)

Wh-Extraction in Penn-Treebank

- Modellierung über entsprechende CFG-Kategorien mit *trace* ($*T*$)
- **SBARQ (Penn-Treebank):** "Direct question introduced by a wh-word or a wh-phrase. Indirect questions and relative clauses should be bracketed as SBAR, not SBARQ"

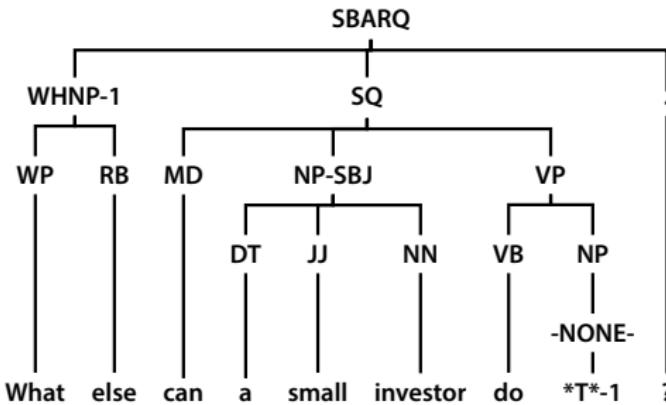


Abbildung: Penn-Treebank: Beispiel für *long distance dependency* durch *Wh-Extraction*; Beachte auch: Inversion in SQ