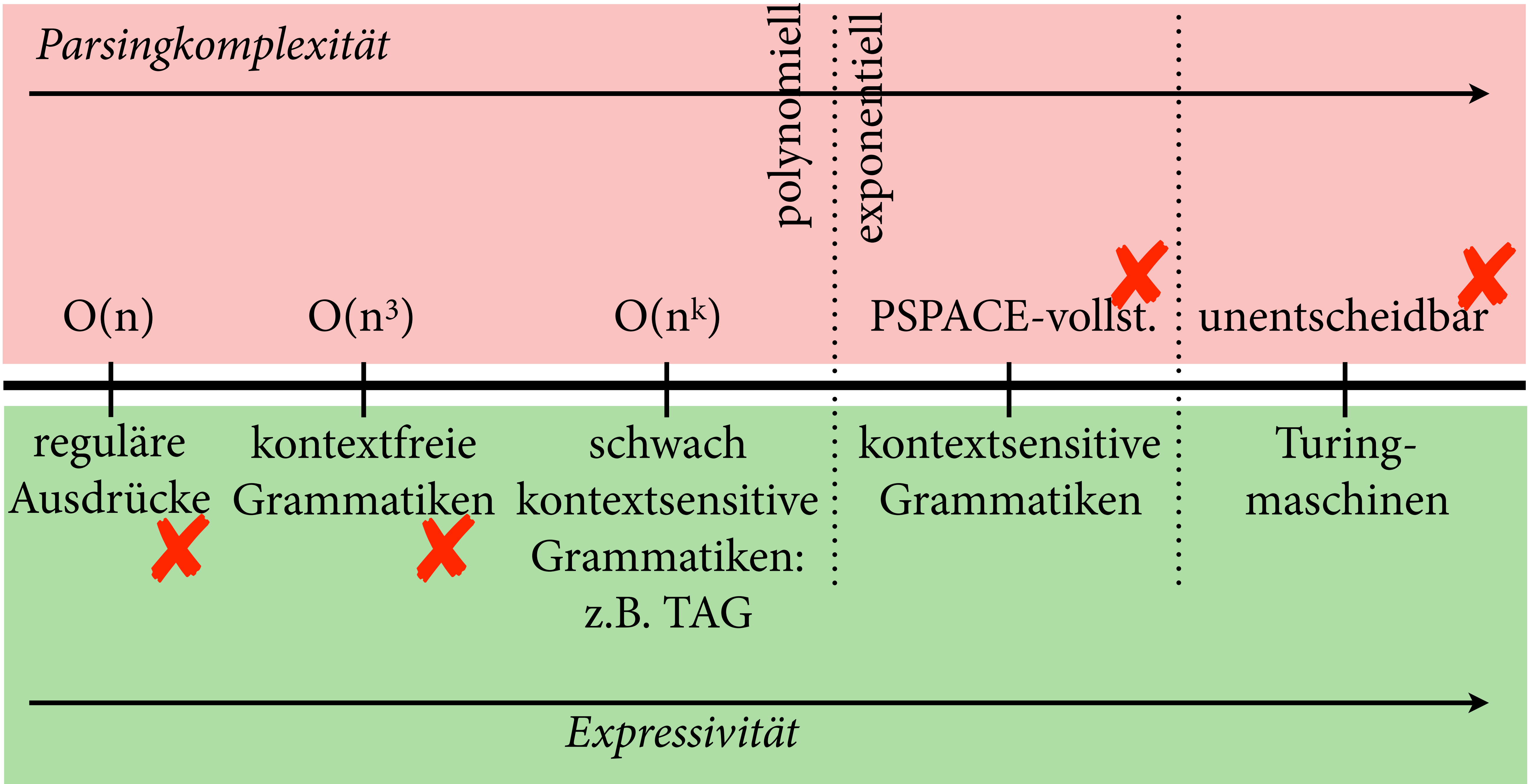
Kombinatorische Kategorialgrammatik

Vorlesung “Grammatikformalismen”

Alexander Koller

12. Mai 2017

Natürliche Sprachen in der Chomsky-Hierarchie



Kategorialgrammatiken

- Phrasenstrukturgrammatik als Gr.theorie:
  - große Konstituenten aus kleinen Konstituenten zusammensetzen
  - Beziehung zwischen V und NP: müssen zusammen auftreten, damit man VP daraus bauen kann

- Alternative Gr.theorie: *Kategorialgrammatik*
  - Ausdrücke haben *Kategorien*
  - Kategorie gibt an, mit welchen Kategorien Ausdruck kombiniert werden muss, um größeren Ausdruck zu bauen $\Rightarrow$ Funktor-Argument-Struktur

Beispiel

Hans isst ein Käsebrötchen

Beispiel

Hans	isst	ein	Käsebrötchen
NP			

Beispiel

Hans	isst	ein	Käsebrötchen
NP			N

Beispiel

Hans	isst	ein	Käsebrötchen
NP		NP/N	N

Beispiel

Hans	isst	ein	Käsebrötchen
NP		NP/N	N
		NP	

Beispiel

$$\begin{array}{cccc} \text{Hans} & \text{isst} & \text{ein} & \text{Käsebrötchen} \\ \hline NP & (S\backslash NP)/NP & NP/N & N \\ \cline{3-4} & & \multicolumn{2}{c}{NP} \end{array}$$

Beispiel

Hans	isst	ein	Käsebrötchen
NP	(S\NP)/NP	NP/N	N
		NP	
	S\NP		

Beispiel

Hans	isst	ein	Käsebrötchen
NP	(S\NP)/NP	NP/N	N

NP

S\NP

S

Kategorien

- *Atomare* Kategorien: S, NP, N
  (mit diesen dreien kommt man schon ziemlich weit)

- *Funktionale* Kategorien: Wenn A und B Kategorien sind, dann auch A/B und A\B.
  - A/B: braucht ein B *zur Rechten*, um ein A zu werden
  - A\B: braucht ein B *zur Linken*, um ein A zu werden
  - A ist *Funktor;* /B bzw. \B sind *Argumente*.

Geschichte der KG

- Ideen von Kazimierz Ajdukiewicz (1935).
- Formalisiert von Joachim Lambek (1958).
- Sehr beliebt unter holländischen Logikern.
- Wesentliche Version von KG in der CL: Kombinatorische Kategorialgrammatik (CCG) (Mark Steedman, späte 1980er).

CCG

- CCG-Grammatik besteht aus:
    - *Lexikon:* weist jedem Wort eine endliche Menge von Kategorien (= *lexikalische* Kategorien) zu.
    - *Kombinationsregeln:* Applikations- und Kompositions-regeln, evtl. mit grammatikspezifischen Einschränkungen.

- Grundregel in CCG: Applikation.

$$\frac{X/Y \qquad Y}{X} >$$

Vorwärts-Applikation

$$\frac{Y \qquad X\backslash Y}{X} <$$

Rückwärts-Applikation

CCG-Ableitungen

- Eine *Ableitung* in CCG ist ein Beweisbaum, so dass gilt:
  - an den Blättern stehen von links nach rechts lexikalische Kategorien der Wörter $w_1, ..., w_n$
  - die inneren Knoten enthalten die Kategorien, die bei Anwendung von Kombinationsregeln auf Kinder herauskommen.

- Ein String ist in der *Sprache* einer CCG-Grammatik, wenn es eine Ableitung für ihn gibt.

Soweit ich erkennen kann, kann man in OpenCCG nicht angeben,
was für eine Kategorie für den ganzen Ausdruck herauskommen soll (z.B. S).

Beispiel

Lexikon:

Hans: NP

ein: NP/N

isst: (S\NP)/NP

Käsebrötchen: N

Hans	isst	ein	Käsebrötchen	
NP	(S\NP)/NP	NP/N	N	
		NP		>
	S\NP			>
S				<

Beispiel: Modifikation

Lexikon:

Hans: NP

isst: (S\NP)/NP

großes: N/N

ein: NP/N

Käsebrötchen: N

$$
\begin{array}{ccccccc}
\text{Hans} & \text{isst} & \text{ein} & \text{großes} & \text{Käsebrötchen} & \\
\hline
\mathrm{NP} & (\mathrm{S\backslash NP})/\mathrm{NP} & \mathrm{NP/N} & \mathrm{N/N} & \mathrm{N} & \\
\cline{4-5}
 & & & \multicolumn{2}{c}{\mathrm{N}} & > \\
\cline{3-5}
 & & \multicolumn{3}{c}{\mathrm{NP}} & > \\
\cline{2-5}
 & \multicolumn{4}{c}{\mathrm{S\backslash NP}} & > \\
\cline{1-5}
\multicolumn{5}{c}{\mathrm{S}} & <
\end{array}
$$

Beispiel: Raising

Lexikon:

Marcel: NP

seems: $(S\backslash NP)/(S_{TO}\backslash NP)$

drink: $S_{INF}\backslash NP$

to: $(S_{TO}\backslash NP)/(S_{INF}\backslash NP)$

$$\begin{array}{ccccl}
\text{Marcel} & \text{seems} & \text{to} & \text{drink} & \\
\hline
NP & (S\backslash NP)/(S_{TO}\backslash NP) & (S_{TO}\backslash NP)/(S_{INF}\backslash NP) & S_{INF}\backslash NP & \\
\cline{3-4}
 & & \multicolumn{2}{c}{S_{TO}\backslash NP} & > \\
\cline{2-4}
 & \multicolumn{3}{c}{S\backslash NP} & > \\
\cline{1-4}
\multicolumn{4}{c}{S} & <
\end{array}$$

Satzeinbettung

Lexikon:

John: NP

Mary: NP

thinks: (S\NP)/S

sleeps: S\NP

John	thinks	Mary	sleeps	
NP	(S\NP)/S	NP	S\NP	
		S		<
	S\NP			>
S				<

Fernabhängigkeiten

Lexikon:

John: NP	think: $(S\backslash NP)/S$
Mary: NP	likes: $(S\backslash NP)/NP$
who: NP_{wh}	does: $(S\backslash NP_{wh})/(S/NP)$

$$\frac{\text{who}}{NP_{wh}} \quad \frac{\text{does}}{(S\backslash NP_{wh})/(S/NP)} \quad \frac{\text{John}}{NP} \quad \frac{\text{think}}{(S\backslash NP)/S} \quad \frac{\text{Mary}}{NP} \quad \frac{\text{likes}}{(S\backslash NP)/NP}$$

Fernabhängigkeiten

Lexikon:

John: NP — think: $(S\backslash NP)/S$

Mary: NP — likes: $(S\backslash NP)/NP$

who: NP_{wh} — does: $(S\backslash NP_{wh})/(S/NP)$

who	does	John	think	Mary	likes
NP_{wh}	$(S\backslash NP_{wh})/(S/NP)$	NP	$(S\backslash NP)/S$	NP	$(S\backslash NP)/NP$
				?	

Type-Raising

- In CCG kann man die Kategorie eines Ausdrucks *anheben* und so die Funktor-Argument-Richtung umkehren.

$$\frac{X}{Y/(Y\backslash X)}>T \qquad \frac{X}{Y\backslash(Y/X)}<T$$

- Macht für Applikation im wesentlichen keinen Unterschied:

$$\frac{A \quad B\backslash A}{B}> \qquad \frac{\dfrac{A}{B/(B\backslash A)}>T \quad B\backslash A}{B}<$$

Komposition

- Mit den *Kompositions*-Regeln kann man zwei Kategorien verbinden und dabei noch Argumente "übriglassen" und weitergeben.

Harmonische Komposition:

$$\frac{X/Y \qquad Y/Z}{X/Z}\ {>}B \qquad\qquad \frac{Y\backslash Z \qquad X\backslash Y}{X\backslash Z}\ {<}B$$

Crossed Composition:

$$\frac{X/Y \qquad Y\backslash Z}{X\backslash Z}\ {>}Bx \qquad\qquad \frac{Y/Z \qquad X\backslash Y}{X/Z}\ {<}Bx$$

Type-Raising + Komposition

- Durch die Kombination von Type-Raising und Komposition kann man Argumente von Kategorien "früher als vorgesehen" abbinden.

$$\dfrac{\dfrac{\dfrac{\text{Mary}}{\mathrm{NP}}}{\mathrm{S/(S\backslash NP)}}{>}\mathrm{T} \qquad \dfrac{\text{likes}}{\mathrm{(S\backslash NP)/NP}}}{\mathrm{S/NP}}{>}\mathrm{B}$$

Fernabhängigkeiten

Lexikon:

- John: NP
- Mary: NP
- who: NP_{wh}
- think: $(S\backslash NP)/S$
- likes: $(S\backslash NP)/NP$
- does: $(S\backslash NP_{wh})/(S/NP)$

who	does	John	think	Mary	likes
NP_{wh}	$(S\backslash NP_{wh})/(S/NP)$	NP	$(S\backslash NP)/S$	NP	$(S\backslash NP)/NP$
		$S/(S\backslash NP)$ $>T$		$S/(S\backslash NP)$ $>T$	

- Mary likes: S/NP $>B$
- think Mary likes: $(S\backslash NP)/NP$ $>B$
- John think Mary likes: S/NP $>B$
- does John think Mary likes: $S\backslash NP_{wh}$ $>$
- who does John think Mary likes: S $<$

Schweizerdeutsch

- Crossed composition erlaubt Modellierung von cross-serial dependencies:

das	mer	em Hans	es huus	hälfed	aastriiche	
	NP_{nom}	NP_{dat}	NP_{acc}	$S_{+SUB}\backslash NP_{nom}\backslash NP_{dat}/VP$	$VP\backslash NP_{acc}$	
				$S_{+SUB}\backslash NP_{nom}\backslash NP_{dat}\backslash NP_{acc}$		$>Bx$
			$S_{+SUB}\backslash NP_{nom}\backslash NP_{dat}$			$<$
		$S_{+SUB}\backslash NP_{nom}$				$<$
	S_{+SUB}					$<$

(“VP” = Abkürzung für $S\backslash NP_{nom}$)

Kompositionen höheren Grads

- Mit normaler Komposition kann man ein einziges Argument weitergeben:

$$\frac{X/Y \quad Y/Z}{X/Z}\ {>}B \qquad \frac{Y\backslash Z \quad X\backslash Y}{X\backslash Z}\ {<}B$$

- Für manche komplizierten Konstruktionen möchte man mehr als ein Argument weitergeben:

$$\frac{X/Y \quad Y/Z/W}{X/Z/W}\ {>}B^2 \qquad \frac{X/Y \quad Y/Z/W/V}{X/Z/W/V}\ {>}B^3$$

(usw. für höhere $>B^n$; $<B^n$, $>B^nx$, $<B^nx$ analog)

Mehr Schweizerdeutsch

$$
\begin{array}{ccc}
\text{lönd} & \text{hälfe} & \text{aastriiche} \\
\text{let} & \text{help} & \text{paint} \\
\hline
((S_{+SUB}\backslash NP_{nom})\backslash NP_{acc})/VP & (VP\backslash NP_{dat})/VP & VP\backslash NP_{acc} \\
\hline
\multicolumn{2}{c}{(((S_{+SUB}\backslash NP_{nom})\backslash NP_{acc})\backslash NP_{dat})/VP \quad >\mathbf{B}^2_{\times}} & \\
\hline
\multicolumn{3}{c}{(((S_{+SUB}\backslash NP_{nom})\backslash NP_{acc})\backslash NP_{dat})\backslash NP_{acc} \quad >\mathbf{B}_{\times}}
\end{array}
$$

(“VP” = Abkürzung für $S\backslash NP_{nom}$)

Koordination

- Ein Highlight von CCG ist die Behandlung von Koordination.
- In anderen Grammatikformalismen schwierig, weil gleiche Konjunktion ("und", "oder") viele Kategorien koordinieren kann.
- CCG: Lexikoneintrag für Konjunktion sind alle Instanzen des folgenden Schemas:

$$\text{und: } (X\backslash X)/X$$

Koordination

Maria	singt	und	Hans	schläft
NP	S\NP	(S\S)/S	NP	S\NP
S			S	
		S\S		
S				

Koordination

Hans	isst	ein Käsebrötchen	und	einen Salat	
NP	(S\NP)/NP	NP	(NP\NP)/NP	NP	
			NP\NP		>
		NP			<
	S\NP				>
S					<

Koordination

Maria	tanzt	und	singt	
NP	S\NP	(S\NP\(S\NP))/(S\NP)	S\NP	
		(S\NP)\(S\NP)		>
	S\NP			<
S				<

Koordination

Hans	isst	ein K.	und	singt	ein Lied
NP	(S\NP)/NP	NP	(S\NP\(S\NP))/(S\NP)	(S\NP)/NP	NP
	S\NP			S\NP	
			(S\NP)/(S\NP)		
	S\NP				
S					

Koordination

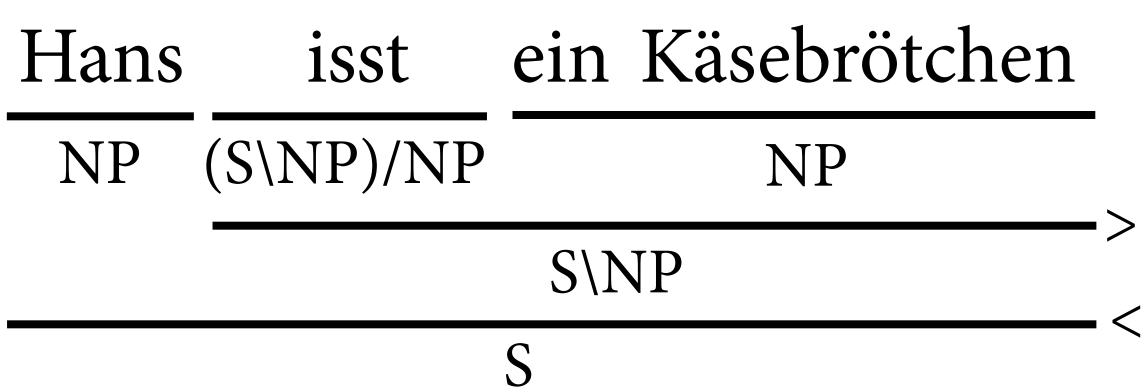
Maria	liebt	und	Hans	hasst	Wagner
NP	(S\NP)/NP	(S/NP\(S/NP))/(S/NP)	NP	(S\NP)/NP	NP
>T S/(S\NP)			>T S/(S\NP)		
>B S/NP			>B S/NP		
		> (S/NP)\(S/NP)			
< S/NP					
> S					

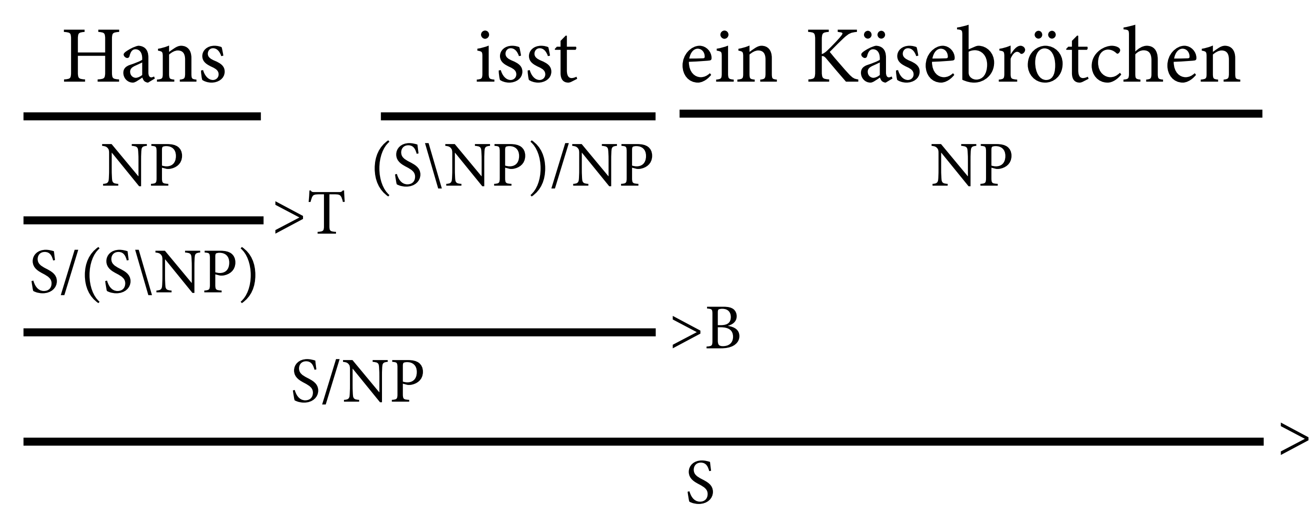
(sog. “right node raising”)

Spurious ambiguities

- CCG erlaubt “non-constituent coordination”, indem (wegen Komposition) viele Ausdrücke als Konstituenten zählen können.

- Preis, den man dafür bezahlt: Manche Sätze haben viel mehr Ableitungen, als man denkt. (Kann aber nützlich sein: RNR, Informationsstruktur.)





Linguistische Grundprinzipien

- Vermeide lexikalische Ambiguität soweit möglich.
  - Verwendung der gleichen lexikalischen Kategorie in verschiedenen Kontexten durch Kombinatoren.
  - Allgemein viel weniger lexikalische, viel mehr derivationelle Ambiguität als in TAG.
- TAG-artige “extended domain of locality”: schon Lexikoneintrag legt Argumente fest.
- Ziel ist volle Lexikalisierung (aber siehe Kuhlmann et al. 2015).

Zusammenfassung

- Kategorialgrammatik: Grammatiktheorie, die Funktor-Argument-Struktur von syntaktischen Valenzen annimmt.

- Haupt-Formalismus in der CL: CCG.
  - Applikation; Komposition: harmonisch, gekreuzt, höheren Grades; Type-Raising

- Behandlung von Fernabhängigkeiten, cross-serial dependencies, Koordination.