

Einführung in die Computerlinguistik

Syntax: Merkmalsstrukturen

WS 2014/2015

Vera Demberg

Eigenschaften der syntaktischen Struktur [1]

- Er hat die Übungen gemacht.
- Der Student hat die Übungen gemacht.
- Der interessierte Student hat die Übungen gemacht.
- Der an computerlinguistischen Fragestellungen interessierte Student hat die Übungen gemacht.
- Der an computerlinguistischen Fragestellungen interessierte Student im ersten Semester hat die Übungen gemacht.
- Der an computerlinguistischen Fragestellungen interessierte Student im ersten Semester, der im Hauptfach Informatik studiert, hat die Übungen gemacht.
- Der an computerlinguistischen Fragestellungen interessierte Student im ersten Semester, der im Hauptfach, für das er sich nach langer Überlegung entschieden hat, Informatik studiert, hat die Übungen gemacht.

Grammatische Merkmale

- Wie finden Sie **die** angehängten **Bilder**? Das **sind** **Fotos**, **die** im Rahmen des TALK-Projektes entstanden **sind**, uns **gehören**, und von BMW schon freigegeben **waren**. Außerdem **vermitteln sie** besser den Bezug zur Forschung.

Einige grammatische Merkmale

- Bei Substantiven:
 - Numerus, Genus, Kasus
- Bei Adjektiven:
 - Numerus, Genus, Kasus, Steigerungsform
- Bei Pronomen:
 - Numerus, Genus, Kasus, Person
- Bei Verben:
 - Numerus, Person
 - Tempus
 - Modus (Indikativ, Konjunktiv, Imperativ)
 - Genus verbi (engl. „voice“: Aktiv, Passiv)

Status von Merkmalen

- Inhärente Merkmale (Genus beim Substantiv)
- Unabhängige Merkmale (Numerus beim Substantiv, Tempus beim Verb, Steigerungsform beim Adjektiv)
- Abhängige Merkmale (Numerus und Genus beim Adjektiv, Kasus beim Substantiv)

Merkmalsabhängigkeiten:

- Grammatische Merkmale von Ausdrücken in der syntaktischen Struktur hängen in systematischer Weise voneinander ab.
- Die grundlegenden Typen solcher Beziehungen sind
 - Kongruenz und
 - Rektion oder Subkategorisierung

Kongruenz

- Kongruenz ist die Übereinstimmung von zwei oder mehreren Ausdrücken in Genus, Numerus, Kasus, Person, ...
 - Nominalkongruenz innerhalb der NP zwischen Artikel, Nomen, Adjektiv, Relativpronomen: *die[pl] angehängten[pl] Bilder[pl]*
 - Subjekt-Verb-Kongruenz: *sie[pl] vermitteln[pl]*
 - Pronominalkongruenz zwischen einem „anaphorischen“ Pronomen und der NP, auf die er sich bezieht
Fotos[pl] ... sie[pl]

Subkategorisierung/ Rektion

- Von Rektion oder Subkategorisierung spricht man, wenn ein lexikalischer Kopf Argumente mit bestimmten grammatischen Eigenschaften verlangt. Subkategorisierung/ Rektion von
- Verben
 - *Sie vermitteln den Bezug [NP im Akkusativ]*
 - *Die Bilder gefallen dem Betrachter [NP im Dativ]*
 - *Sie erinnern uns [NP im Akkusativ] an den Urlaub [PP mit Akkusativ]*
- Präpositionen
 - *um das Haus*
 - *bei dem Haus*
 - *wegen des Hauses*
- Adjektive
 - *an computerlinguistischen Fragestellungen interessiert*
 - *seinen Freunden verpflichtet*

Grammatische Merkmale in der CFG

- Die Standard-CFG hat zunächst keinen Mechanismus zur Modellierung grammatischer Merkmale und ihrer Abhängigkeiten.
- Nicht-Berücksichtigung von Kongruenz und Rektion führt zu massiver Übergenerierung:
- Beispielgrammatik 1:

$S \rightarrow NP\ VP$ $VP \rightarrow VT\ NP$

$VP \rightarrow VI$ $NP \rightarrow DET\ N$

$VI \rightarrow schläft | arbeitet$

$VT \rightarrow kennt | studiert$

$N \rightarrow Student | Studentin | Studenten | Studentinnen | Fach$

$DET \rightarrow der | die | das | den$

- *Die Studenten arbeitet – Das Student kennt der Student*

Versuch: Verfeinerung der Kategorien

- Beispielgrammatik 2:

$S \rightarrow NPSgNom VPSg$

$S \rightarrow NPPINom VPPI$

$VPSg \rightarrow VISg$

$VPPI \rightarrow VIPI$

$VPSg \rightarrow VTSg NPAkk$

$VPPI \rightarrow VTPI NPAkk$

$NPSgNom \rightarrow DETSgNomM NSgNomM$

$NPSgNom \rightarrow DETSgNomF NSgNomF NPPINom \rightarrow DETPINom NPINom$

$DETSgNomM \rightarrow der$

$DETSgNomF \rightarrow die$

$NSgNomM \rightarrow Student$

$NSgNomF \rightarrow Studentin.$

...

...

- Integration von Merkmalsinformation in Kategoriensymbole – Nachteile:
 - Das Regelsystem wird aufgebläht (2 Numeri x 3 Genera x 4 Kasus x 3 Personen x ...)
 - Regularitäten können nicht ausgedrückt werden

Merkmalsstrukturen

- Wir kodieren Merkmale explizit in Form von **Merkmalsstrukturen**.
- Statt "NPSgNomM" schreiben wir $NP \begin{bmatrix} num & sg \\ kas & nom \\ gen & m \end{bmatrix}$
- Die Beschreibung einer Konstituente ist ein Paar, bestehend aus einem Kategoriensymbol und einer Merkmalsstruktur.
- Die Merkmalsstruktur besteht aus „**Attribut-Wert-Paaren**“: Die obige Merkmalsstruktur hat drei Merkmale, das erste Merkmal [*num sg*] besteht aus dem Attribut „*num*“ und dem Wert „*sg*“.

Grammatik mit Merkmalsstrukturen

Beispielgrammatik 3:

$$S \rightarrow NP \begin{bmatrix} num & sg \\ kas & nom \end{bmatrix} VP [num \quad sg] \quad S \rightarrow NP \begin{bmatrix} num & pl \\ kas & nom \end{bmatrix} VP [num \quad pl]$$

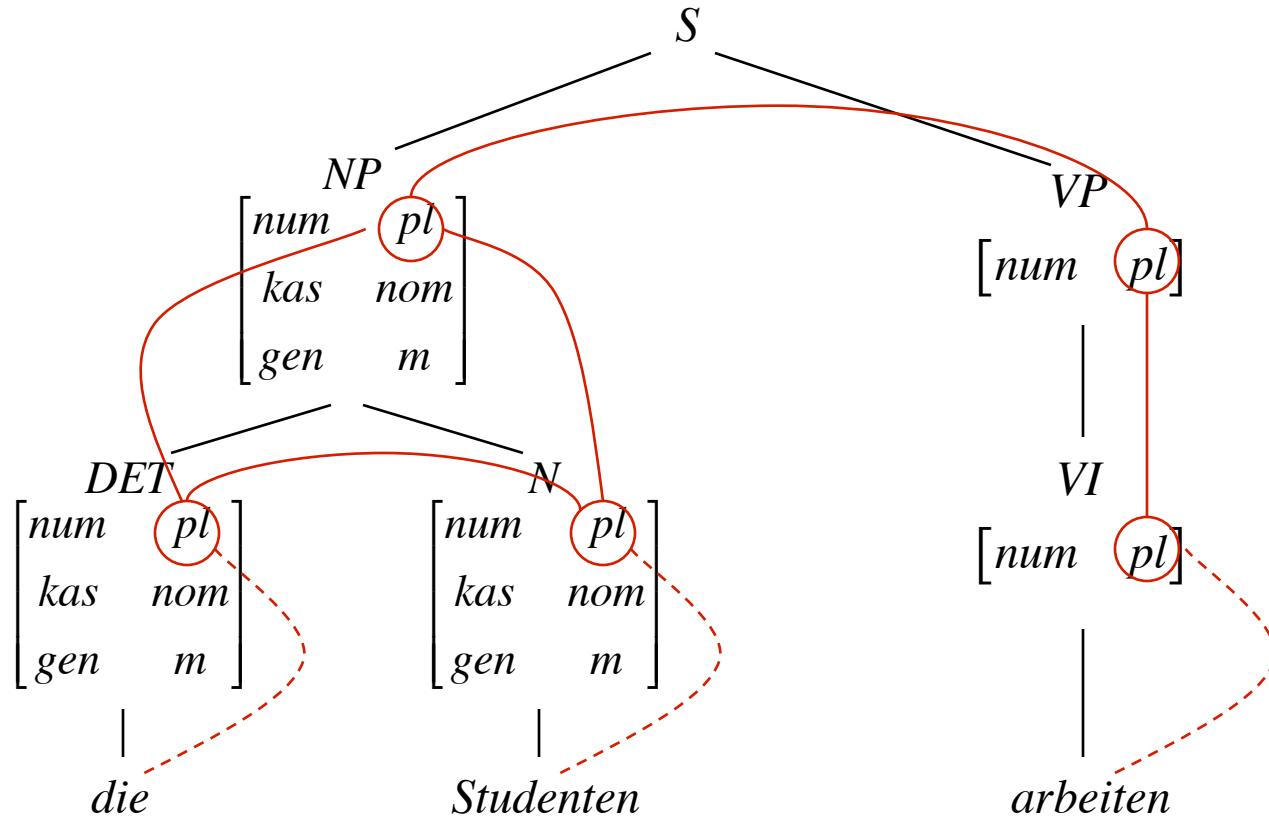
$$VP [num \quad sg] \rightarrow VI [num \quad sg] \quad VP [num \quad pl] \rightarrow VI [num \quad pl]$$

$$NP \begin{bmatrix} num & sg \\ kas & nom \\ gen & m \end{bmatrix} \rightarrow Det \begin{bmatrix} num & sg \\ kas & nom \\ gen & m \end{bmatrix} N \begin{bmatrix} num & sg \\ kas & nom \\ gen & m \end{bmatrix}$$

$$NP \begin{bmatrix} num & pl \\ kas & nom \\ gen & m \end{bmatrix} \rightarrow Det \begin{bmatrix} num & pl \\ kas & nom \\ gen & m \end{bmatrix} N \begin{bmatrix} num & pl \\ kas & nom \\ gen & m \end{bmatrix}$$

... ...

Direkte Ableitung von Merkmalsstrukturen



Merkmalsconstraints

- **Problem:** Bei der direkten Erzeugung von Ableitungsbäumen mit Merkmalsstrukturen wird das **Regelsystem nicht kleiner**: Regularitäten sind besser sichtbar, werden aber nicht genutzt.
- Sinnvoller ist es, Merkmale zur Formulierung von Bedingungen oder "**Constraints**" zu verwenden, die grammatisch zulässige Verteilungen von Merkmalsstrukturen in Ableitungsbäumen spezifizieren.
- Grammatikregeln werden erweitert: Jede Regel besteht aus
 - einer Ersetzungsregel (wie gehabt), und
 - einer Menge von Constraints, die zulässige Merkmalskonfigurationen spezifizieren.
- Beispiel:

$S \rightarrow NP\ VP$

*Numerus der NP muss gleich Numerus der VP sein
Kasus der NP ist Nominativ*

Formulierung von Merkmalsconstraints

- Wie können wir einen Constraint über Merkmalsstrukturen wie "*Numerus der NP muss gleich Numerus der VP sein*" formal repräsentieren?

Was sind Merkmalsstrukturen eigentlich?

- Antwort 1: (Partielle) Funktionen, die Attribute in Werte abbilden

$$\begin{bmatrix} num & sg \\ kas & nom \\ gen & m \end{bmatrix} \text{ ist die Funktion } f \text{ mit: } \begin{aligned} f(num) &= sg \\ f(kas) &= nom \\ f(gen) &= m \end{aligned}$$

- Beispielregel mit Constraints: $S \rightarrow NP \ VP$

$$\begin{aligned} f_{NP}(num) &= f_{VP}(num) \\ f_{NP}(kas) &= nom \end{aligned}$$

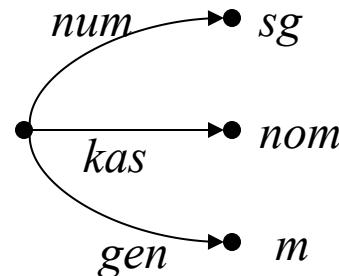
Formulierung von Merkmalsconstraints

Was sind Merkmalsstrukturen eigentlich?

- Antwort 2: Gerichtete azyklische Graphen mit
 - einem ausgezeichneten Wurzelknoten
 - Attributen als Kantenbeschriftungen
 - Merkmalswerten an den (End-)Knoten.

<i>num</i>	<i>sg</i>
<i>kas</i>	<i>nom</i>
<i>gen</i>	<i>m</i>

ist der Graph:



- Wir bezeichnen ein spezifisches Merkmal in einer Merkmalsstruktur durch einen vom Wurzelknoten ausgehenden Pfad, beginnend mit der Konstituente, mit der die Struktur assoziiert ist:

$$S \rightarrow NP \ VP$$

$$\langle NP \ num \rangle = \langle VP \ num \rangle$$

$$\langle NP \ kas \rangle = nom$$

CFG mit Merkmalsconstraints, Beispiel

Beispielgrammatik 4: Ersetzungsregeln mit Merkmalsconstraints

$S \rightarrow NP\ VP$

$\langle NP\ num \rangle = \langle VP\ num \rangle$
 $\langle NP\ kas \rangle = nom$

$VP \rightarrow VI$

$\langle VP\ num \rangle = \langle VI\ num \rangle$

$VP \rightarrow VT\ NP$

$\langle VP\ num \rangle = \langle VT\ num \rangle$
 $\langle NP\ kas \rangle = akk$

$NP \rightarrow DET\ N$

$\langle DET\ num \rangle = \langle N\ num \rangle$
 $\langle DET\ gen \rangle = \langle N\ gen \rangle$
 $\langle DET\ kas \rangle = \langle N\ kas \rangle$
 $\langle NP\ num \rangle = \langle N\ num \rangle$
 $\langle NP\ gen \rangle = \langle N\ gen \rangle$
 $\langle NP\ kas \rangle = \langle N\ kas \rangle$

$VI \rightarrow arbeitet$

$\langle VI\ num \rangle = sg$

$VI \rightarrow arbeiten$

$\langle VI\ num \rangle = pl$

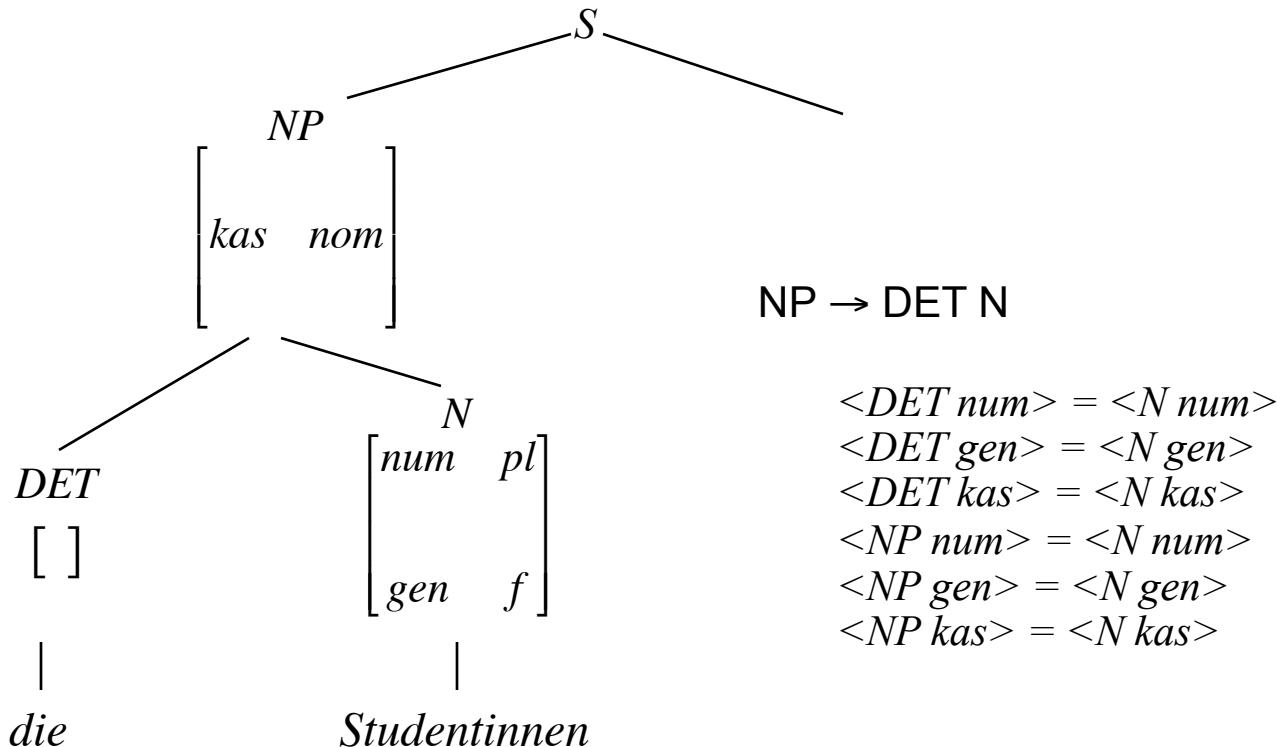
$N \rightarrow Student$

$\langle N\ num \rangle = sg$
 $\langle N\ gen \rangle = m$
 $\langle N\ kas \rangle = nom$

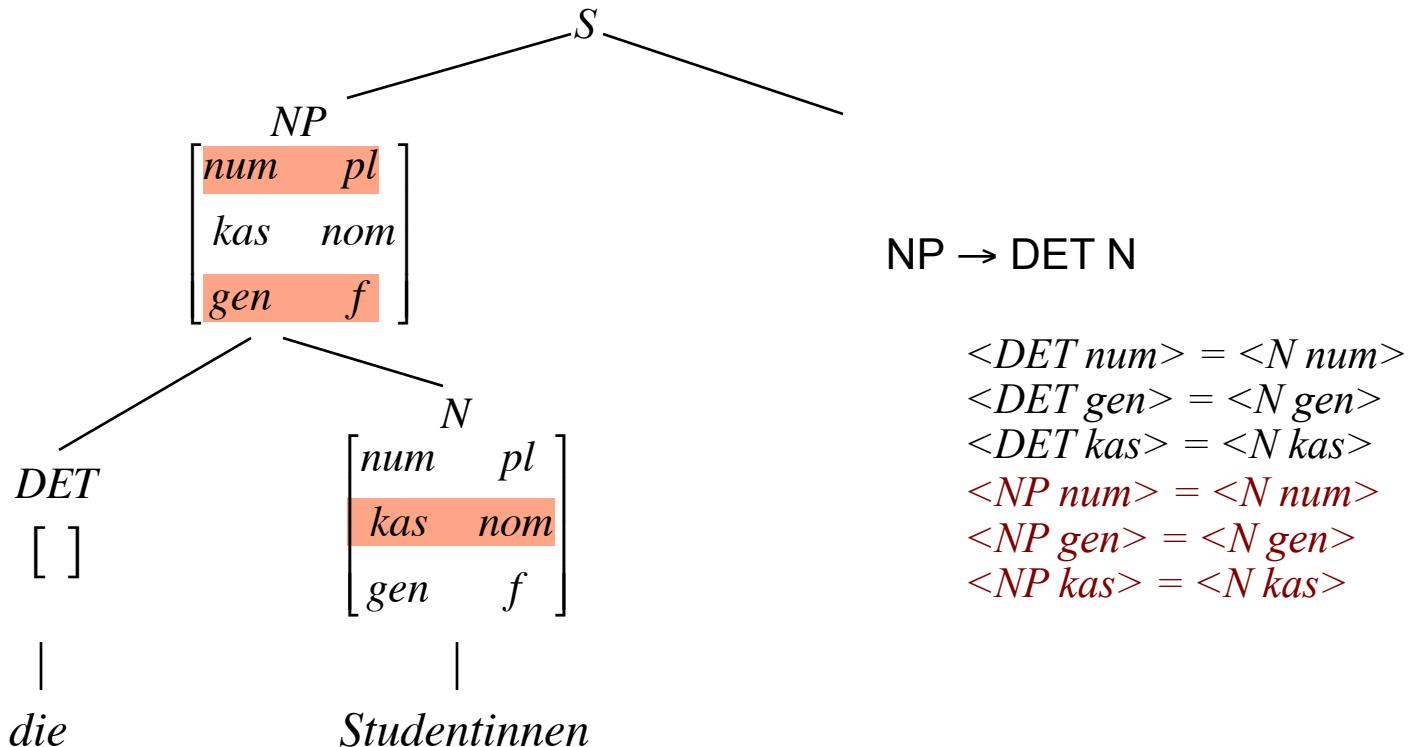
$DET \rightarrow der$

$\langle DET\ num \rangle = sg$
 $\langle DET\ gen \rangle = m$
 $\langle DET\ kas \rangle = nom$

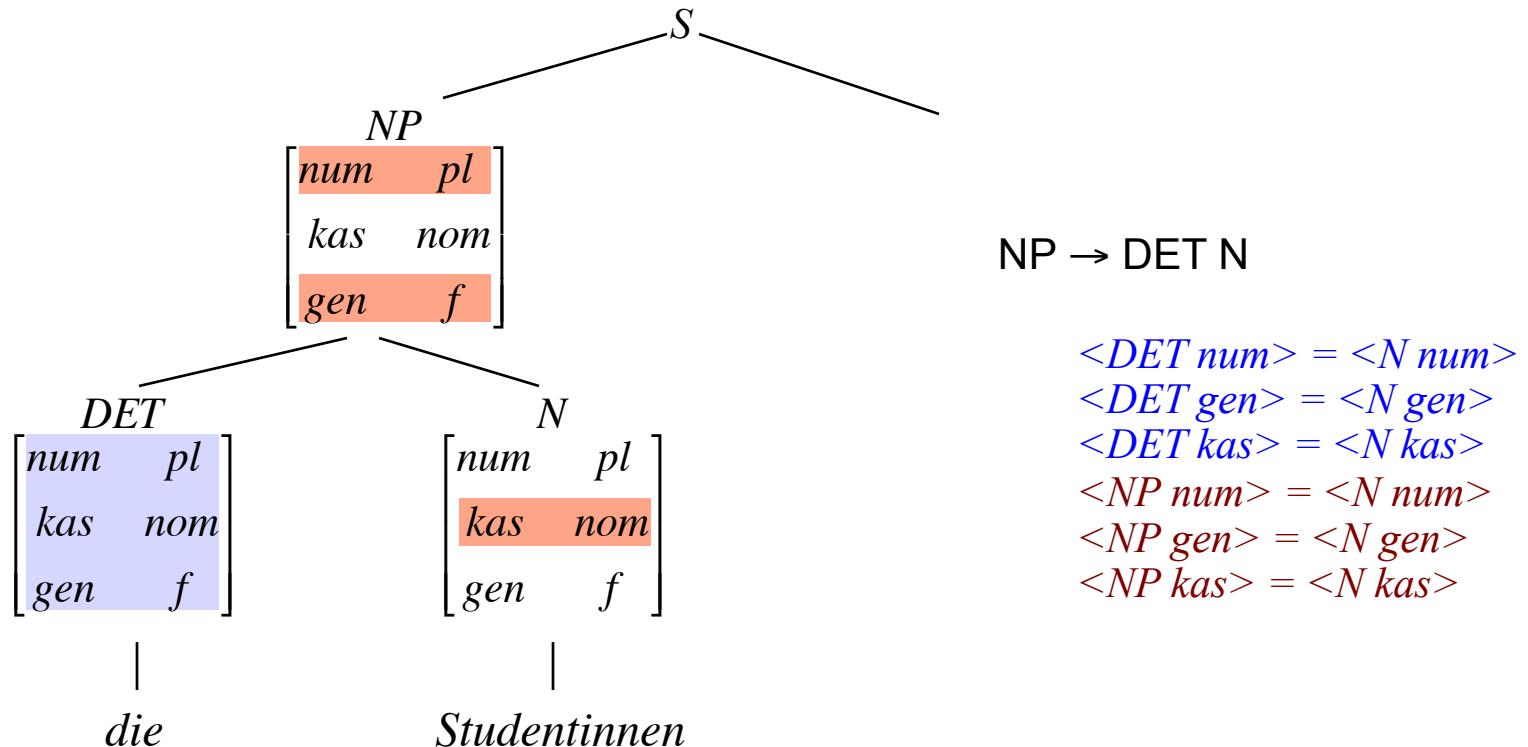
Die Anwendung von Merkmalsconstraints



Die Anwendung von Merkmalsconstraints



Die Anwendung von Merkmalsconstraints



Die Anwendung von Merkmalsconstraints

- Wir verwenden die Ersetzungsregeln, um einen Parse-Baum zu erzeugen.
- Wir wenden Constraints an, um die Konsistenz der vorhandenen Merkmalsinformation zu testen, und um Lücken in der Merkmalsinformation aufzufüllen.

Die Anwendung von Merkmalsconstraints

- Merkmalsgleichungen werden neu interpretiert: Sie sind nicht (nur) Identitätstests, sondern Anweisungen zur Ausführung einer Operation.
- Beispiel: $\langle DET \; num \rangle = \langle N \; num \rangle$ ist zu lesen als:
 - Wenn $\langle DET \; num \rangle$ und $\langle N \; num \rangle$ identisch: Akzeptiere!
 - Wenn $\langle DET \; num \rangle$ undefiniert, setze $\langle DET \; num \rangle := \langle N \; num \rangle$ und akzeptiere!
 - Wenn $\langle N \; num \rangle$ undefiniert, setze $\langle N \; num \rangle := \langle DET \; num \rangle$ und akzeptiere!
 - Wenn $\langle DET \; num \rangle \neq \langle N \; num \rangle$: Fehlschlag!
- Die Operation, die diesen Effekt hat, nennen wir **Unifikation**.

Unifikation

- Wir schreiben $A \sqcup B$ für „die Unifikation von A und B“.
- Unifikation ist folgendermaßen definiert:

Wenn $A=B=a$, oder $A=a$ und B undefiniert, oder umgekehrt, werden A und B auf den Wert a gesetzt.
In diesen Fällen sagen wir, dass A und B "zu a unifizieren".
Wenn A und B definiert und $A \neq B$, schlägt die Unifikation fehl.
- Der Constraint $\langle DET\ num \rangle = \langle N\ num \rangle$ ist zu lesen als eine Anweisung zur Ausführung der Unifikation.

CFG mit Merkmalsconstraints, Beispiel

Beispielgrammatik 4: Ersetzungsregeln mit Merkmalsconstraints

$S \rightarrow NP\ VP$

$\langle NP\ num \rangle = \langle VP\ num \rangle$
 $\langle NP\ kas \rangle = nom$

$VP \rightarrow VI$

$\langle VP\ num \rangle = \langle VI\ num \rangle$

$VP \rightarrow VT\ NP$

$\langle VP\ num \rangle = \langle VT\ num \rangle$
 $\langle NP\ kas \rangle = akk$

$NP \rightarrow DET\ N$

$\langle DET\ num \rangle = \langle N\ num \rangle$
 $\langle DET\ gen \rangle = \langle N\ gen \rangle$
 $\langle DET\ kas \rangle = \langle N\ kas \rangle$
 $\langle NP\ num \rangle = \langle N\ num \rangle$
 $\langle NP\ gen \rangle = \langle N\ gen \rangle$
 $\langle NP\ kas \rangle = \langle N\ kas \rangle$
 $\langle NP\ def \rangle = \langle DET\ def \rangle$

$VI \rightarrow arbeitet$

$\langle VI\ num \rangle = sg$

$VI \rightarrow arbeiten$

$\langle VI\ num \rangle = pl$

$N \rightarrow Student$

$\langle N\ num \rangle = sg$
 $\langle N\ gen \rangle = m$
 $\langle N\ kas \rangle = nom$

$DET \rightarrow der$

$\langle DET\ num \rangle = sg$
 $\langle DET\ gen \rangle = m$
 $\langle DET\ kas \rangle = nom$
 $\langle DET\ def \rangle = +$

Merkmalstrukturen: Erste Erweiterung

- Constraints lassen sich eleganter formulieren, wenn wir gleichzeitig auf Mengen von Merkmalen Bezug nehmen können.
- Wir erlauben komplexe Merkmalsstrukturen, in denen Attribute nicht nur atomare Werte, sondern auch Merkmalsstrukturen als Werte haben können. Als Beispiel eine Merkmalsstruktur für den bestimmten Artikel *der*:

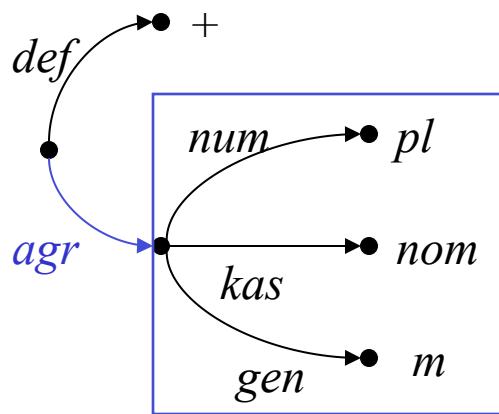
$$\begin{matrix} def & + \\ \left[\begin{matrix} num & sg \\ kas & nom \\ gen & m \end{matrix} \right] \\ agr \end{matrix}$$

- „agr“ für englisch „agreement“ (Kongruenz) nimmt als Wert eine Merkmalsstruktur, die die Kongruenzmerkmale spezifiziert.
- Statt der Aufzählung einzelner Kongruenzmerkmale in der NP-Regel können wir nun Kongruenz generell verlangen:

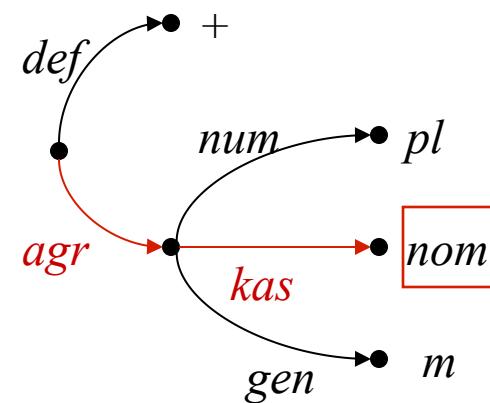
$$\langle DET AGR \rangle = \langle N AGR \rangle$$

Merkmale als Graphen

$<DET\ agr>$:



$<DET\ agr\ kas>$:



Berechnung von $A \sqcup B$

- Resultat der Unifikation ist die (allgemeinste) Merkmalsstruktur, die die Information aus beiden Merkmalsstrukturen umfasst, wenn es eine solche Struktur gibt. Ansonsten schlägt sie fehl.
- Wie berechnet sich das Resultat der Unifikation aus A und B?
- Fall 1: A und B sind atomar:
 - $A \sqcup B = a$, wenn $A=B=a$, oder eine Seite atomar und die andere undefiniert
 - $A \sqcup B$ schlägt fehl, wenn $a \neq b$
- Fall 2: Beide Seiten sind komplexe Merkmalstrukturen:
 - $F \sqcup G = H$, wobei die Attribute von H die Vereinigung der Attribute von F und G ist, und der Wert für jedes Attribut f in H
 - der Wert von f in F (bzw. G), wenn f nur in F (bzw. G) instantiiert ist
 - $A \sqcup B$, wenn A und B die Werte von f in F bzw. G sind.
 - $F \sqcup G$ schlägt fehl, wenn die Unifikation für ein Attribut fehlschlägt.

Beispielgrammatik 5: Komplexe Merkmale

$S \rightarrow NP VP$

$<NP AGR NUM> = <VP AGR NUM>$

$<NP AGR KAS> = nom$

$VP \rightarrow VI$

$<VP AGR NUM> = <VI AGR NUM>$

$VP \rightarrow VT NP$

$<VP AGR NUM> = <VT AGR NUM>$

$<NP AGR KAS> = akk$

$NP \rightarrow DET N$

$<DET AGR> = <N AGR>$

$<NP AGR> = <N AGR>$

$<NP def> = <DET def>$

wählt: $\begin{bmatrix} CAT & VT \\ AGR & [NUM \ sg] \end{bmatrix}$

arbeitet: $\begin{bmatrix} CAT & VI \\ AGR & [NUM \ sg] \end{bmatrix}$

Studentin: $\begin{bmatrix} CAT & N \\ AGR & [NUM \ sg] \\ & [GEN \ f] \end{bmatrix}$

Fach: $\begin{bmatrix} CAT & N \\ AGR & [NUM \ sg] \\ & [GEN \ n] \end{bmatrix}$

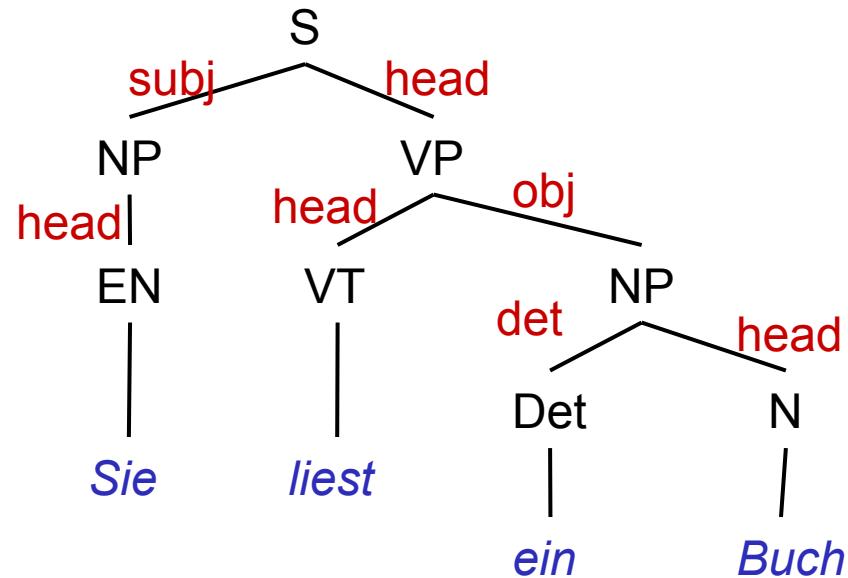
die: $\begin{bmatrix} CAT & DET \\ AGR & [GEN \ f] \\ DEF & + \end{bmatrix}$

das: $\begin{bmatrix} CAT & DET \\ AGR & [NUM \ sg] \\ DEF & + \\ & [GEN \ n] \end{bmatrix}$

Anmerkungen zu Grammatik 5

- In der Grammatik 5 auf der vorigen Folie sind mehrere Neuerungen enthalten, die das Schreiben der Grammatik vereinfachen
 - Komplexe Merkmalsstrukturen mit dem Kongruenz-/Agreement-Merkmal „agr“.
 - Lexikoneinträge, bestehend aus einem Wort (Terminalsymbol) und einer Merkmalsstruktur.
 - Es gibt keine expliziten Erzeugungsregeln, die präterminale Symbole/ lexikalische Kategorien in Terminalsymbole/ Wörter überführen. In einer Ableitung kann für eine lexikalische Kategorie X jedes Wort aus dem Lexikon eingesetzt werden, dessen Merkmalsstruktur für das Attribut *cat* den Wert X besitzt.

Ein Beispiel



Kopfmerkmale

- Bestimmte Merkmale vererben sich „entlang der Kopflinie“.
- Insbesondere teilt die Phrase diese Merkmale mit ihrem lexikalischen Kopf,
 - zum Beispiel die Kongruenzmerkmale (*AGR*),
 - aber auch andere Merkmale, zum Beispiel die „Verbform“(*VFORM*): Infinitivkonstruktionen enthalten Infinitive, finite Verbphrasen finite (flektierte) Verben, etc.
- Um die Regularität in der Grammatik ausdrücken, führen wir als zusätzliches Attribut *HEAD* ein (unter dem die „Kopfmerkmale“ aufgeführt werden).

Beispielgrammatik 6: Kopfmerkmale

$S \rightarrow NP VP$

$\textcolor{red}{<S \ HEAD>} = <VP \ HEAD>$

$<S \ HEAD \ AGR \ NUM> =$

$<NP \ HEAD \ AGR \ NUM>$

$<NP \ HEAD \ AGR \ KAS> = nom$

$VP \rightarrow VI$

$\textcolor{red}{<VP \ HEAD>} = <VI \ HEAD>$

$VP \rightarrow VT \ NP$

$\textcolor{red}{<VP \ HEAD>} = <VT \ HEAD>$

$<NP \ HEAD \ AGR \ KAS> = akk$

$NP \rightarrow DET \ N$

$\textcolor{red}{<NP \ HEAD>} = <N \ HEAD>$

$<DET \ AGR> = <N \ AGR>$

wählt:
$$\begin{bmatrix} CAT \\ HEAD \end{bmatrix} \begin{bmatrix} VT \\ VFORM \\ AGR \end{bmatrix} \begin{bmatrix} finit \\ [NUM \ sg] \end{bmatrix}$$

arbeitet:
$$\begin{bmatrix} CAT \\ HEAD \end{bmatrix} \begin{bmatrix} VI \\ VFORM \\ AGR \end{bmatrix} \begin{bmatrix} finit \\ [NUM \ sg] \end{bmatrix}$$

Studentin:
$$\begin{bmatrix} CAT \\ HEAD \end{bmatrix} \begin{bmatrix} N \\ AGR \end{bmatrix} \begin{bmatrix} NUM \\ GEN \end{bmatrix} \begin{bmatrix} sg \\ f \end{bmatrix}$$

Fach:
$$\begin{bmatrix} CAT \\ HEAD \end{bmatrix} \begin{bmatrix} N \\ AGR \end{bmatrix} \begin{bmatrix} NUM \\ GEN \end{bmatrix} \begin{bmatrix} sg \\ n \end{bmatrix}$$

die:
$$\begin{bmatrix} CAT \\ AGR \end{bmatrix} \begin{bmatrix} DET \\ GEN \end{bmatrix} \begin{bmatrix} f \end{bmatrix}$$

das:
$$\begin{bmatrix} DEF \\ CAT \\ AGR \end{bmatrix} \begin{bmatrix} + \\ DET \\ NUM \end{bmatrix} \begin{bmatrix} sg \\ n \end{bmatrix}$$

Subkategorisierung

- Transitive und intransitive Verben gehören in unserer Beispielgrammatik zu verschiedenen Kategorien. Konsequenterweise müssten auch für ditransitive Verben (*geben*), Verben mit Dativobjekt (*gefallen*), Verben mit Präpositionalem Objekt (*warten auf*), Verben mit zu-Infinitiv (*versuchen*) unterschiedliche Kategorien vorgesehen werden. Ebenso für Präspositionen, Adjektive, Substantive, die unterschiedliche Argumente nehmen.
- Eleganter ist die Lösung, die Subkategorisierungseigenschaften durch ein Merkmal auszudrücken (traditionell „*SUBCAT*“).

Subkategorisierung

$VP \rightarrow V \ NP$

$<VP \ HEAD> = <V \ HEAD>$

$\textcolor{red}{<V \ SUBCAT>} = <NP>$

$<NP \ HEAD \ AGR \ KAS> = akk$

wählt:

CAT	V
$HEAD$	$[VFORM \ finit]$
$SUBCAT$	$[AGR \ [NUM \ sg]]$

gefällt:

CAT	V
$HEAD$	$[VFORM \ finit]$
$SUBCAT$	$[AGR \ [NUM \ sg]]$

CAT	V
$HEAD$	$[VFORM \ finit]$
$SUBCAT$	$[AGR \ [NUM \ sg]]$

- Die obige Regel beschreibt alle „V NP“-Konstruktionen.
- Wir identifizieren per Pfadgleichung die komplette Merkmalsstruktur der Objekt-NP mit dem SUBCAT-Merkmal des Verbs. Die spezifische Kasusanforderung einzelner Verben steht im Lexikon.

Beispielgrammatik 7: SUBCAT- Merkmale

$S \rightarrow NP VP$

$<S CAT> = S$

$<S HEAD> = <VP HEAD>$

$<S HEAD AGR NUM> =$

$<NP HEAD AGR NUM>$

$<NP HEAD AGR KAS> = nom$

$VP \rightarrow V$

$<VP CAT> = VP$

$<VP HEAD> = <VI HEAD>$

$<V SUBCAT> = empty$

$VP \rightarrow V NP$

$<VP CAT> = VP$

$<VP HEAD> = <V HEAD>$

$<V SUBCAT> = <NP>$

$NP \rightarrow DET N$

$<NP CAT> = NP$

$<NP HEAD> = <N HEAD>$

$<NP HEAD AGR> = <DET AGR>$

das:

$$\begin{bmatrix} CAT \\ AGR \end{bmatrix} \left[\begin{matrix} DET \\ NUM \end{matrix} \begin{matrix} sg \\ n \end{matrix} \right]$$

die:

$$\begin{bmatrix} CAT \\ AGR \end{bmatrix} \left[\begin{matrix} DET \\ GEN \end{matrix} \begin{matrix} f \\ f \end{matrix} \right]$$

der:

$$\begin{bmatrix} CAT \\ AGR \end{bmatrix} \left[\begin{matrix} DET \\ [] \end{matrix} \right]$$

wählt:

$$\begin{bmatrix} CAT \\ HEAD \\ SUBCAT \end{bmatrix} \left[\begin{matrix} VFORM \\ AGR \end{matrix} \begin{matrix} V \\ [NUM \ sg] \end{matrix} \left[\begin{matrix} finit \\ [KAS \ akk] \end{matrix} \right] \right]$$

gefällt:

$$\begin{bmatrix} CAT \\ HEAD \\ SUBCAT \end{bmatrix} \left[\begin{matrix} VFORM \\ AGR \end{matrix} \begin{matrix} V \\ [NUM \ sg] \end{matrix} \left[\begin{matrix} finit \\ [KAS \ dat] \end{matrix} \right] \right]$$

arbeitet:

$$\begin{bmatrix} CAT \\ HEAD \\ SUBCAT \end{bmatrix} \left[\begin{matrix} VFORM \\ AGR \end{matrix} \begin{matrix} V \\ [NUM \ sg] \end{matrix} \left[\begin{matrix} finit \\ empty \end{matrix} \right] \right]$$

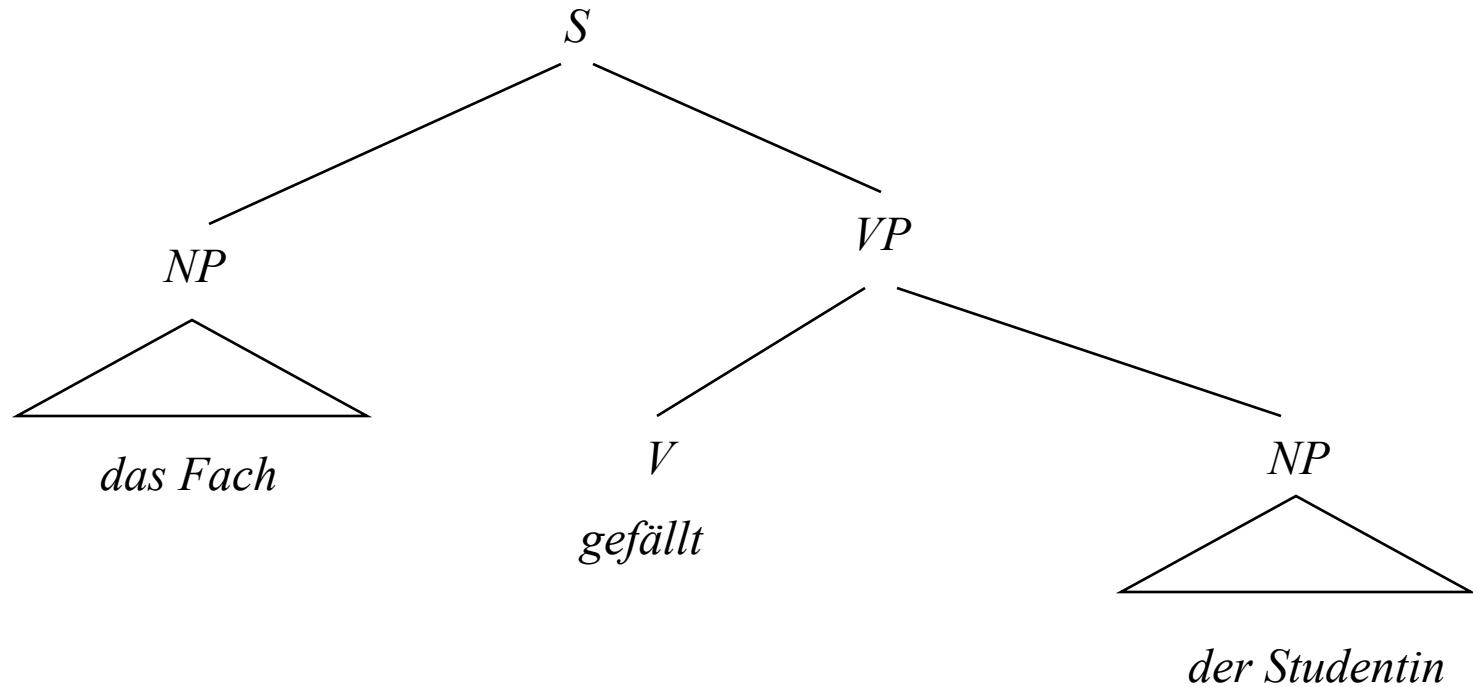
Studentin:

$$\begin{bmatrix} CAT \\ HEAD \end{bmatrix} \left[\begin{matrix} N \\ AGR \end{matrix} \left[\begin{matrix} NUM \\ GEN \end{matrix} \begin{matrix} sg \\ f \end{matrix} \right] \right]$$

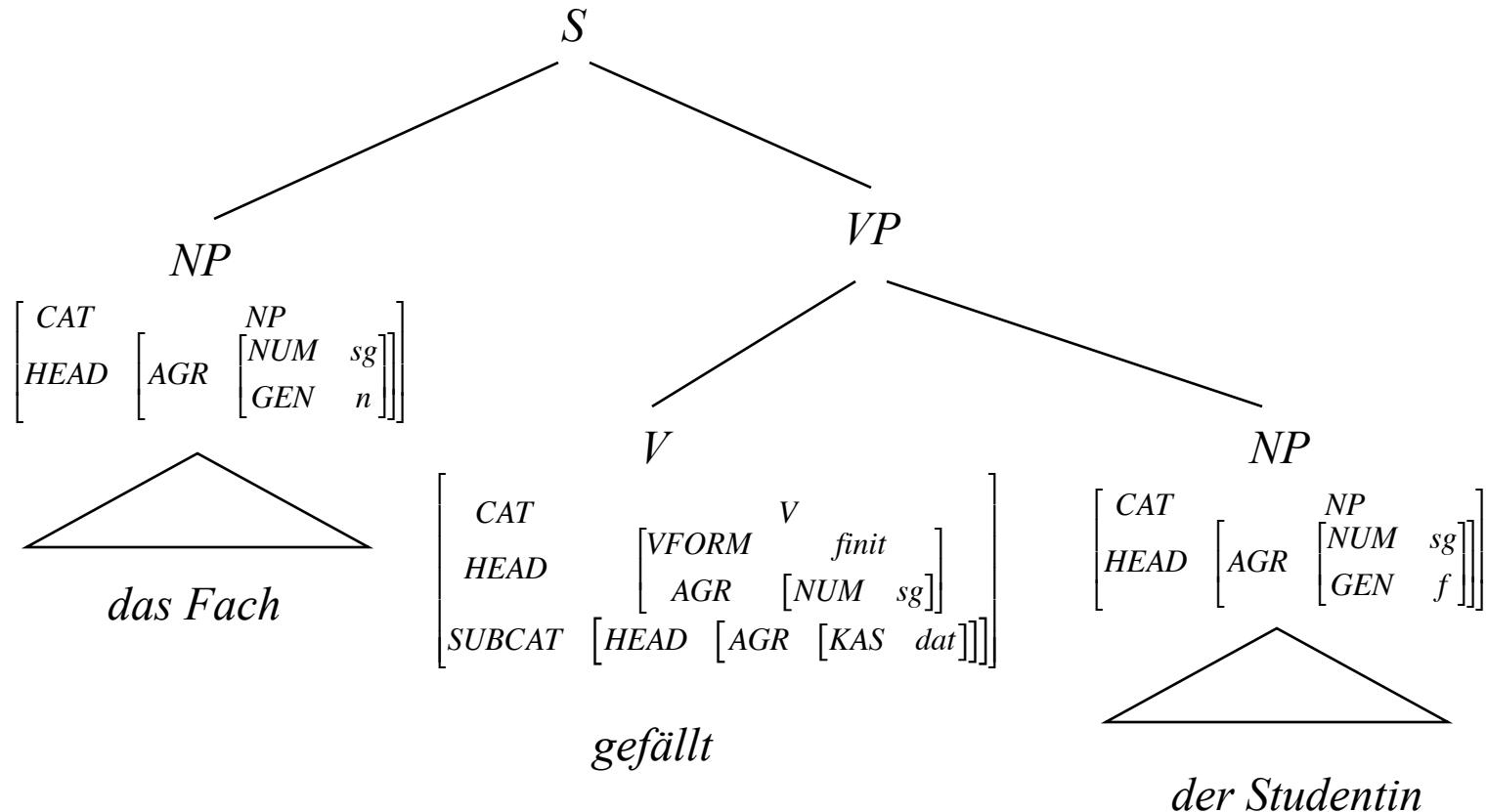
Fach:

$$\begin{bmatrix} CAT \\ HEAD \end{bmatrix} \left[\begin{matrix} N \\ AGR \end{matrix} \left[\begin{matrix} NUM \\ GEN \end{matrix} \begin{matrix} sg \\ n \end{matrix} \right] \right]$$

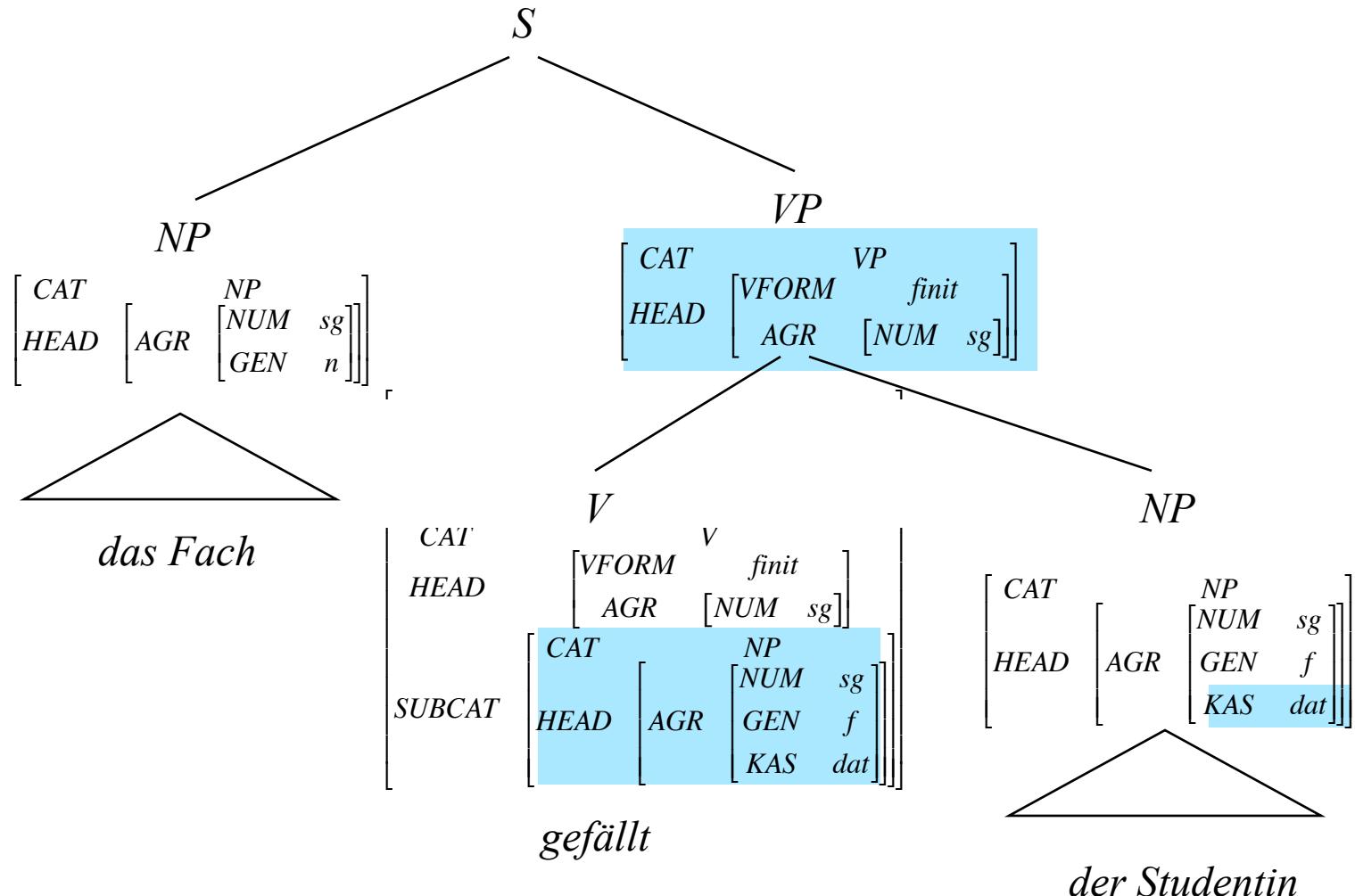
Eine Analyse mit Grammatik 7



Eine Analyse mit Grammatik 7



Eine Analyse mit Grammatik 7



Eine Analyse mit Grammatik 7

