Merkmalsstrukturen in Baumadjunktionsgrammatiken (TAGs)

Ausarbeitung zu einem Vortrag im Proseminar Effizientes Parsen und Generieren mit Baumadjunktionsgrammatiken (TAGs)

Der Vortrag präsentiert einen Ausschnitt aus (Vijay-Shanker, 1987) in gekürzter Form

Andreas Werner

19. Februar 1998

Kapitel 1

Einleitung

Eingeschränkte grammatische Systeme wurden in der Computerlinguistik hinsichtlich ihrer linguistischen Anwendbarkeit und ihrer Berechnungseigenschaften untersucht. Baumadjunktionsgrammatiken (*T*ree *A*djoining *G*rammars - TAGs) stellen solche eingeschränkten grammatischen Systeme dar. Sie wurden erstmals von Joshi, Levy und Takahashi (Joshi, Levy, & Takahashi, 1975) vorgestellt. Eine TAG ist ein Baum-Umschreibsystem, das etwas mehr Ausdrücke generieren kann als eine kontextfreie Grammatik. Sie hat die Eigenschaft, Rekursion aus der Äußerung von Gleichzeitigkeitsrelationen zu faktorisieren. Der Großteil der linguistischen Relevanz folgt aus dieser Faktorisierung.

1.1 Eingeschränkte Grammatiksysteme in der mathematischen Linguistik

Einige Beispiele für in der mathematischen Linguistik untersuchte eingeschränkte Grammatiksysteme sind Generalized Phrase Structure Grammars (GPSG), Head Grammars (HG) und Lexical Functional Grammars (LFG).

Diese wurden eingesetzt, um Strukturen in natürlicher Sprache zu formalisieren, sowohl beschreibend als auch unter dem Gesichtspunkt der Verarbeitung von natürlicher Sprache durch Rechner. Das erfordert einen gewissen Grad von Abstraktion, es ist jedoch zu beachten, daß dabei nicht von den in natürlicher Sprache vorkommenden Strukturen (Beschränkungen) abgewichen wird. Ein völlig uneingeschränktes Grammatiksystem dürfte also nicht sehr viel Einsicht in die Struktur von natürlicher Sprache ermöglichen.

Also kann man Grammatiksysteme für natürliche Sprache sowohl hinsichtlich ihres zugrundeliegenden mathematischen Formalismus als auch hinsichtlich der in diesem Formalismus instantiierten linguistischen Theorie betrachten. Letzterer Bestandteil ist eine Menge linguistischer Bedingungen, die weitere Beschränkungen für die Menge der durch den Formalismus abgeleiteten Strukturen darstellen. Wenn der grammatische Formalismus zu 'mächtig' ist, dann wächst die Menge linguistischer Bedingungen. In eingeschränkten Systemen kann man besser zwischen linguistischen Beschränkungen und Beschränkungen aus dem Formalismus selbst unterscheiden. Die Anzahl linguistischer Bedingungen kann verringert werden, da einige dieser Bedingungen jetzt Teile der Beschränkungen des eigentlichen Formalismus und anderer Bedingungen werden können. In TAGs ist z.B. das Prinzip des Zugrundeliegens (principle of subjacency) eine notwendige Folgerung des eigentlichen Formalismus.

1.2 TAGs etwas näher betrachtet

Anders als die String-Umschreibformalismen, die Rekursion in die Generierungsregeln für die Satzstruktur schreiben, fügt eine TAG Rekursion und Abhängigkeiten in eine endliche Menge elementarer Bäume ein. Eine TAG wird durch eine endliche Menge von *elementaren Bäumen* (elementary trees) für einfache Sätze definiert und benutzt eine *Adjunktion* genannte Operation zum Zusammensetzen dieser Bäume. Die elementaren Bäume einer TAG entsprechen *minimalen* linguistischen Strukturen und lokalisieren die Abhängigkeiten wie Subkategorisierung und Füller-Lücke. Die unbegrenzte Distanz zwischen den abhängigen Teilen in der oberflächenbildenden Struktur ist eine Folge der Adjunktionsoperation und der Theorie der Satzeinbettung. Daher gibt es in gewissem Sinne keine ungebundenen Abhängigkeiten in einer TAG. Die TAG-Notation erzwingt die Zusammensetzung der eingebetteten Strukturen aus elementaren Strukturen, die minimalen linguistischen Objekten entsprechen. Die Gemeinsamkeitsbeziehung (co-occurrence relation) zwischen Elementen kann lokal innerhalb der elementaren Bäume ausgedrückt werden. Auf diese Weise wird das Ausdrücken von Rekursion von den Gemeinsamkeitsrestriktionen getrennt und Rekursion wird durch das Adjungieren eingeführt.

Oben wurde bereits gesagt, daß eine TAG durch eine endliche Menge elementarer Bäume definiert wird. Es gibt zwei Arten elementarer Bäume: *Initialbäume* (initial trees) und *Auxiliarbäume* (auxiliary trees). Die Initialbäume entsprechen der Struktur eines einfachen Satzes in dem keine rekursive Ableitung vorkommt. Daher wird die Wurzel eines Initialbaums mit dem Symbol S bezeichnet. Initialbäume müssen ein Blattwort ausschließlich aus Terminalsymbolen haben, die Berücksichtigung von Substitution sieht dann so aus, daß etwa für den Satz 'John sleeps' der selbe Baum generiert wird wie für 'Mary sleeps' (NP $\rightarrow$ n; n $\rightarrow$ $John \| Mary \|$ ....).

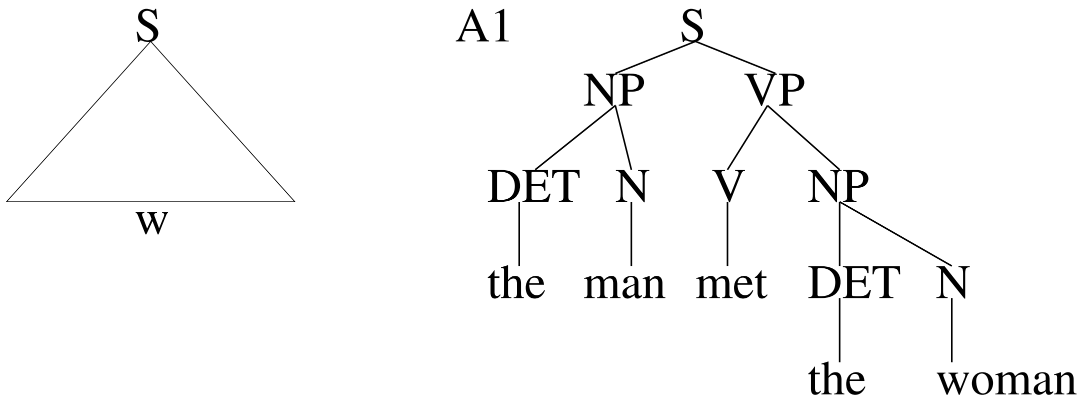


Abbildung 1.1: Beispiel für einen Initialbaum

Die Auxiliarbäume entsprechen der Rekursion auf einem Nichtterminal. Wenn also die Wurzel eines Auxiliarbaumes mit einem Nichtterminal, etwa X, beschriftet ist, dann gibt es einen Knoten im Blattwort dieses Auxiliarbaumes, der ebenfalls mit dem Nichtterminal X beschriftet ist. Der Rest des Blattwortes besteht wieder aus Terminalsymbolen (prinzipiell, abgesehen von Substitution). Der mit X beschriftete Knoten im Blattwort wird als der Fußknoten des Auxiliarbaumes bezeichnet. Es wird erwartet, daß der Auxiliarbaum einer minimalen rekursiven Struktur entspricht, die in die Ableitung eingebracht werden muß, wenn die Rekursion auf dem Nichtterminal X aufgelöst wird.

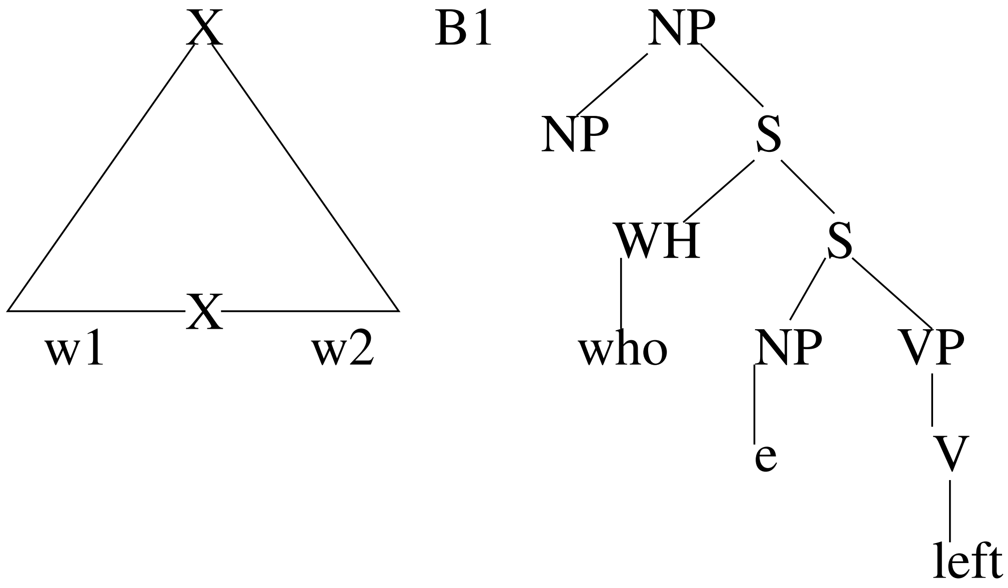


Abbildung 1.2: Beispiel für einen Auxiliarbaum

Nun ist noch die Adjunktionsoperation zu definieren. Sei dazu *A* ein Baum mit einem mit X bezeichneten Knoten. Sei *B* ein Auxiliarbaum, dessen Wurzel und Fußknoten ebenfalls mit X bezeichnet sind. Dann ergibt das Adjungieren von *B* an den Knoten X in *A* den folgenden Baum: der Teilbaum unterhalb des Knotens X in *A* wird herausgeschnitten und der Auxiliarbaum *B* wird an seiner Stelle eingesetzt. Der herausgeschnittene Teilbaum von *A* wird dann unterhalb des Fußknotens von *B* wieder eingefügt.

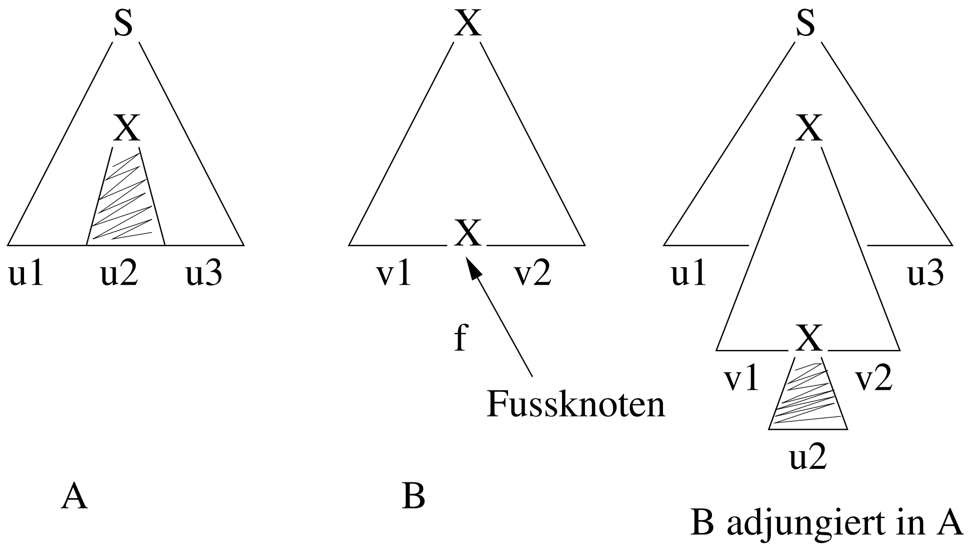


Abbildung 1.3: Illustration der Adjunktionsoperation

In Abbildung 1.4 wird das Ergebnis der Adjunktion des Auxiliarbaumes B1 in den Initialbaum A1 veranschaulicht. Der Knoten in A1 an dem adjungiert wird, ist mit (*) gekennzeichnet.

Bis jetzt ist die einzige Beschränkung für die Menge der an einen Knoten adjungierbaren Auxiliarbäume, daß die Beschriftung des Knotens die gleiche sein muß wie die von Wurzel und Fußknoten des Auxiliarbaumes. Weitere Beschränkungen dieser Menge der Auxiliarbäume basieren auf dem sogenannten angemessenen Analysekontext und Dominierungskontexten. Benutzt wurden diese Beschränkungen nicht, und der Kontext, der zur Festlegung der Auswahl der adjungierbaren Bäume gebraucht wurde, befand sich in einem elementaren Baum. In der aktuellen Definition einer TAG werden diese lokalen Beschränkungen spezifiziert, indem zu jedem Knoten die Teilmenge der an ihn adjungierbaren Auxiliarbäume aufgezählt wird. Diese Aufzählung der Menge der Auxiliarbäume sind die *selektiven Adjunktionsbeschränkungen* (SA). Wenn die Teilmenge der Auxiliarbäume für einen Knoten leer ist, sagt man, daß der Knoten eine *Nulladjunktionsbeschränkung* (NA) hat.

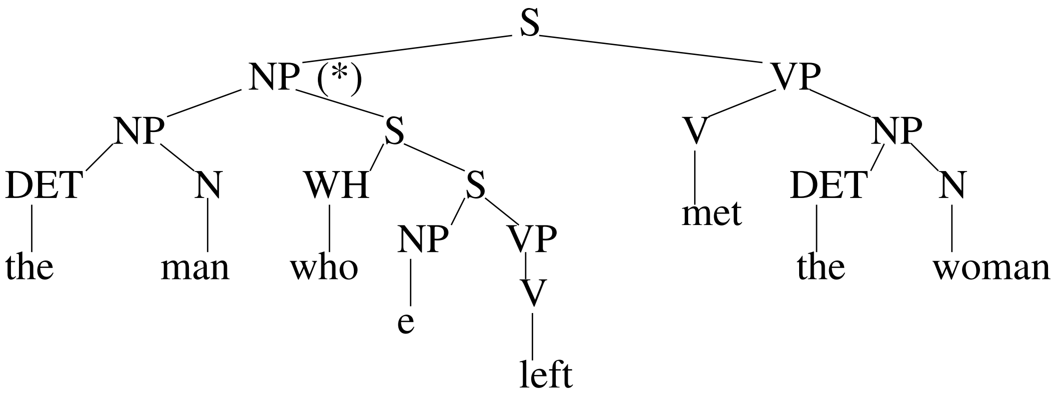


Abbildung 1.4: Adjunktion von B1 in A1

Im allgemeinen ist es verständlich, daß jeder der Bäume in den selektiven Adjunktionsbeschränkungen eines Knotens zur Adjunktion benutzt werden kann. Es ist aber möglich, Adjunktion an einem Knoten vorzuschreiben. In diesem Fall sagt man, daß der Knoten eine *obligatorische Adjunktionsbeschränkung* (OA) hat. Ein Beispiel dazu ist in 1.5 zu sehen. Der Satzbaum ist noch nicht vollständig, da er noch keine Zeitform hat. Adjungiert man jedoch B2 an der Wurzel von A2, erhält man einen vollständigen Satz. Deswegen sagt man, daß die Wurzel von A2 eine OA-Beschränkung hat.

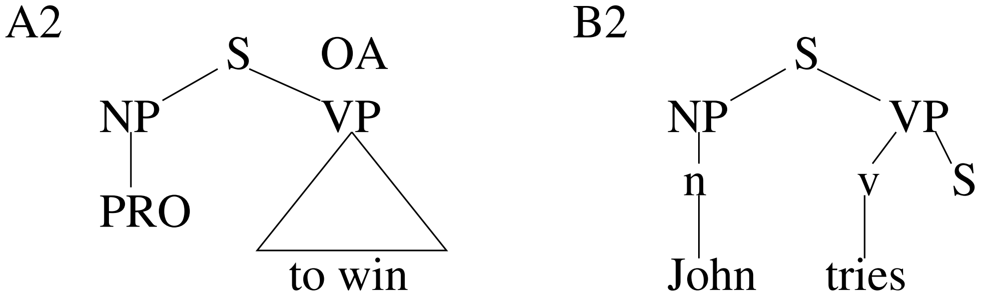


Abbildung 1.5: Einsatz der obligatorischen Adjunktionsbeschränkung

In einer TAG geht der bis jetzt benutzte normale, die intuitive Vorstellung von Ableitung erfassende Weg wie folgt weiter: Man startet mit einem Initialbaum und erlaubt Adjunktion mit einem Auxiliarbaum. Der abgeleitete Satzbaum kann weitere Adjunktionen von Auxiliarbäumen erhalten. Am Ende der Ableitung wird erwartet, daß der finale Baum keine Knoten mit OA-Beschränkungen mehr hat.

Bis jetzt wurden die lokalen Beschränkungen an den Knoten elementarer Bäume betrachtet. In Abbildung 1.6 ist illustriert, wie Beschränkungen zu den Knoten von abgeleiteten Bäumen propagiert werden. Wie man dort sieht, ist die Adjunktion von B nur erlaubt, wenn B ein Element der Menge C ist. Im resultierenden Baum haben die Knoten, die den von D eingebrachten entsprechen (Knoten im unschraffierten Teil), die selbe Beschränkung wie die entsprechenden Knoten in D. Demgegenüber erhalten die von B eingebrachten Knoten (Knoten im schraffierten Teil) die Beschränkungen der entsprechenden Knoten in B.

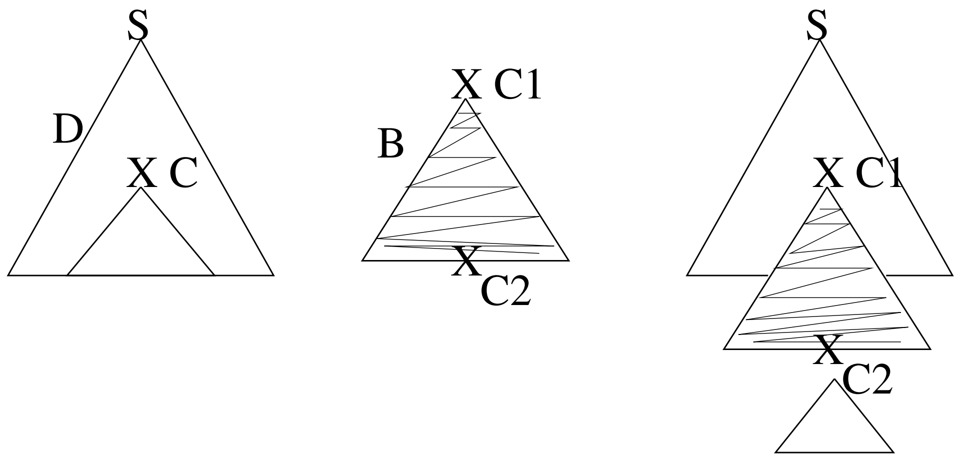


Abbildung 1.6: Propagierung von Beschränkungen

Die Menge der von einer TAG erzeugten Bäume ist die Menge der Satzbäume, die keine Knoten mit OA-Beschränkungen haben. Deren Stringsprache entspricht den Terminalstrings bzw. Blattwörtern der Menge der von der TAG generierten Satzbäume.

1.2.1 Anmerkungen zur linguistischen Theorie hinter TAGs

Im folgenden werden einige der Hauptpunkte der aktuell zum Entwerfen von TAGs für natürliche Sprache benutzten Theorie beschrieben. Es wird angenommen, daß die elementaren Bäume einer TAG minimale linguistische Strukturen sind. Die Abhängigkeiten werden soweit wie möglich zu diesen elementaren Bäumen lokalisiert. Daher sind die wegen einer Gemeinsamkeitsbeziehung voneinander abhängigen Elemente Teile des selben elementaren Baums, z.B. gehören Füller und Lücke zum selben Baum. Die durch ein Verb subkategorisierten Elemente gehören zum selben elementaren Baum wie das Verb. Eine Vielzahl von Beschränkungen kann leicht überprüft werden, weil der gesamte elementare Baum, d.h. der Gültigkeitsbereich der Beschränkungen, bei jedem Ableitungsschritt als Einheit verfügbar ist. Deshalb verletzt die lexikalische Einfügung in den Baum dargestellt in Abbildung 1.7 die Übereinstimmungsbeschränkungen. Die lexikalische Einfügung ist nicht akzeptabel, weil Subkategorisierungs-Beschränkungen des intransitiven Verbs, hier *fell*, verletzt werden. Dieses Prinzip wird auch beim Ausdrücken von lokalen Beschränkungen benutzt. Daher ist die Struktur von A2 aus Abbildung 1.5 ausreichend, um festzulegen, daß die SA-Beschränkungen an der Wurzel nur Bäume wie B2 (deren Hauptverb für einen Infinitivsatz subkategorisiert) zur Adjunktion zulassen.

Komplette Lokalisierung ist nicht immer möglich. Beispielsweise stimmt das Verb in der Relativsatzstruktur von B1 in Abbildung 1.2 in Zahl mit dem NP-Knoten überein, an den es adjungiert wird (etwa die Subjekt-NP des Initialbaums A1 in Abbildung 1.3).

In einer TAG sind die Abhängigkeiten lokalisiert, und Adjunktion erhält einfach diese Abhängigkeiten. Daher ist eine weitere an eine TAG gestellte Bedingung, daß die grammatischen Beziehungen (gemäß dem abgeleiteten Baum) nicht durch eine Adjunktion unterbrochen werden dürfen.

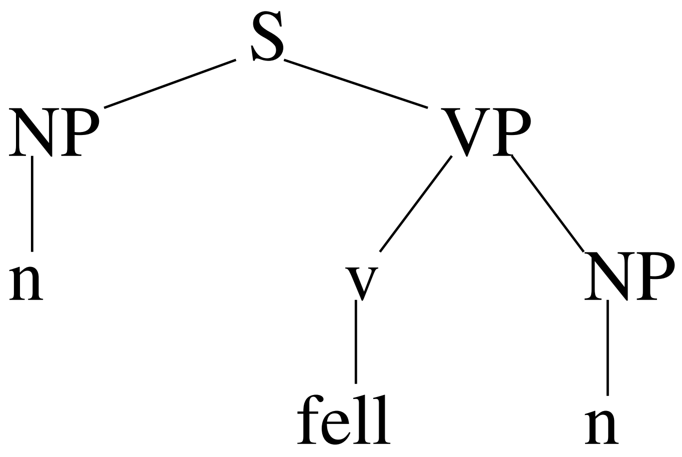


Abbildung 1.7: Unzulässige lexikalische Einfügung

Zum Beispiel ist als Ableitung des Satzes

Mary thought John saw Bill hit Jill

die in Abbildung 1.8 dargestellte Ableitung nicht akzeptabel, weil in dem erhaltenen Zwischen-Baum die Proposition, daß Mary dachte, daß Bill Jill schlägt, gelten muß.

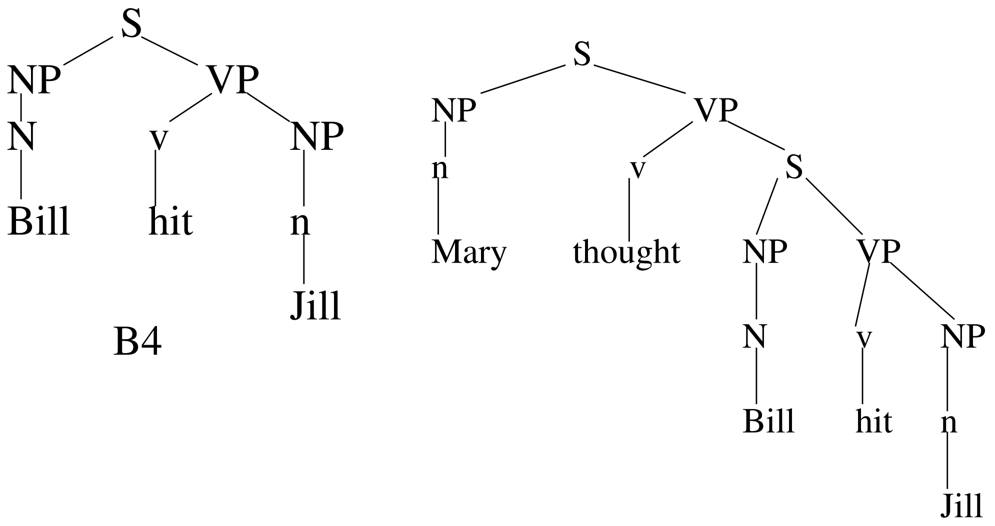


Abbildung 1.8: Eine unakzeptable Folge von Adjunktionen

In einer TAG besteht man darauf, daß der Fußknoten von Auxiliarbäumen wie B4 eine NA-Beschränkung hat. Deshalb kann aus dem Zwischen-Baum zu

Mary thought Bill hit Jill

der obige Satz nicht abgeleitet werden, und die einzige erlaubte Sequenz ist die, die den Nebensatz

John saw Bill hit Jill

ableitet.

Kapitel 2

Merkmalsstrukturbasierte TAGs

Eine Merkmalsstruktur ist eine Menge von Attribut-Wert-Paaren, wobei die Werte atomare Symbole oder eine andere Merkmalsstruktur sind. Man kann Merkmalsstrukturen auch entweder als Konstanten (für die atomaren Symbole) oder als partielle Funktionen, die Beschriftungen auf Merkmalsstrukturen abbilden, charakterisieren. Die Bezeichnungen "unifikationsbasierte grammatische Formalismen" bzw. "Unifikationsgrammatiken" werden benutzt, weil Unifikation der Merkmalsstrukturen die Hauptoperation bei der Kombination von Merkmalsstrukturen ist.

2.1 Unifikationsgrammatiken

Um linguistische Phänomäne wie Übereinstimmung, Subkategorisierung, usw. zu erfassen, haben eine Anzahl neuere grammatische Systeme ein merkmalsbasiertes Informationselement auf eine CFG aufgesetzt.

Im weiteren wird PATR-II als ein Repräsentant der unifikationsbasierten grammatischen Systeme, die auf einer CFG basieren, betrachtet. PATR-II wurde als Sprache zum Ausdrücken der verschiedenen linguistischen Theorien in diesen unifikationsbasierten Lösungen entwickelt und ist sozusagen das kgV dieser Unifikationssysteme.

2.2 Merkmalsstrukturen und das PATR-II System

In PATR-II werden Gleichungen zusammen mit den Produktionen einer unterliegenden CFG ausgedrückt. So bedeutet etwa

$$S \rightarrow X_1 X_2$$

$$X_0.cat = S$$

$$X_1.cat = NP$$

$$X_2.cat = VP$$

$$X_1.agr = X_2.agr$$

$$X_2.subject = X_1$$

daß S ersetzt wird durch NP und VP, wobei das Übereinstimmungsmerkmal (Übereinstimmung: engl. agreement; hier agr abgekürzt) von NP mit dem von VP identisch ist und das Subjekt der VP eben NP ist. Das wird durch folgende Merkmalsstruktur ausgedrückt:

$$\begin{bmatrix} cat: S \\ 1: *b \begin{bmatrix} cat: NP \\ agr: *a \end{bmatrix} \\ \\ 2: \begin{bmatrix} cat: VP \\ agr: *a \\ subject: *b \end{bmatrix} \end{bmatrix}$$

Die Ko-Indizierung ($*a$ und $*b$ in der obigen Merkmalsstruktur) dient zur Verdeutlichung der Tatsache, daß die Werte zweier Untermerkmale gleich sind. So sind zum Beispiel die agr-Werte von X_1 und X_2 mit $*a$ ko-indiziert, um auszudrücken, daß ihre Übereinstimmungswerte die selben sind (im strengen Sinn die selben, nicht nur ähnliche). $*b$ deutet an, daß das Subjekt von X_2 die komplette zu X_1 gehörende Merkmalsstruktur ist. Merkmalsstrukturen mit Ko-Indizierung werden auch reentrante Merkmalsstrukturen genannt.

Man kann auf einer Menge von Merkmalsstrukturen eine partielle Ordnung, $\sqsubseteq$, mit dem Begriff der Subsumption definieren (enthält *weniger Information* bzw. ist *allgemeiner*). Mit der Repräsentation von Merkmalsstrukturen als partielle Funktionen ergibt das:

1. $[a] \sqsubseteq [a]$ für jeden atomaren Wert a

2. $F_1 \sqsubseteq F_2$ wenn die partielle Funktion F_2 für alle Beschriftungen definiert ist, für die auch F_1 definiert ist und außerdem für jede Beschriftung l so daß $F_1(l)$definiert ist, $F_1(l) \sqsubseteq F_2(l)$.

[ ] dient hier zur Repräsentation der total unspezifizierten (leeren) Merkmalsstruktur. Damit gilt [ ] $\sqsubseteq F$ für alle Merkmalsstrukturen F. Unifikation zweier Merkmalsstrukturen (wenn definiert) entspricht der kleinsten Merkmalsstruktur die alle Informationen der beiden Original-Merkmalsstrukturen enthält. Also ergibt das Unifizieren zweier Merkmalsstrukturen die Merkmalsstruktur, die die kleinste obere Schranke der beiden Original-Merkmalsstrukturen ist (koS bzgl. der Subsumptionsrelation). Allerdings ist es auch möglich, daß die Unifikation zweier Merkmalsstrukturen undefiniert ist. Beispielsweise können

$$\begin{bmatrix} l_1: a \\ l_2: \begin{bmatrix} l_3: b \\ l_4: c \end{bmatrix} \end{bmatrix} und \begin{bmatrix} l_1: a \\ l_2: \begin{bmatrix} l_5: e \\ l_4: d \end{bmatrix} \end{bmatrix}$$

nicht unifiziert werden, da die Merkmalsstrukturen, die die Werte von l_2 sind, nicht unifiziert werden können (die Werte des Attributs l_4 sind c bzw. d).

Nun wird der verwendete Unifikationsalgorithmus beschrieben. Die Merkmalsstruktur f, die aus der Unifikation der Merkmalsstrukturen f_1 und f_2 hervorgeht, ist wie folgt definiert:

- Wenn f_1 und f_2 beide für das Attribut l definiert sind, dann ist der Wert des Attributs l in f die Unifikation der Werte für l inf_1 und f_2.

- Wenn eine der beiden Merkmalsstrukturen f_1 und f_2 für ein Attribut l nicht definiert ist, dann ist der Wert für l in f der Wert der Merkmalsstruktur, die für dieses Attribut definiert ist.

- Ein Atom a ist nicht mit einer komplexen Merkmalsstruktur oder dem Atom b unifizierbar, $a \neq b$.

- Wenn $f_1 = f_2$, dann $f = f_1 = f_2$.

Merkmalsstrukturen lassen sich auch als ein gerichter azyklischer Graph (directed acyclic graph - DAG) darstellen, wobei die Kanten mit den Beschriftungen der Merkmalsstruktur beschriftet sind. Gemeinsame Werte (in Merkmalsstrukturen durch Ko-Indizierung repräsentiert) werden durch das Verschmelzen von Kanten repräsentiert. Diese beiden Repräsentationen sind austauschbar.

Ableitungen in PATR-II entsprechen denen in CFGs abgesehen von den Ableitungen von Merkmalsstrukturen. Wenn aus X_1 und X_2 Wörter w_1 und w_2 und Merkmalsstrukturen F_1 und F_2 abgeleitet werden, dann gilt, gegeben eine Regel $X_0 \rightarrow X_1X_2$ mit einer zugehörigen Menge von Gleichungen E folgendes: wenn F_0 die Unifikation von F_1 und F_2 nach den Gleichungen in E ist, dann leitet man aus X_0 das Wort w_1w_2 und die Merkmalsstruktur F_0 ab. Scheitert die Unifikation, dann ist die Regel nicht anwendbar.

2.3 Logische Repräsentation

Nach der informellen Beschreibung von Merkmalsstrukturen und ihrer Unifikation folgt nun einiges zu ihrer Ausdrückbarkeit durch Logikformalismen. Um Merkmalsstrukturen in eine disjunktive Form zu bringen, wäre es nötig, deren Potenzmenge zu konstruieren. Eine einfachere Definition läßt sich mit der logischen Formulierung von Merkmalsstrukturen nach Rounds und Kasper erhalten. Merkmalsstrukturen werden in diesem System als Formeln in einer Version von modaler Propositionallogik (Rounds-Kasper Logik) ausgedrückt. Diese Formeln können mit logischen Äquivalenzen auf Normalform reduziert werden.

Es folgt eine kurze Beschreibung der Rounds-Kasper Logik.

2.3.1 Rounds-Kasper Logik

Die Motivation zur Entwicklung dieser Logik war eine vollständige Beschreibung der logischen Eigenschaften von Merkmalsstrukturen für Berechnungszwecke und mathematische Analyse. Außerdem ermöglicht die Rounds-Kasper Logik eine präzise Beschreibung von Merkmalsstrukturen, die disjunktive Spezifikationen enthalten.

Rounds-Kasper Logik ist eine Version von propositionaler Modallogik. Außer Konjunktion und Disjunktion benutzt die Logik einen Modaloperator : und erlaubt Gleichheitsausdrücke zwischen Pfaden. Eine Formel $l : \phi$ ist eine logische Repräsentation einer Merkmalsstruktur, deren Wert für Attribut l eine Merkmalsstruktur ist, die die Formel ϕ erfüllt.

Sei C eine Menge von Atomen und L eine Menge von Beschriftungen.Dann sind folgende Formeln in der Rounds-Kasper Logik wohldefiniert:

$$NIL$$

$$TOP$$

$$a$$

$$l : \phi$$

$$\phi \wedge \psi$$

$$\phi \vee \psi$$

$$p_1, \dots, p_n$$

wobei $a \in C$, $l \in L$, ϕ, ψ wohldefinierte Formeln sind. NIL und TOP bedeuten *keine Information* bzw. *inkonsistente Information*. Jedes p_i steht jeweils für einen Pfad der Form

$l_{i,1} : l_{i,2} : ... : l_{i,n}$, was $p_1 = ... = p_n$ bedeutet. Beispielsweise steht die Formel $f : g : a \wedge \{h : j, f : g\}$ für die Merkmalsstruktur

$$\left[\begin{array}{l} f : [g : *1[a]] \\ h : [j : *1] \end{array}\right]$$

Die Formeln in dieser Logik sind also eine Notationsvariante der Merkmalsstrukturrepräsentation. Zur Modellierung der Merkmalsstrukturen können deterministische endliche Automaten (deterministic finite state automata - DFA) benutzt werden. Erfüllbarkeit dieser Formeln läßt sich dann auf DFAs definieren.

DFAs haben folgende erwünschte Eigenschaften als Domäne für Merkmalsstrukturen:

1. Der Wert jedes definierten Pfades kann durch den Zustand des Automaten genannt werden

2. Finden eines Pfadwertes geschieht durch Ansetzen des Automaten auf das Pfadwort

3. Der DFA erfaßt die kritischen Eigenschaften der geteilten Struktur

  (a) zwei Pfade, die unifiziert sind, haben den selben Zustand als Wert

  (b) die Unifikation ist äquivalent zu einer Zustands-Mischoperation

Rounds und Kasper haben die Konsistenz und Vollständigkeit ihrer Logik gezeigt und nachgewiesen, daß das Konsistenzproblem für Formeln aus ihrer Logik NP-vollständig ist.

2.3.2 Unifikationssysteme und Lokalitätsdomäne

Unifikationsbasierte grammatische Formalismen sind sehr mächtig und können die meisten Theorien für die Syntax natürlicher Sprache ausdrücken. Sie sind deklarativ mit der Möglichkeit, linguistische Phänomene direkt auszudrücken. Test auf Gleichheit, Pattern Matching und Merkmalsweitergabe finden sich in vielen linguistischen Analysen, in Konkurrenz mit dem Vertrauen auf Unifikation in diesen Systemen.

Die Vielseitigkeit dieser Unifikationssysteme ist attraktiv, aber sie sind berechnungsmäßig ineffizient. Ein Teil dieser Ineffizienz steckt in der begrenzten Lokalitätsdomäne in CFGs [1] In CFG-basierten Unifikationssystemen werden Gleichungen mit individuellen Umschreib-Regeln assoziiert. Um Beschränkungen zwischen verschiedenen Teilen zu testen, müssen deshalb Merkmalsstrukturen heftig hin und her geschoben werden. Merkmale der 'abhängigen' Einheiten müssen zu ihren 'Eltern' geschoben werden (tatsächlich bis zum gemeinsamen Vorfahren), da die Beschränkungen in Bezug auf einzelne Produktionen ausgedrückt werden. Zum Beispiel müssen zur Überprüfung, daß die Zustimmungsmerkmale des Haupt-Substantivs und des Haupt-Verbs übereinstimmen, die Übereinstimmungsmerkmale bis zum obersten Knoten S (oder dem Knoten direkt oberhalb der NP- und VP-Knoten) geschoben werden. Das Ausmaß der Merkmalsverschiebung ist abhängig vom Abstand der Knoten im Ableitungsbaum, und der Merkmalverschiebemechanismus ist einer der Hauptgründe für die Ineffizienz der unifikationsbasierten Systeme.

TAGs haben eine größere Lokalitätsdomäne. Hier wird angenommen, daß die Abhängigkeiten zwischen lexikalischen Items in den elementaren Bäumen stecken. Diese Annahme bedeutet, daß

- Verben und ihre Ergänzungen sind lokalisiert und Teil des selben elementaren Baumes.

[1] Lokalitätsdomäne bezeichnet hier die Domäne, über der Gleichungen, die Beschränkungen ausdrücken, spezifiziert werden.

- Abhängige Teile zum selbem elementaren Baum gehören oder in einem elementaren Baum und dem **direkt** daran adjungierten Baum sind.

Das Hauptziel der Einbettung von TAGs in einen Unifikationsrahmen ist die Erfassung dieser Lokalisierung der Abhängigkeiten. Aus linguistischer Sicht ist das wichtig, um festzustellen, wie weit lokalisiert werden kann, bezüglich effizienter Berechnung ist das wichtig wegen eingeschränkter Merkmalsverschiebung. Deshalb wäre es angenehm, die Merkmalsstrukturen direkt den elementaren Bäumen zuzuordnen.

2.4 TAGs in einem Unifikationsrahmen

Nun wird eine Methode zur Einbettung von TAGs in einen Unifikationsrahmen beschrieben. Der entstehende Formalismus wird *merkmalsstrukturbasierte TAG* (Feature structure based TAG - FTAG) genannt.

In einer unifikationsbasierten Grammatik werden Gleichungen, die Beschränkungen bezüglich der elementaren Strukturen, die durch eine Regel der Grammatik verändert werden, ausdrücken, mit den Umschreibregeln assoziiert. Also liefern diese Regeln die Lokalitätsdomäne für das Ausdrücken der Beschränkungen.

In TAGs möchte man die Beschränkungen unter den Knoten der elementaren Bäume ausdrücken, um die größere Lokalitätsdomäne einer TAG auszunutzen. Das soll den notwendigen Informationsfluß (Verschieben der Merkmalsstrukturen) und die Anzahl der linguistischen Bedingungen minimieren, die wegen der begrenzten Lokalitätsdomäne nötig sind.

2.4.1 Lokalitätsdomäne in TAGs

Wie schon gesagt nimmt die linguistische Theorie hinter TAGs an, daß die elementaren Bäume in einer TAG minimale linguistische Strukturen sind und das Abhängigkeiten lokal erfaßt werden. Man drückt Gleichungen über den Merkmalsstrukturen von Knoten eines elementaren Baumes aus. Beispielsweise wird die Gleichheit des Übereinstimmungsmerkmals von Subjekt und Hauptverb im elementaren Baum ausgedrückt. Diese Gleichheit kann deshalb bei der lexikalischen Einfügung überprüft werden und muß nicht wie etwa in PATR-II durch Merkmalsverschiebung getestet werden. Ganz wie in PATR-II, wo Gleichungen, die zu einer Umschreibregel gehören, zu einer zur Merkmalsstruktur gehörenden Regel führen, resultieren Gleichungen über einem ganzen elementaren Baum in einer zu diesem elementaren Baum gehörenden Merkmalssrtuktur. 2.1 zeigt ein Beispiel für einen elementaren Baum mit zugehöriger Merkmalsstruktur (in graphischer Repräsentation).

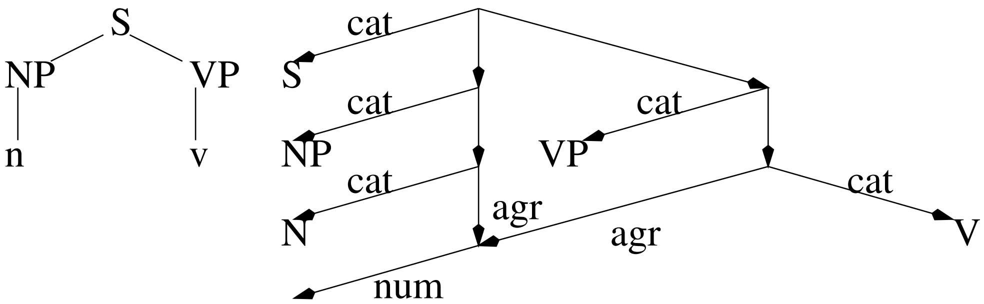


Abbildung 2.1: Ein elementarer Baum und die zugehörige Merkmalsstruktur

Dieses Beispiel zeigt, daß Ungleichheit der Übereinstimmungsmerkmale der Knoten n und v bei lexikalischer Einfügung erkannt wird (vor dem Benutzen in einer Ableitung). Beim Ableiten des Satzes

The man who eats sleep

muß man nicht erst die Adjunktion eines Relativsatz-Auxiliarbaumes versuchen. In einem CFG-basierten Unifikationssystem erkennt man das erst nach der kompletten Ableitung (weil der oberste Knoten S der erste gemeinsame Vorfahre der beiden Knoten ist).

2.4.2 Generelles Schema

Jeder Knoten in einem elementaren Baum ist mit den anderen Knoten im elementaren Baum auf zwei Arten verbunden, die die Merkmale des Knotens beeinflußen. Attribut-Wert- oder Merkmal-Wert-Ausdrücke (feature-value statements - F-V statements) über einen Knoten können gemacht werden basierend auf:

1. der Beziehung zu seinen Geschwistern und dem Vorfahr, d.h. der Sicht auf den Knoten von oben. Dieser F-V Ausdruck sei t.

2. der Beziehung zu seinen Nachkommen, d.h. die Sicht von unten. Dieser F-V Ausdruck sei b.

Wichtig hierbei ist, daß beide F-V Ausdrücke, t und b, für den Knoten gelten. Normalerweise würde man jetzt eine Vermischung (d.h. Unifikation) der beiden Ausdrücke erwarten. Wenn man aber jetzt adjungiert, gibt es nicht länger einen einzelnen Knoten; da t eine Ansicht von oben ist, muß es nun ein Ausdruck sein, der für die Wurzel des Auxiliarbaums gilt. Entsprechend ist b nun ein Ausdruck über den Fußknoten des Auxiliarbaumes, der hier adjungiert wird. Man kann sagen, daß diese Art der Assoziation zweier Ausdrücke mit einem Knoten im Auxiliarbaum 'im Geiste' von TAGs geschieht, und zwar wegen der OA-Beschränkungen in TAGs. Ein Knoten mit OA-Beschränkungen *kann nicht* als einzelner Knoten betrachtet werden sondern muß als etwas durch einen Auxiliarbaum zu ersetzendes gesehen werden. t und b sind Beschränkungen bzgl. des an den Knoten zu adjungierenden Baumes. Aber Achtung, wenn der Knoten keine OA-Beschränkung hat, sollten t und b kompatibel sein, da der Knoten im schlußendlichen Satzbaum dann ein einzelner Knoten bleibt. Allgemein kann man mit jedem nichtterminalen Knoten n (hier kann also evtl. adjungiert werden) zwei F-V Ausdrücke t_n und b_n assoziieren. Mit terminalen Knoten wird jeweils nur ein F-V Ausdruck assoziiert, der bei der lexikalischen Einfügung mit dem F-V Ausdruck des lexikalischen Items unifiziert wird.

Nun der Fall, wenn Adjunktion stattfindet wie in 2.2. An jeden Knoten werden die zugehörigen t- und b-Ausdrücke geschrieben. Wenn adjungiert wird, wird t_n mit t_{root} und b_n mit b_{foot} unifiziert, und das ist nur erlaubt, wenn t_{root} und t_n bzw. b_{foot} und b_n kompatibel sind. Wenn an n nicht adjungiert wird, wird t_n mit b_n unifiziert.

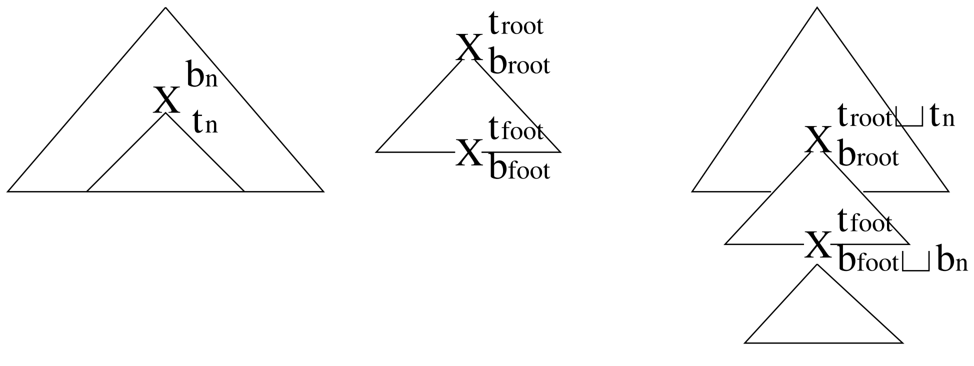


Abbildung 2.2: Merkmalsstrukturen und Adjunktion

Ein konkretes Beispiel eines Initialbaumes und eines Auxiliarbaumes, auf das noch bei Beispielen zu FTAG Bezug genommen wird, ist in Abbildung 2.3 zu sehen.

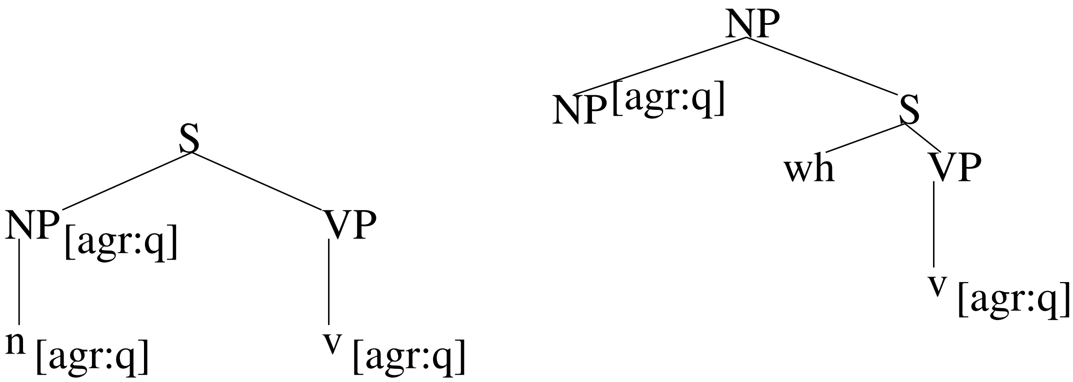


Abbildung 2.3: Beispiel für mit Merkmalsstrukturen assoziierte elementare Bäume

2.4.3 Adjungieren und Anwenden von Funktionen

Die elementare Merkmalsstruktur zu jedem elementaren Baum kodiert bestimmte Beziehungen zwischen den Knoten, unter anderen die Geschwister- und die Vorfahre/Nachkomme-Relation, kurz gesagt die Struktur des Baums. Das heißt, daß die Merkmalsstruktur jedes Knotens den Unterbaum darunter kodiert. $i \in N$ bedeutet dabei das i^{te} Kind eines Knotens.

Betrachtet man die Adjunktionssequenz in 2.2, sieht man, daß die Merkmalsstruktur, die mit dem Knoten assoziiert ist, an dem adjungiert wird, die Merkmalsstruktur sowohl nach als auch ohne Adjunktion (wenn keine OA-Beschränkung) widerspiegeln sollte. Weiter ist die Merkmalsstruktur (entsprechend der Struktur des Baumes unter ihr),die mit dem Fußknoten assoziiert ist, nicht bekannt, wird aber bei der Adjunktion spezifiziert. Damit nimmt man also an, daß die untere Merkmalsstruktur, die mit dem Fußknoten assoziiert ist, b_{foot} zusammen mit einer Merkmalsstruktur für den schließlich unter diesem Knoten erscheinenden Baum ist. Da dies momentan (vor der Adjunktion) unbekannt ist, ist diese Merkmalsstruktur eine Variable, die bei der Adjunktion instantiiert wird. Das heißt aber, daß man sich Auxiliarbäume als Funktionen auf Merkmalsstrukturen vorstellen kann. Adjunktion ist dann das Anwenden dieser Funktion auf die Merkmalsstruktur zu dem Unterbaum unter dem Adjunktionsknoten.

2.4.4 Unifikation und Beschränkungen

Weil es linguistische Gründe gibt, die bestimmen, warum einige Auxiliarbäume an einen Baum adjungiert werden können und einige andere nicht, oder warum einige Knoten OA-Beschränkungen haben, wäre es praktisch, diese Beschränkungen in den F-V-Ausdrücken auszudrücken. Dann müßte man lokale Beschränkungen (da sie jetzt ausgedrückt werden) nicht mehr erwähnen.

Nun wird das Ausdrücken von lokalen Beschränkungen als F-V-Ausdrücke in FTAG betrachtet. In Abbildung 2.2 müssen wie gesagt t_n und t_{root} und b_n und b_{foot} kompatibel sein damit adjungiert werden kann. Es soll erreicht werden, Merkmalswerte für die t, b Ausdrücke anzugeben, die die lokalen Beschränkungen so spezifizieren, daß

1. wenn ein Auxiliarbaum nicht an einen Knoten adjungierbar ist (wegen seiner SA-Beschränkung) dann scheitert eine dabei nötige Unifikation (t_n mit t_{root} oder b_n mit b_{foot}) beim Adjunktionsversuch, und

2. wenn ein Knoten eine OA-Beschränkung hat, an diesem Knoten auch ein passender Auxiliarbaum adjungiert wird

OA-Beschränkungen

Es kann mehrere Gründe geben, warum Knoten OA-Beschränkungen haben, diese müssen alle durch individuelle F-V-Ausdrücke genannt werden.

Wenn an einem Knoten nichts adjungiert wird, müssen wie gesagt seine t und b-Ausdrücke kompatibel sein (Sicht von 'oben' dann gleich Sicht von 'unten'). Dann sind diese Ausdrücke aber unifizierbar. Hat ein Knoten also OA-Beschränkungen, dann ist der einzige Weg, Adjunktion sicherzustellen, daß t und b inkompatibel sind. Dazu müssen t und b mindestens ein gemeinsames Attribut mit unterschiedlichen Werten haben.

Dazu nun ein in Abbildung 2.4 illustriertes Beispiel für die Realisierung von OA-Beschränkungen in FTAG. Der mit $*$ markierte Knoten hat eine OA-Beschränkung, weil dort Adjunktion mit einer negierten Frage erwartet wird. Deshalb ist in der Sicht von 'unten' der Satzunterbaum (entsprechend *John saw*) nicht invertiert. Das ist naiv implementierbar durch den Gebrauch eines Attributs *inverted*, das Werte $+, -$ annehmen kann. Der b-Ausdruck für diesen Knoten behauptet, daß *inverted:* -. Von 'oben' gesehen erwartet man eine invertierte Satzkomponente. Daher behauptet der t-Ausdruck, daß *inverted:* $+$. Versucht man nun, die t- und b-Ausdrücke zu unifizieren, scheitert das, weil die Werte des Merkmals *inverted* unterschiedlich sind. Also weiß man nun, daß für diesen Knoten Adjunktion vorgeschrieben ist. Im Auxiliarbaum weiß man, daß t_{root} *inverted:* + und b_{foot} *inverted:* - sein müssen. Damit sieht man, daß Adjunktion erlaubt ist wie gewünscht.

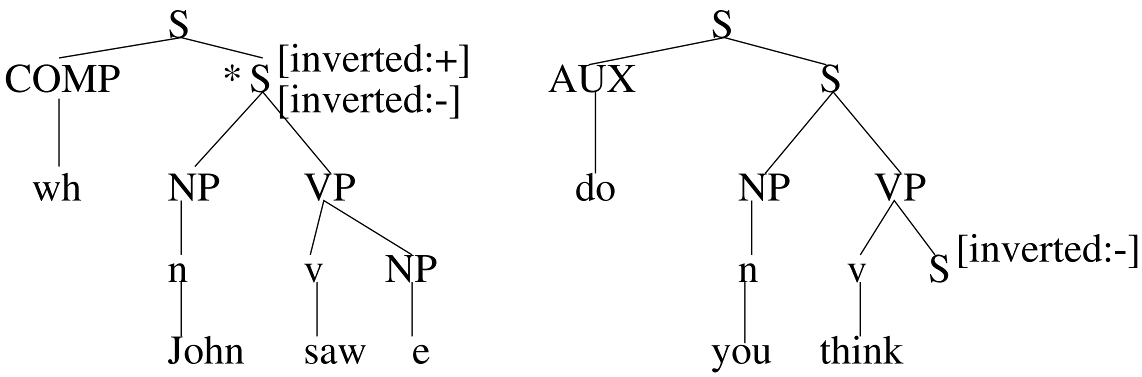


Abbildung 2.4: Illustration der Realisierung von OA-Beschränkungen

SA-Beschränkungen

Adjunktion an einem Knoten n versuchen entspricht dem Versuch, t_n mit t_{root} und b_n mit b_{foot} zu unifizieren. Das bedeutet, daß diese F-V-Ausdrücke das Adjungieren einschränken. SA-Beschränkungen werden durch passende Spezifikation dieser Ausdrücke implementiert, so daß ein nicht durch die SA-Beschränkung zugelassener Auxiliarbaum nicht adjungiert werden kann. Das zugehörige Beispiel zeigt die Implementation von OA- und SA-Beschränkungen. Die Sicht von unten auf den Wurzelknoten legt nahe, daß der b-Ausdruck für diesen Knoten annimmt, daß der Wert des *tense*-Attributs - ist. Dagegen sollte der t-Ausdruck *tense:* + behaupten (jeder ganze Satz hat eine Zeitform). Daher wird ein Auxiliarbaum, dessen Wurzelknoten einem gezeiteten Satz entspricht und dessen Fußknoten einen ungezeiteten Satz dominiert, an diesen Knoten adjungiert. Also können nur jene Auxiliarbäume, deren Hauptverb einen ungezeiteten Satz (oder einen Infinitiv-Nebensatz) subkategorisiert, an den Wurzelknoten dieses Initialbaums adjungiert werden.

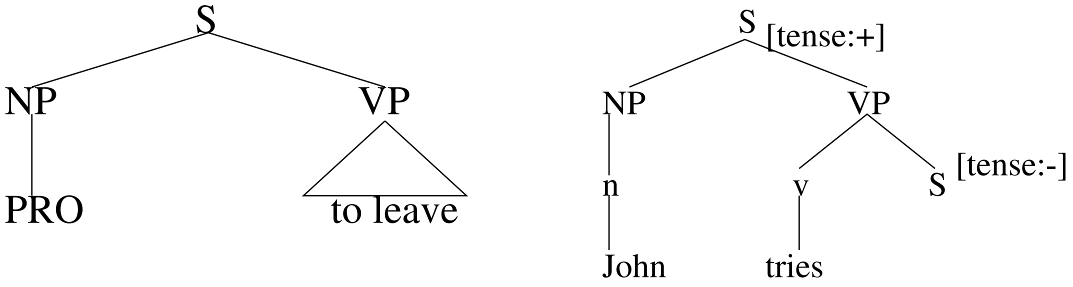


Abbildung 2.5: Illustration der Realisierung von SA-Beschränkungen

NA-Beschränkungen

NA-Beschränkungen sind nur ein Spezialfall von SA-Beschränkungen und können daher im allgemeinen wie SA-Beschränkungen behandelt werden. Dazu ist aber zu sagen, daß in 2.5.1 eine linguistische Bedingung in TAGs besprochen wird, die besagt, daß nur die Fußknoten von Auxiliarbäumen NA-Beschränkungen haben und das weiter sogar alle Fußknoten NA-Beschränkungen haben. Eine Art, dies zu realisieren, besteht darin, es in die Definition von FTAG aufzunehmen anstatt die Beschränkungen (über die Merkmale) zu jedem Fußknoten individuell zu äußern. Also gehört zum Fußknoten jedes Auxiliarbaums nur ein F-V-Ausdruck t_{foot}. Um diese Bedingung zu erfassen, muß die Definition des Systems passend geändert werden. Bei Adjunktion an einem Knoten n wird t_n mit t_{root} unifiziert wie zuvor, b_n wird nun aber mit t_{foot} unifiziert. Diese Vorgehensweise ist konsistent mit dem 'Geiste' des Einsatzes von TAGs, da der Formalismus selbst die linguistische Bedingung enthält und man nie die NA-Beschränkungen ausdrücken muß. Genauere Rechtfertigung dieser linguistischen Bedingung folgt in 2.5.1.

Bemerkungen zur Implementation von Beschränkungen in FTAG

In der Spezifikation von Beschränkungen gibt es einige Unterschiede zwischen TAGs und FTAGs. In einer TAG spezifizieren die lokalen Beschränkungen eine *endliche* Anzahl von an einen Knoten adjungierbaren Bäumen. Diese Beschränkungen sind vorspezifiziert und werden nicht dynamisch instantiiert. In einer FTAG ist die Implementation der Beschränkung von Adjunktionen ziemlich anders, die Beschränkungen werden dynamisch instantiiert und sind nicht vorspezifiziert wie in einer TAG. Das kann für eine 'ökonomische' Grammatikspezifikation vorteilhaft sein. Nun zwei Beispiele mit ihrer Implementation in einer TAG bzw. FTAG.

Im ersten Beispiel werden Sätze wie

What do you think Mary thought John saw

betrachtet.

In einer TAG muß man nun einige Auxiliarbaume replizieren. Da der Zwischensatz *what Mary thought John saw* (β_1) kein kompletter Satz ist, muß man OA-Beschränkungen an der Wurzel von β_1 einsetzen. Für diesen Baum sollten aber keine OA-Beschränkungen bestehen, wenn er in einem anderen Kontext benutzt wird, beispielsweise in der Ableitung von

Mary thought John saw Peter

Also benötigt man einen weiteren Auxiliarbaum mit der genau gleichen Struktur wie β_1 außer den Beschränkungen am Wurzelknoten. Hier kann man jetzt die dynamische Instantiierung von Beschränkungen ausnutzen und β_1 nur einmal spezifizieren. Bei der Ableitung von

What do you think Mary thought John saw

erbt der Knoten t_{root} das Merkmal *inverted:* +, das er sonst nicht hat, und b_{root} erbt das Merkmal *inverted:* -. Das bedeutet, daß dieser Knoten durch die dynamische Instantiierung eine OA-Beschränkung erhält. Hingegen gibt es in den Knoten des finalen Baumes zu

What do you think Mary thought John saw.
keine OA-Beschränkungen. Außerdem erhält die Wurzel des Auxiliarbaumes zu *Mary thought S* keine OA-Beschränkungen, wenn dieser Baum in der Ableitung des Satzes
Mary thought John saw Peter.
benutzt wird.

Das zweite Beispiel verdeutlicht den Fall, wo lexikalische Einfügung die Beschränkungen instantiiert. Elementare Bäume, die einen Unterbaum haben, in dem ein NP-Knoten einen N-Knoten dominiert, dürfen keine Adjunktion von Relativsätzen an den NP-Knoten zulassen, wenn ein Pronomen lexikalisch am N-Knoten eingefügt ist, müssen aber Adjunktion eines Plural-Substantivs oder eines Passenden Namens erlauben. Um das in einer TAG zu implementieren, braucht man zwei Kopien des Baumes für die beiden Möglichkeiten, während das in einer FTAG ohne eine Duplizierung in der Spezifikation geht.

2.4.5 Nichtentscheidbarkeit von FTAG

Der Beweis der Nichtentscheidbarkeit von FTAGs benutzt die Nichtentscheidbarkeit von Functional Unifikation Grammars (FUGs) (gezeigt durch Zurückführen auf das Halteproblem).

Die logische Formulierung von FUGs hat zusätzlich zur Rounds-Kasper-Logik die Klausel der folgenden Form:

$$\psi mit[X_1 ::= \phi_1, ..., X_n ::= \phi_n]$$

wobei die X_i als typisierte Variablen bezeichnet werden. Typisierte Variablen werden zur Erfassung von Rekursion in Grammatiken eingeführt. Dazu folgende Beispielformel:

$$Smit$$
$$S ::= (1 : a \wedge 2 : S) \vee (1 : b \wedge 2 : T)$$
$$S ::= (1 : b \wedge 2 : S) \vee (1 : a \wedge 2 : T)$$

Diese Formel erfaßt die folgenden Produktionen:

$$S \rightarrow aS|bT$$
$$T \rightarrow bS|aT$$

Jede Formel in dieser Logik läßt sich in der bisher hier entwickelten Logik ausdrücken. Alle Klauseln bleiben gleich, außer denen die Typvariablen verwenden. Wo immer eine Typvariable X erscheint, wird sie durch X' (nil) ersetzt. Wenn also eine Teilformel die Typvariable X als $X ::= \phi$ definiert, wird die Typvariable X durch eine Funktion X' ersetzt, die als $X' = \lambda f(f \wedge \phi')$ geschrieben wird, wobei ϕ' aus ϕ durch das Ersetzen jeder Typvariablen Y in ϕ durch Y' (nil). Da $\psi \wedge nil \Leftrightarrow \psi$, ist dies eine Kodierung einer Formel in FUG in der bisher entwickelten Logik. Da die Erfüllbarkeit von FUGs nicht entscheidbar ist, ist auch für die hier entwickelte Logik die Erfüllbarkeit nicht entscheidbar.

2.5 Eingeschränkte Benutzung des merkmalsbasierten Systems

Es gibt mehrere Wege, die Mächtigkeit einer FTAG einzuschränken (GPSGs etwa begrenzen das Wachstum der Merkmalsstrukturen in einer Ableitung). Man betrachtet nun eine eingeschränkte Version von FTAG, unter der Annahme, daß eine TAG mit ihrer größeren Lokalitätsdomäne kein merkmalsbasiertes Unifikationssystem in seiner ganzen Pracht braucht. In diesem eingeschränkten System (im weiteren RFTAG genannt) sind die t- und b F-V-Ausdrücke keine rekursiven Strukturen. Diese Einschränkung ist vergleichbar zu der bei GPSGs gemachten. Man besteht also darauf, daß kein F-V-Ausdruck Pfade mit Rekursion von Beschriftungen erlaubt, d.h. Pfade der Form $...l : ...l : ...$. Außerdem ist die Kardinalität der Menge der Atome, C, endlich. Deswegen kann das*subject* Attribut in diesen F-V-Ausdrücken nicht benutzt werden, weil der Wert dieses Attributs die Merkmalsstruktur des ganzen *subject* NP-Baums ist und daher in seiner Größe nicht beschränkt ist. Merkmalsstrukturen entsprechen der Gleichung $F = (L \rightarrow F) + C$, wobei C die Menge der atomaren Werte und L die Menge der Beschriftungen (oder Attribute) ist. Man kann Merkmalsstrukturen aber noch genauer charakterisieren. Zum Beispiel enthält eine Merkmalsstruktur $number : \phi$ die Information, daß ϕ ein Wert aus der Menge $singular, plural \subset C$ ist. Analog kann in der Merkmalsstruktur $agr : \phi\ \phi$ nur bestimmte Werte entsprechend den Attributen *number, person, sex* annehmen. Daher wäre eine genauere Gleichung für Merkmalsstrukturen

$$F = (L_R \rightarrow F) + F_n + ... + F_1 + F_0; einigen$$

$$F_i = L_i \rightarrow F_{i-1}; 1 \leq i \leq n$$

$$F_0 = C; atomareWerte$$

Beispiele für L_1 sind *number, person,...*, ein Beispiel für L_2 ist das Attribut *agr* und Beispiele für L_R sind *subject, subcat, 1, 2,...*. Das entspricht der Angabe einer Typisierung für Merkmalsstrukturen, wobei die Merkmalsstruktur zu $L_R \rightarrow F$ vom rekursiven Typ ist und $F_i = L_i \rightarrow F_{i-1}$ vom nichtrekursiven Typ ist. In RFTAG erlaubt man Unifikation von Merkmalsstrukturen vom nichtrekursiven Typ (auch: "vom endlichen Typ"). Das ist deswegen eine Einschränkung, weil die Unifikation von nichtrekursiven Merkmalsstrukturen wieder eine nichtrekursive Merkmalsstruktur ergibt.

2.5.1 Ein eingeschränktes System

Im folgenden wird die für RFTAGs benutzte Notation beschrieben. Wie bisher werden die t- und b-Ausdrücke mit der Matrix-Notation des PATR-II-Systems an die Knoten geschrieben. Der b-Ausdruck ist jedoch wegen der Berücksichtigung der Attribute $1, 2, ...$ nicht von endlichem Typ. Da die Werte dieser Attribute aus der Baumstruktur ersichtlich sind, müssen sie nicht noch einmal hingeschrieben werden. Unter Weglassung der Attribute, die rekursive Strukturen als Werte haben, schreibt man endliche Merkmalsstrukturen *l* (lower, von unten gesehen) und *u* (upper, von oben gesehen)an jeden Knoten. Bei Adjunktion wird dann u_{root} mit u_n und l_{foot} mit l_n unifiziert. So muß man nie die Merkmalsstrukturen ändern, die die Werte der Attribute 1, 2, usw. darstellen. Alle bisherigen Beispiele fallen unter den eingeschränkten Fall.

Das so entstandene System, RFTAG, ist offensichtlich entscheidbar. Da C und L endlich sind, kann man zu jeder *l*- und *u*-Merkmalsstruktur alle möglichen Strukturen herausfinden, die aus ihnen nach Unifikation während einer Ableitung entstehen können. Durch Ausmultiplizieren der verschiedenen Möglichkeiten für jede benutzte Merkmalsstruktur erhält man so viele Bäume wie benötigt. Wenn man die Beschränkungen passend zuweist, erhält man eine äquivalente TAG.

Betrachtung der Einschränkungen in RFTAG

RFTAGs sind so definiert, daß sie in ihrer Art der Beschreibung der Syntax natürlicher Sprachen den TAGs sehr nahe stehen. Dadurch, daß man nur Merkmalsstrukturen vom endlichen Typ unifizieren kann, betrachtet man nur endlich viele zur Adjunktion an einen Knoten geeignete Bäume. Damit könnte man sich RFTAGs auch als eine Neuformulierung der lokalen Beschränkungen in TAGs vorstellen. Wie bei TAGs ist die in einem elementaren Baum enthaltene Information begrenzt und endlich, und daher beschreiben die Merkmalsstrukturen und deren Unifikation, genau wie die lokalen Beschränkungen bei TAGs, nur endlich viele Informationen über die an einem Knoten adjungierbaren Bäume. Wie schon gesehen vergrößert die in RFTAGs benutzte Terminologie die Fähigkeit zum Machen linguistischer Aussagen in einer Grammatikbeschreibung. Die lokalen Beschränkungen sind dann eher eine Konsequenz dieser Aussagen als Notationen, deren Gebrauch nicht selbsterklärend ist (wie SA- und OA-Beschränkungen). Außerdem können die Merkmalsstrukturen in RFTAGs zur Beschreibung der grammatischen Beziehungen benutzt werden, die innerhalb der elementaren Bäume lokalisiert sind.

Rekursive Merkmalsstrukturen wurden beispielsweise in einer Analyse der Koordinierung im Holländischen verwendet (Bresnan, Kaplan, Peters, & Zaenen, 1982). Dabei wurde in einer LFG Unifikation von unbegrenzten Merkmalsstrukturen zur Kodierung ganzer Ableitungen benutzt. Das ist nötig, wenn beliebige Anzahlen von n-Tupeln abhängiger Elemente in verschiedenen Verzweigungen eines Baumes liegen, wie beipielsweise in 2.6.

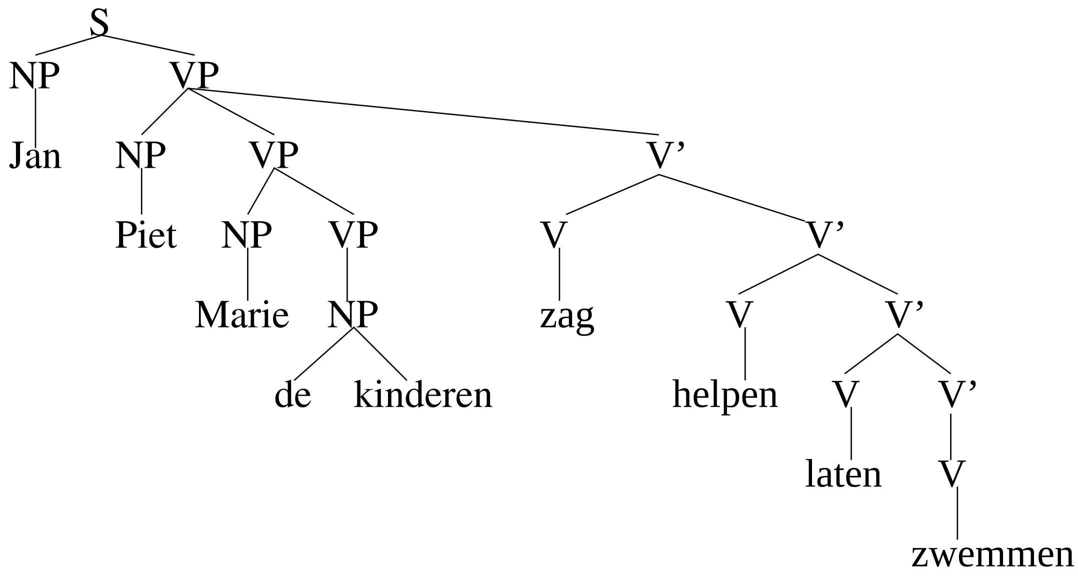


Abbildung 2.6: Koordinierung im Holländischen

Die Zulassung rekursiver Typen steigert zwar drastisch die Mächtigkeit des Systems, führt aber auch (prinzipiell) zur Nichtendscheidbarkeit.

Rekursive Merkmalsstrukturen wurden auch zur Erfassung der Subkategorisierung benutzt, und zwar durch Merkmalsstrukturen, die sich wie Stacks verhalten (und daher unbegrenzt groß sein können. Der Stack-Mechanismus für Subkategerosierung wird vom TAG-Formalismus selber geliefert, denn Baum-Mengen, die durch TAGs generiert werden, haben kontextfreie Pfade (die Pfade in CFGs sind regulär).

Ein Nachteil von RFTAGs ist die Endlichkeit der Menge der Atome. Dadurch ist es nicht möglich, die Ko-Indizierung von NPs auszudrücken, da das eine unendliche Anzahl von Indizes erfordert.

Einige mögliche Bedingungen in RFTAG

Es wurde gesagt, daß die b-Merkmalsstruktur eine Aussage üebr einen von 'unten' gesehenen Knoten ist. Aus Konsistenzgründen müßte der b-Ausdruck für den Fußknoten eines Auxiliarbaumes deshalb leer sein. Diese Bedingung sollte erst in die Definition von RFTAG gelangen, wenn man sich ihrer linguistischen Ergebnisse sicher ist, es ändert aber die Implementation des Formalismus nicht wesentlich.

Die aktuelle linguistische Theorie hinter TAGs sagt, daß jeder Fußknoten eine NA-Beschränkung hat. Es ist reizvoll, zu sagen, daß das Adjungieren die grammatischen Beziehungen, die durch die Zwischen-Baumstrukturen definiert werden, nicht ändert. Ein Beispiel dafür ist die Ableitung 1.8 des Satzes

Mary thought John saw Bill hit Jill.

Wenn die Ableitung den Zwischenbaum zu *Mary thought Bill hit Jill* ergibt, dann würde man erwarten, die Beziehung zu Mary zu erhalten, die “Bill hit Jill” denkt. Diese Beziehung wird durch die Adjunktion an den Knoten, der dem Fußknoten des Auxiliarbaums zu *Mary thought S* entspricht, verändert.

Will man diese Bedingung implementieren, ist eine mögliche Lösung, darauf zu bestehen, daß nur ein F-V-Ausdruck mit dem Fußknoten geäußert wird, z.B. die Kombination von t_{foot} und b_{foot}. Die Definition der Adjunktion kann man passend ändern.

Kapitel 3

Ein konkretes System - XTAG

3.1 Bestimmungswörter und NPs

In der XTAG-Grammatik für Englisch gibt es zwei Arten NPs: solche, die Bestimmungssätze (Determiner Phrases, kurz DetP) zulassen (oder erfordern) und solche, die das nicht tun. Substantive, die Bestimmungswörter zulassen (oder benötigen), haben einen Substitutionsplatz (d.h. Produktionsregel) für eine DetP. Komplexe RetPs werden durch Aneinanderadjungieren von Bestimmungswörtern erzeugt. Es gibt zwei Arten von Bestimmer-Bäumen, initiale und auxiliare. Abbildung 3.1 zeigt den initialen und den auxiliaren Baum zu *these*. Da jedes einzelne Bestimmungswort als komplette DetP dienen kann, wählt jedes Bestimmungswort den Initialbaum (a), Bestimmunsgwörter, die andere Bestimmunsgwörter modifizieren können, wählen außerdem den Auxiliarbaum (b).

In XTAG sind die Merkmale entscheidend, um die Bestimmungswörter korrekt zu ordnen. Dazu sind acht Merkmale nötig: **Eindeutigkeit (definiteness), Quantität (quantity) , Kardinalität (cardinality), Genitiv (genitive), abnehmend (decreasing), Konstanz (constancy), wh (what, why, where....) und Übereinstimmung (agreement)**.
Die semantischen Definitionen dafür sind wie folgt:

- Eindeutigkeit: mögliche Werte [+/-]
  Funktion f ist eindeutig gdw. f ist nichttrivial und wenn $f(s) \neq 0$, dann ist es immer der Schnitt von einem oder mehr Individuen (Kennan & Stavi, 1986).

- Quantität: mögliche Werte [+/-]
  Wenn A und B Mengen sind, die jeweils eine NP und assoziierte Prädikate bezeichnen: E ist eine Domäne in einem Modell M, F ist Bijektion von M_1 nach M_2, dann erfüllt ein Bestimmungswort die Quantitätsbeschränkung, wenn Det_{E_1}AB $\leftrightarrow$ Det_{E_2}F(A)F(B) (Partee & Wall, 1990).

- Kardinalität: mögliche Werte [+/-]
  Ein Bestimmungswort D ist kardinal gdw. D $\in$ Kardinalzahlen ≥ 1

- Genitiv: mögliche Werte [+/-]
  Possesivpronomen und das Possesivmorphem ('s) werden mit **gen+** markiert, alle anderen Substantive mit **gen-**.

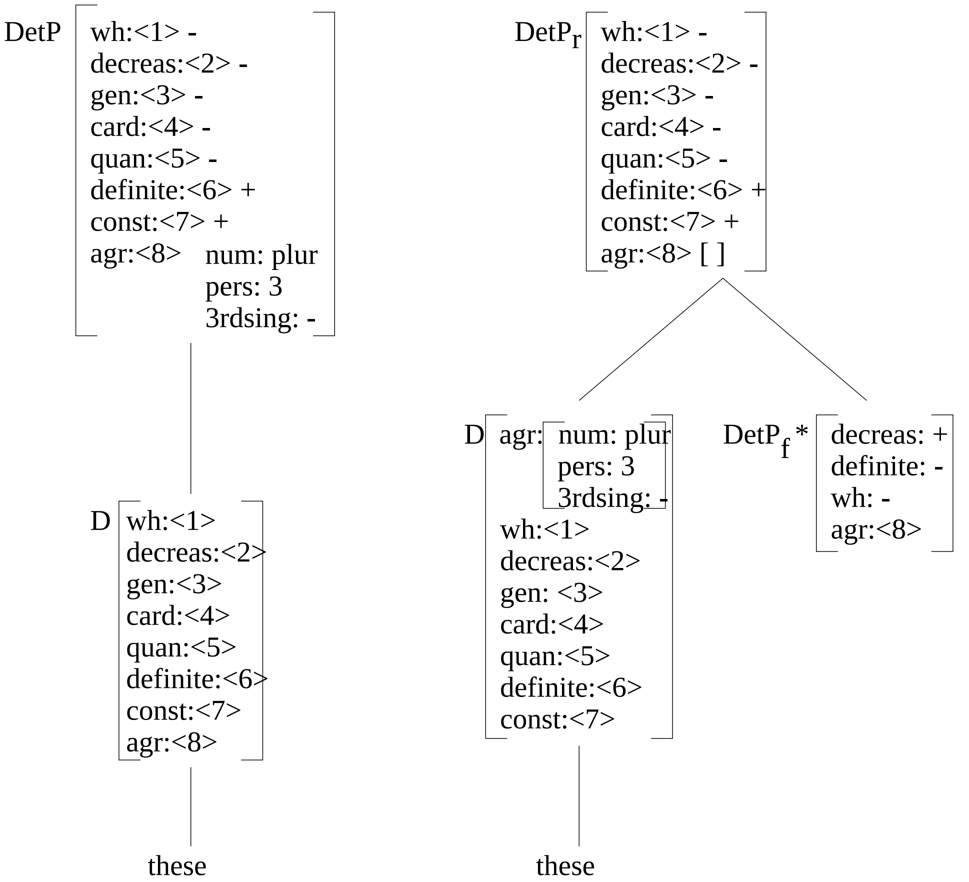
- abnehmend: mögliche Werte [+/-]
  Eine Menge von Q Eigenschaften ist abnehmend gdw. für alle s $\leq$ t und t $\in$ Q auch s $\in$ Q. Eine Funktion f ist abnehmend gdw. f(s) für alle Eigenschaften eine abnehmende Menge

ist. Eine nichttriviale NP (mit einem Det-Knoten) ist abnehmend gdw. ihre Bezeichnung in jedem Modell abnehmend ist

- Konstanz: mögliche Werte [+/-]
  Wenn A und B Mengen sind, die eine NP und das assoziierte Prädikat bezeichnen und wenn E eine Domäne ist, dann sagt man, daß ein Bestimmungswort Konstanz zeigt, wenn: $(A \cup B) \subseteq E \subseteq E'$ dann $Det_E AB \leftrightarrow Det_{E'} AB$ (Partee & Wall, 1990)

- Wh: mögliche Werte [+/-]
  Fragende Bestimmungswörter sind **wh+**, alle anderen Bestimmungswörter sind **wh-**.

- Übereinstimmung: mögliche Werte [3sg, 3pl, 3sgpl]
  Im Englischen gibt es keine morphologische Markierung der Bestimmungswörter für Kasus, Geschlecht oder Anzahl, die meisten sind wohl semantisch für Anzahl markiert.



(a) (b)

Abbildung 3.1: Bestimmer-Bäume mit Merkmalen: αDXD (a) und βDdx (b)

Det	defin	quan	card	gen	wh	decreas	const	agr
all	+	+	-	-	-	-	+	3pl
this	+	-	-	-	-	-	+	3sg
that	+	-	-	-	-	-	+	3sg
what	+	-	-	-	+	-	+	3sgpl
the	+	-	-	-	-	-	+	3sgpl
every	+	+	-	-	-	-	+	3sg
each	+	+	-	-	-	-	+	3sg
any	-	+	-	-	-	-	+	3sg
a	-	+	-	-	-	-	+	3sg
no	+	+	-	-	-	-	+	3sgpl
few	-	+	-	-	-	+	-	3pl
many	-	+	-	-	-	-	-	3pl
GEN	+	-	-	+	-	-	+	
CARD	+	+	+	-	-	-	+	3pl
PART	-		-	-	-	-	+	

Tabelle 3.1: Merkmalswerte für verschiedene Bestimmungswörtern

Außer den Merkmalen, die ihre eigenen Eigenschaften repräsentieren, haben Bestimmungswörter, die den Auxiliarbaum auswählen, Merkmale, die die Selektionsrestriktionen, die sie repräsentieren, auf die von ihnen modifizierten Bestimmungswörter anwenden. Diese Selektionsrestriktions-Merkmale eines Bestimmungswortes erscheinen am DetP-Fußknoten des Auxiliarbaumes den das Bestimmungswort verankert. Der $DetP_f$-Knoten in Abbildung 3.1 (b) zeigt die selektiven Merkmalsrestriktionen von *these*. Die folgende Tabelle zeigt entprechende selektive Merkmalsrestriktionen mehrerer anderer Bestimmungswörter.

Det	defin	quan	card	gen	wh	decreas	const	agr
all	+	-	-,+		-			
this	-		+		-	+		
that	-		+		-	+		
what	-		+		-	+		
the	-		+		-		-	
every	-		+		-	+		
each	-		+		-	+		
any	-		+		-	+		
a	-				-	+		
many	nur Substantive	n.S.	n.S.	n.S.	n.S.	n.S.	n.S.	n.S.
no	nur Substantive	n.S.	n.S.	n.S.	n.S.	n.S.	n.S.	n.S.
GEN	nur Substantive	n.S.	n.S.	n.S.	n.S.	n.S.	n.S.	n.S.
CARD	nur Substantive	n.S.	n.S.	n.S.	n.S.	n.S.	n.S.	n.S.
PART					-			

Tabelle 3.2: Selektionsrestriktionen durch Bestimmungswörter

3.1.1 Wh- und Übereinstimmungsmerkmale

Ein Bestimmungswort mit $< wh >= +$ Merkmal steht immer am weitesten links, da daran keine weiteren Bestimmungswörter adjungiert werden können, und die ganze NP wird dadurch wh+. Das $< agr >$-Merkmal wird anders behandelt als die anderen Merkmale. In Abbildung 3.1 (b) ist $< agr >$ das einzige Merkmal, das nicht direkt vom Knoten D an die Wurzel DetP weitergegeben wird, sondern vom Fußknoten DetP an die Wurzel DetP. $< agr >$ wird generell vom am weitesten rechts stehenden Bestimmungswort (d.h. dem am nächsten zum Substantiv) propagiert, obwohl einige adjungierbare Bestimmungswörter auch zu dem zu $< agr >$ gehörenden passen müssen. XTAG unterscheidet das durch den lexikalischen Eintrag zu jedem Bestimmungswort, wo steht, ob sein $< agr >$-Merkmal zur Wurzel DetP propagiert wird oder nicht.

3.1.2 Genitiv-Konstruktionen

Es gibt zwei Arten Genitiv-Konstruktionen, Genitivpronomen und Genitiv-NPs (diese haben eine explizite Markierung, 's). An *her favorite artist prefers oils* gegenüber * *favorite artist prefers oils* sieht man, daß Genitiv-Pronomen auch als Bestimmungswörter dienen. Die Merkmale sind die selben wie bei anderen Bestimmungswörtern, nur $< agr >$ wird nicht angegeben, weil Anzahl und Person des Genitiv von seiner jeweiligen Form abhängen (etwa *my* gegenüber *their*). Es ist nicht nötig, daß Genitive mit den Bestimmungswörtern oder den Substantiven, die sie modifizieren, übereinstimmen.

Genitiv-NPs sind besonders interessant, weil in ihnen potentiell Rekursion steckt. Komplexe NPs lassen sich leicht in einen Bestimmungssatz einbetten.

[[[John]'s friend from high school]'s uncle]'s mother came to town.

Daran sieht man zwei Dinge. Erstens, daß in eingebetteten NPs das Genitivmorphem immer an deren Ende steht und zweitens, daß der Bestimmer einer eingebetteten NP auch eine Genitiv-NP sein kann, und hier steckt evtl. die Rekursion.

In XTAG ist die Genitiv-Markierung 's von den zugehörigen lexikalischen Item getrennt und hat seine eigene Kategorie (G). Das erlaubt, die volle Komplexität der NPs zuzulassen, inclusive der rekursiven Strukturen.

3.1.3 Partitiv-Konstruktionen

Partitiv-Konstruktionen (etwa *some kind of, all of*) sind ein weiterer Typ komplexer Bestimmer, die mit anderen Bestimmern interagieren. Sie können sowohl das Substantiv selbst (*[a certain kind of] machine*) als auch andere Bestimmer modifizieren (*[some parts of] these machines*). Die zugehörigen initial- und Auxiliarbäume sind an *of* verankert.

3.1.4 Bestimmungsadverben

Auch einige Adverben interagieren mit NPs und anderen Bestimmern, wie z.B.

Hardly any attempt was made at restitution.

Only Albert would say such a thing.

Almost all the people had left by 5pm.

Adverbien mit Bestimmerbedeutung werden in drei Klassen aufgeteilt. *especially, even, just, only* können jede **wh-** NP und passende Substantive modifizieren. *hardly, merely, simply,...* modifizieren NPs mit **definite-** und **const+** oder mit **gen+**, aber auch NPs mit *the*. NPs ohne Bestimmer werden von ihnen nicht modifiziert. *almost, approximately, relatively,...* modifizieren den Bestimmer selbst, wobei sie dabei auf solche mit **card+** und *all, double, half* beschränkt sind. Die Unterscheidung zwischen NP-Modifizierern und Bestimmer-Modifizierern zeigen z.B.

[Just] [half the people]

und

[Approximately half] [the people]

Adverbienbetrachtung ist noch nicht völlig ins Merkmalssystem integriert.

Literaturverzeichnis

Bresnan, J., Kaplan, R. M., Peters, S., & Zaenen, A. (1982). *Cross-serial dependencies in dutch.*

Joshi, A., Levy, L., & Takahashi, M. (1975). Tree adjunct grammars. *Journal of Computer and System Sciences*. (erster Artikel dieses Themengebiets)

Kennan, E. L., & Stavi, J. (1986). A semantic characterization of natural language determiners. *Linguistics and Philosophy*.

Partee, A., B.and ter Meulen, & Wall, R. (1990). *Mathematical methods in linguistics.* Kluwer Academic Publishers.

Vijay-Shanker, K. (1987). *A study of Tree Adjoining Grammars.* Unpublished doctoral dissertation, Department of Computer and Information Science, University of Pennsylvania.