

# Grundlagen der Computerlinguistik

1. Allgemeine wissenschaftstheoretische Einführung in den Problembereich des Faches
2. Umfeld und Entwicklung
3. Korpora geschriebener Sprache - Entwicklung und Kodierung
4. Einfache maschinelle Bearbeitung von Korpora - Beispiele
5. Morphologische Analyse
6. Syntaktische Analyse: Grundbegriffe
7. Syntaktische Analyse: Methoden
8. **Grammatikmodelle I**
9. Grammatikmodelle II
10. Semantik

## **Kap. 8 Grammatikmodelle I: Phrasenstrukturgrammatiken - Prozedurale Grammatiken**

Was ist ein Grammatikmodell, eine Grammatiktheorie?

Grammatiken sollen in einer formalen Sprache modelliert werden können, und zwar aus zwei Gründen:

- ! Sprachmodelle sollen exakt sein.
- ! Sprachmodelle sollen sich für maschinelle Systeme eignen.

Formale Grammatiken müssen entwickelt werden, die

- durch Parser abgearbeitet werden können und
- mächtig genug sind, die Erscheinungen der natürlichen Sprache zu beschreiben.

Warum eignet sich eine traditionelle Grammatik nicht für maschinelle Sprachanalyse?

## Beispiel:

In der Grammatik von Ulrich Engel die Beschreibung der Satzbaupläne (S 009 ff): “Die Struktur, der Bauplan des Satzes wird zu einem erheblichen Teil durch das Verb festgelegt... In der deutschen Gegenwartssprache gibt es insgesamt elf Ergänzungen zum Verb. Jede dieser Ergänzungen kann mehrere Ausdrucksformen haben ... Subjekt ... Akkusativergänzung ... Genitivergänzung ... “ usw.

Hier werden die Regeln der Grammatik verbal ausformuliert, ein Computer kann mit dieser Regelformulierung nicht arbeiten. Die Regeln müssen eindeutig und widerspruchsfrei sein. Das ist durch Formalisierung gewährleistet.

In der Linguistik erfolgte die Entwicklung formaler Grammatiken in zwei großen Linien:

! Phrasenstrukturgrammatiken

! Funktionale Grammatiken

Simon C. Dik spricht auch von zwei verschiedenen Paradig-

men:

- das formale Paradigma
- das funktionale Paradigma

In Anlehnung an die Entwicklung von Programmiersprachen kann man auch sprechen von

- **deklarativen** Grammatiken und
- **prozeduralen** Grammatiken

**Deklarative** Grammatiken korrespondieren zu **deklarativen** oder deskriptiven Programmiersprachen wie LISP oder PROLOG.

In ihnen wird das **Ziel**, also das, “was” man erreichen will, beschrieben, während der **Weg** vom Programm selbst ermittelt wird (vgl. die Darstellung eines bestimmten Wissens durch Prolog-Klauseln, aus dem die Antwort auf eine Frage abgeleitet werden kann).

**Prozedurale** Grammatiken korrespondieren zu **prozeduralen** Programmiersprachen wie FORTRAN, PASCAL.

In ihnen wird der Weg, “wie” man zu einem Ergebnis kommt, beschreiben durch eine Folge von Prozeduren oder Befehlen.

## 8.1 Kontextfreie Grammatiken

Einfachste Phrasenstrukturgrammatik:

IC-Analyse (Immediate-Constituent-Analysis; Analyse, Zerlegung in unmittelbare Konstituenten) als Voraussetzung der Generativen Grammatik.

Ableitung mittels kontextfreier Ersetzungsregeln:

$a \rightarrow a + b$

a) Strukturregeln (Grammatik, die der Segmentierungsalgorithmus kennen muß), z.B.

S ---> NP + VP

NP ---> DET + N

VP ---> V + NP

DET ---> der

DET ---> das

N ---> bäcker

N ---> brot

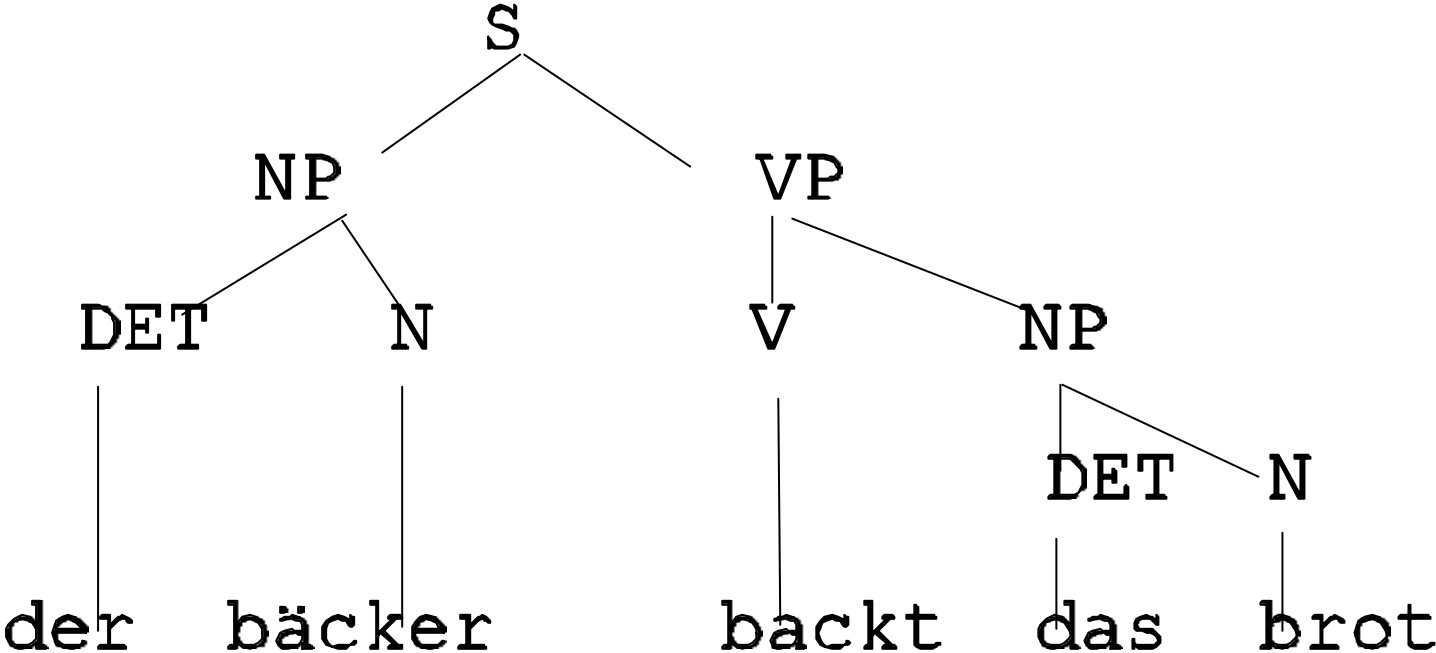
V ---> backt

b) Korpusätze, z.B.

der bäcker backt das brot.

Ergebnis der Zerlegung:

(S(NP(DET(der),N(bäcker)),VP(V(backt),NP(DET  
(das),(brot))))))



Derartige einfache IC-Grammatiken wurden als inadäquat erkannt zur Beschreibung natürlicher Sprachen, aus zwei Gründen:

1. Bestimmte Phänomene können **nur mit erheblichem Aufwand** an Regeln *kontextfrei* beschrieben werden:

- **diskontinuierliche Konstituenten**

Beispiel: mehrteilige Prädikate im Deutschen (Satzklammer):

“Peter will den Führerschein machen”.

- **Kongruenz (*agreement*):** \*der schönes Mädchen  
\*das schönen Mädchen
  
- **Zuordnung von Attributen:**  
“schöne Männer und Frauen”
  
- **Verhältnis von Sätzen zueinander**  
Aktiv-Passiv  
"Das Parlament beschließt eine neues Gesetz"  
"Ein neues Gesetz wird vom Parlament beschlossen"

## Relativanschluss:

"Das Haus des Bürgermeisters wird versteigert."

"Das Haus, das dem Bürgermeister gehört, wird versteigert".

"Meine Vorlesung wird bestreikt".

"Die Vorlesung, die ich halte ..."

2. Es gibt in einigen Sprachen auch Erscheinungen, die **vermutlich gar nicht kontextfrei** beschrieben werden können.

Beispiel aus Hauser „Foundations“, S. 182 für einen sehr komplexen Satz:

Der Mann, schläft.  
der die Frau, liebt,  
die das Kind, sieht,  
das die Katze füttert,

Da es keine grammatikbedingten Begrenzungen für die Zahl der Einbettungen gibt, ist der Satz kontextfrei ableitbar.

Wie sieht die Grammatik aus?

Wie sieht der Strukturbaum aus?

Frage: Gibt es Sprachen, in denen die Zahl der Einbettungen (oder auch z.B. bei Adjektiven die Zahl der Wiederholungen) durch bestimmte Bedingungen begrenzt ist?

In diesen Fällen müßte die Bedingung in die Regel einge-

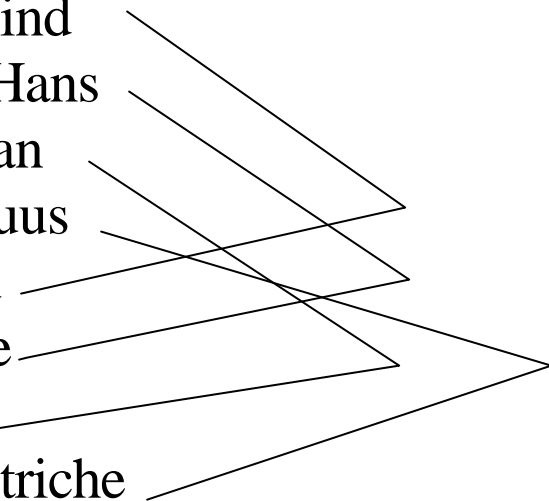
hen.

Beispiel von Hauser (nach Shieber 1985) für einen nicht kontextfrei ableitbaren Satz (auch Schröder 2003):

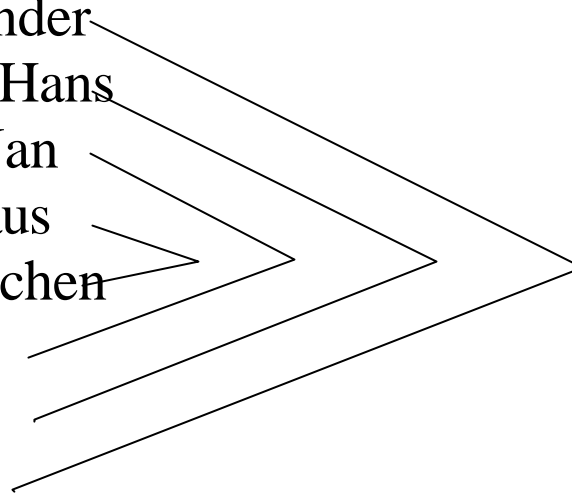
**Cross-Serial Dependencies** im Schweizerdeutschen (s. Beispiel).

Ähnliche Konstruktionen im Niederländischen und exotischeren Sprachen.

Jan säit, das mer  
d'chind  
em Hans  
de Jan  
es huus  
lönd  
hälfe  
laa  
aanstriche



Jan sagte, dass wir  
die Kinder  
(dem) Hans  
(den) Jan  
das Haus  
anstreichen  
lassen  
helfen  
ließen



Beispielsatz nur durch eine kontextsensitive Grammatik ableitbar!

Im Deutschen stehen die Nps im Dativ und Akkusativ, die als Subjekte der ACIs und DCIs fungieren, in umgekehrter Reihenfolge zu den Verben, von denen sie abhängen. Im Schweizerdeutschen ist die Reihenfolge der Nps und der Verben dieselbe.

Es ergibt sich die generelle These:

Natürliche Sprachen sind nicht vollständig kontextfrei beschreibbar.

Diese These ist umstritten, es gibt Parser, die nur mit kontextfreien Regeln arbeiten.

Aber: mit **kontextsensitiven Regeln** können bestimmte Erscheinungen natürlicher Sprachen eleganter und kürzer dargestellt werden.

Dies führte ca. 1957 dazu, formale Grammatiken nicht als kontextfreie Grammatiken anzusehen, sondern als kontext-sensitive, die darüber hinaus noch mit einem erweiterten Typ von Ersetzungsregeln, den **annotierten Regeln**, arbeiten.

Lösung der Inadäquatheit kontextfreier Grammatiken durch Noam Chomsky:

Chomsky, Noam:

Aspects of the Theory of Syntax. Cambridge, Mass. 1965. Dt. Übers.: Aspekte der Syntax-Theorie. Frankfurt 1969.

Gisbert Fanselow/Sascha W. Felix:

Sprachtheorie. Bd. 1: Grundlagen und Zielsetzungen. Bd. 2: Die Rektions- und Bindungstheorie. 2. Aufl. Tübingen 1990 (UTB)

G  
e  
n

**erativismus:** Linguistische Orientierung, die sich seit den 50er Jahren als Strömung gegen den Strukturalismus entwickelt hat. Begründer: Chomsky.

## Drei Neuerungen, durch Chomsky eingeführt:

### 1. Theorie der Generativen Grammatik

Wichtigstes Merkmal des Generativismus ist, daß ein Sprachmodell (bzw. Sprachmodelle) entwickelt werden soll, das die Fähigkeiten des Menschen beschreibt, mit begrenzten Mitteln (grammatischen Regeln und Vokabular) unbegrenzt viele sprachliche Äußerungen hervorzubringen (zu *generieren*).

2. Ein erweiterter und generalisierter Begriff der Ableitung und der Ersetzungsregel (*rewriting rule*) wird eingeführt, mit Einführung kontextsensitiver Regeln und annotierten Konstituenten und Regeln.
  
3. Ein weiterer Regeltyp, die Transformationsregel, wird eingeführt, später aber aufgegeben.

## 8.1.2 Kontextsensitive Grammatiken

Was sind kontextsensitive Regeln?

Notation kontextsensitiver Regeln:

allg. Form:

$$axb \rightarrow ayb$$

(x wird im Kontext a\_b durch y ersetzt)

übliche Schreibung für  $axb \rightarrow ayb$ :  $x \rightarrow y/a_b$

Kontextsensitive Regeln reduzieren die Menge an Regeln, die für eine Ableitung erforderlich ist.

Beispielsätze für die einfachere Verarbeitung der Kongruenz:

- (1) Der Mann gibt dem Kind das Buch.
- (2) Die Männer geben dem Kind das Buch.
- (3) Das Kind braucht das Buch in der Schule.

## Beispielgrammatik für die Erzeugung von (1) und (2) durch kontextfreie Regeln:

$S \rightarrow Np_{\text{sing}} + VP_{\text{sing}}$

$S \rightarrow Np_{\text{plur}} + VP_{\text{plur}}$

$VP_{\text{sing}} \rightarrow V_{\text{sing}} + NP$

$VP_{\text{plur}} \rightarrow V_{\text{plur}} + NP$

$NP \rightarrow Np_{\text{sing}}$

$NP \rightarrow Np_{\text{plur}}$

$NP_{\text{sing}} \rightarrow Det_{\text{sing}} + N_{\text{sing}}$

$NP_{\text{plur}} \rightarrow Det_{\text{plur}} + N_{\text{plur}}$

$Det_{\text{sing}} \rightarrow Der$

$Det_{\text{plur}} \rightarrow Die$

$N_{\text{sing}} \rightarrow N + 0$

$N_{\text{plur}} \rightarrow N + \{\text{uml,-er}\}$

$V_{\text{sing}} \rightarrow V + \{3.\text{sing ind präs}\}$

$V_{\text{plur}} \rightarrow V + \{2.\text{plur ind präs}\}$

$N \rightarrow Mann$

$V \rightarrow gib$



Numeruskongruenz zwischen Subj. und Prädikat ist hier eine *Eigenschaft* des Satzes.

Mit Hilfe von kontextsensitiven Regeln kann man den Numerus des Verbs abhängig machen vom Numerus des Subjekts, also der dem Verb unmittelbar vorausgehenden NP:

## Beispielgrammatik für die Erzeugung von (1) und (2) durch kontextsensitive Regeln:

S -->	NP + VP	
VP -->	V + NP	Det <sub>sing</sub> --> Der
NP -->	Np <sub>sing</sub>	Det <sub>plur</sub> --> Die
NP -->	Np <sub>plur</sub>	N <sub>sing</sub> --> N + 0
NP <sub>sing</sub> -->	Det <sub>sing</sub> + N <sub>sing</sub>	N <sub>plur</sub> --> N + {uml,-er}
NP <sub>plur</sub> -->	Det <sub>plur</sub> + N <sub>plur</sub>	N --> Mann
V -->	V + {3.sing Ind präs}/NP <sub>sing</sub> + ____/	V --> gib
V -->	V + {2.plur Ind präs}/NP <sub>plur</sub> + ____/	

„Numerus“ ist hier Eigenschaft der NP, die als Bedingung bei die Auswahl der Verbform gesetzt wird.

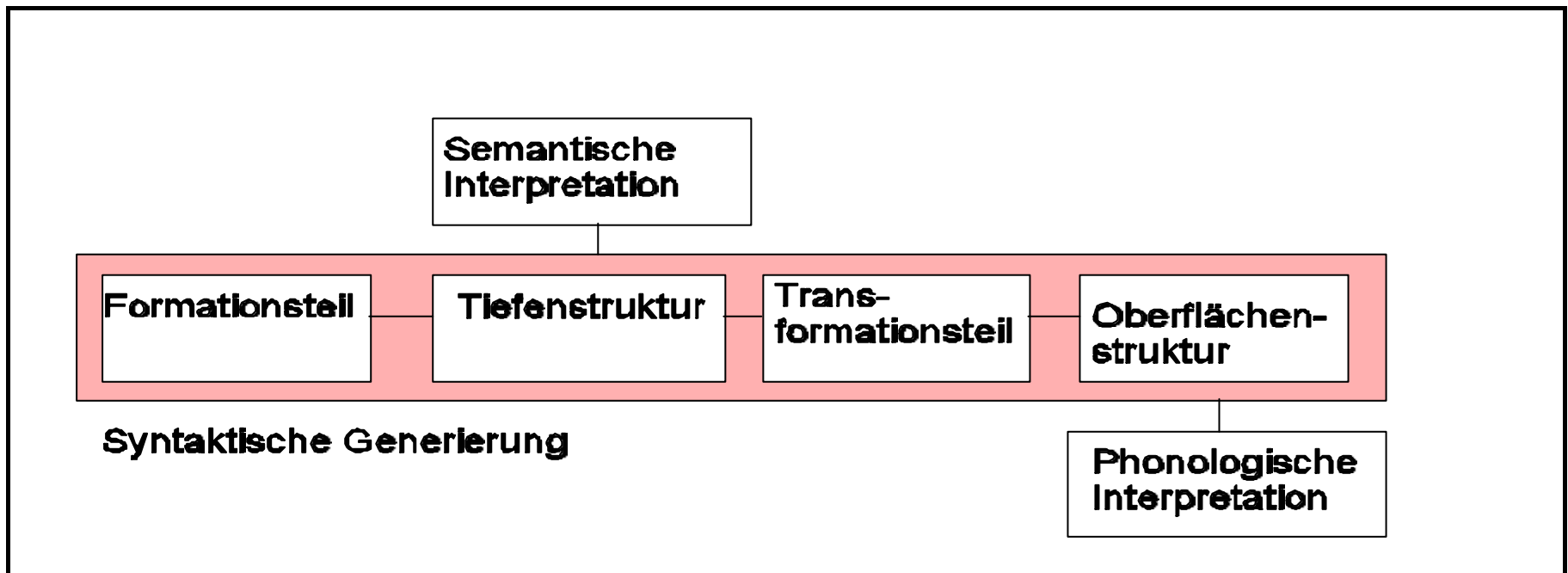
Die Annotationen sind hier durch Indices bzw. in Klammern angeführt.

## 8.2 Aufbau einer Generativen Grammatik nach dem Modell von Chomsky

Drei Komponenten: (Aspects I, § 3)

- a) die **syntaktische** Komponente mit Formationsregeln, die Tiefenstrukturen erzeugen, und mit Transformationsregeln, die Oberflächenstrukturen erzeugen,
- b) eine **semantische** und
- c) eine **phonologische** Komponente

Die semantische und die phonologische Komponente generieren nicht, sie **interpretieren** nur.



Die **syntaktische Komponente** ist der eigentlich **generierende** Teil der GG. Sie enthält:

- Basis = Formationsteil:  
generiert Basisketten als Elementare Einheiten, aus denen **Tiefenstrukturen** konstruiert sind.
- Transformationsteil:  
generiert aus Tiefenstrukturen die **Oberflächenstruktur**

Der **Formationsteil** (oder die Basis) einer GG enthält zwei Teile,

- einen **Regelteil** aus verallgemeinerten Ersetzungsregeln und
- ein **Lexikon**, das lexikalische Ersetzungsregeln enthält.

In der Basis (=Formationsteil) werden folgende Angabentypen verwendet (in den Regeln und im komplexen Symbol des Lexikons):

- Formative:

lexikalische Formative (boy, the ...)

grammatische Formative (Perfekt, Possessiv...)

Die Formative werden auch als “Terminale Symbole” bezeichnet.

- Kategorialsymbole: (S, NP, VP...)  
Die Kategorialsymbole werden auch als “Nonterminale” bezeichnet.
- grammatische Funktionen (Subjekt, Prädikat, Objekt...)
- Merkmale der Subkategorisierung (+/-belebt; +/-menschlich; +/-abstrakt; +/-individual ...)

Zunächst erfolgt die Beschreibung der Satzstruktur durch einfache Ersetzungsregeln oder Phrasenstrukturregeln. Beispiel:

## Kontextfreie Grammatiken, **Ersetzungsregeln**

S ---> NP VP  
NP ---> Det NP  
NP ---> Adj NP  
NP ---> N  
VP ---> V  
VP ---> V NP  
N ---> Hörsaal  
N ---> Projektor

V ---> erhält  
Adj ---> neue  
Det ---> der  
Det ---> einen

**Verkürzte Schreibweise der kontextfreien Ersetzungsregeln:**

NP ---> {Det} {Adj} N

## Beispiel einer Ableitung (*top-down*):

	S
S-->NP VP	NP VP
NP-->Det NP	Det NP VP
Det-->der	der NP VP
NP-->Adj NP	der Adj NP VP
Adj-->neue	der neue NP VP
NP-->N	der neue Noun VP
N-->Hörsaal	der neue Hörsaal VP
VP-->V NP	der neue Hörsaal Verb NP
V-->erhält	der neue Hörsaal erhält NP
NP-->Det NP	der neue Hörsaal erhält Det NP2
Det-->einen	der neue Hörs. erhält einen NP2
NP-->N	der neue Hörsaal erhält einen N
N-->Projektor	der neue Hörs. erhält einen Projektor

## Beispieldefinition einer solchen Phrasenstrukturgrammatik (vgl. Görz, Hrsg., 1993, S. 386):

Grammatik  $G = (G, \ddot{O}, P, S)$

Terminale  $G = \{\text{alte, dem, der, ein, großen, Haus, junger, Mann, Vater, ...}\}$

Nonterminale  $\ddot{O} = \{\text{Adj, Det, N, NP, ...}\}$

Regeln  $P = \{S \rightarrow NP VP \mid \dots, NP \rightarrow Det N \mid Det \rightarrow Adj N \mid \dots, Det \rightarrow dem \mid der \mid ein \mid \dots, Adj \rightarrow alte \mid junger \mid \dots, N \rightarrow Haus \mid Mann \mid Vater \mid \dots\}$

Startsymbol  $S$

Einführung des Begriffs der **Rekursivität** durch Chomsky:

Eine Regel enthält ihren eigenen Namen auf der rechten Seite:

$$\text{NP} \rightarrow \text{Adj NP}$$

## Strukturbaum

Wurzel (root)

'leaf nodes' = Blätter

'Kinder': rechte - linke Tochter

Eine Ableitung ist vollständig, wenn alle Blätter mit Terminalsymbolen einer Grammatik versehen sind. Mit den Blättern sind im Fall der Satzanalyse lexikalische Kategorien als Stellvertreter der Wörter verbunden.

## Erweiterung der Ersetzungsregeln durch Chomsky:

- (1) Auf der linken Seite der Regeln sind Folgen von Symbolen erlaubt, statt nur eines Symbols:  
Singular VP --> Verb -s (the boy eats...)
- (2) In den Regeln sind außer syntaktischen Kategorien (NP, VP ..) und Wörtern auch grammatische Merkmale (Singular, Plural ... ) und Subkategorisierungen (+belebt, -animal etc.) erlaubt.
- (3) Die rechte Seite einer Regel darf leer sein (z.B.: Plural --> 0)

Die **lexikalischen Regeln** stellen lexikalische Einträge (*lexical entries*) dar, die die allgemeine Struktur (D,C) haben.

D = phonologische Matrix distinktiver Merkmale

C = sog. komplexes Symbol, eine Art Merkmalstruktur, die syntaktische Merkmale enthält.

## **Begriff der lexikalischen Regel:**

z.B. Det ---> der, eine

Das Lexikon ist Teil der Grammatik und enthält die sprachlichen Einheiten und die diesen Einheiten zugeordneten Eigenschaften (z.B. die möglichen Komplemente der Verben).

Lexikon ist durchstrukturiert, redundanzfrei. Es ist letztlich eine Sammlung der Unregelmäßigkeiten der Sprache (vgl. Vorlesung Maschinelle Lexikographie).

## Warum trennt man das Lexikon von der Grammatik?

- Das Vokabular natürlicher Sprachen ist sehr groß.
- Wörter, die sich syntaktisch gleich verhalten, werden zu Klassen zusammengefasst (Wortklassen).
- Die Wort-Kategorie tritt an die Stelle des Wortes.
- Die Zuordnung der Kategorie zu einem Wort wird außerhalb der Grammatik erledigt: Lexikonsuche.
- Lexikon muß sehr ausführlich sein und alle Angaben enthalten, die ein Wort kategorial beschreiben.
- Man versucht, möglichst viele Regularitäten durch das Lexikon zu erfassen, um die Grammatiken klein zu halten.

## Der Transformationsteil einer Generativen Grammatik:

Zur Motivation der Transformationsregeln:

- (1) Der Mann gibt dem Kind das Buch.
- (2) Die Männer geben dem Kind das Buch.
- (3) Das Kind braucht das Buch in der Schule.

Beispiel 1:

Die Sätze (1) und (2) lassen sich zu folgender Äußerung verbinden:

(4) "Der Mann gibt dem Kind das Buch, das es in der Schule braucht."

Offenbar ist der zweite Satz verändert worden, indem das Nomen *dem Kind* durch ein Personalpronomen und das Nomen *das Buch* durch ein Relativpronomen ersetzt wurde. Chomsky nennt die Regeln, die diese Veränderungen bewirken, *Transformationsregeln*.

Durch die Anwendung der Transformationsregeln wird die Oberflächenstruktur erzeugt.

Beispiel 2:

Die Tiefenstruktur

Sing Der Mann Sing geben das Buch

muß in "Der Mann gibt das Buch" umgeformt werden.

Dabei muß u.a. dem Verb die richtige morphologische Form zugeordnet werden. Häufig handelt es sich hierbei um ein Affix, daher der engl. Ausdruck *affix hopping*.

## Die Form der Transformationsregeln

Transformationsregeln ermöglichen die Umformung von kompletten Strukturen in andere Strukturen.

## Beispiel: Aktiv-Passiv-Transformation

Die Regeln bestehen aus zwei Teilen:

- a) Structural Description (SD) und
- b) Structural Change (SC)

## Beispiel:

Peter has presented a paper

A paper has been presented by Peter.

SD:    NP    AUX    V    NP  
       $x_1$      $x_2$          $x_3$   $x_4$

SC:     $x_4$      $x_2$ +been     $x_3$  by+ $x_1$

Bei der Überführung der SD in den SC werden 4 verschiedene Operationen benutzt, und zwar

die **Substitution**, die **Permutation** (Umstellung), die **Deletion** (Entfernung) und die **Insertion** (Addition).

- Substitution: Peter verletzte sich als Peter hinfiel.  
Peter verletzte sich als er hinfiel.

- **Permutation:** Hans trifft Peter in Köln. Hans wohnt in Bonn.  
Hans, der in Bonn wohnt, trifft Peter in Köln.
- **Deletion:** Hans wohnt in Bonn und Hans trifft Peter in Köln.  
Hans wohnt in Bonn und trifft Peter in Köln.

- Insertion: Zufügung des Wortes "von" bei der Passivtransformation; im Engl. Zufügung von 'been' und 'by'.

## Optionale und obligatorische Transformationen

Optional Transformationen: (ermöglichen Erzeugung verschiedener Strukturen bei gleichbleibendem Sinn):

Dative Movement (verschiedene Formen des Dativ-Objekts erzeugen)

Passive (Passiv erzeugen)

Agent Deletion

Extraposition

There Insertion (einfügen von "there": "there was a piano in the room...")

Tag Formation (anhängen eines 'tags': He's going, isn't he?)  
Contraction (zu einem Satz den Gegensatz erzeugen)

## Obligatorische Transformationen: (betreffen die Erzeugung der regulären Wortform und Wortstellung:

Equi NP Deletion	(Tilgen einer äquivalenten NP: „Der Mann schläft und (der Mann) schnarcht.“
Raising to Object	(Objekt hervorheben): „Obst kauft die Frau“
Raising to Subject	(Subjekt hervorheben)
For Deletion	
Reflexivization	(Erzeugen des Reflexivpronomens)
It Deletion	
Number Agreement	
Negative Placement	(they aren't busy...: Platzierung der Verneinungspartikel)
Subject-Auxiliary	

Inversion	(Never have I been so angry! - einige Adv. können in Spitzenstellung stehen, anstelle des Subjekts)
Wh-Fronting	(Fragewort an den Anfang setzen)
Affix-Hopping	(Bildung der Flexionsform)
Do Support	(Bildung der verbalen Tempora mit dem Hilfsverb "do")

Die Reihenfolge der Anwendung dieser Transformation ist nicht beliebig; einige T. ziehen andere nach sich, einige setzen andere voraus.

## Die Rolle des Verbs in der GTG

Verben und Nomina werden unterschiedlich behandelt:

**Verben** werden durch ‘kontext-beschränkte’ (**kontext-sensitive**) Ersetzungsregeln eingeführt,

**Nomina** durch **kontext-freie Regeln** subkategorisiert  
(Aspects 2, § 2.3.4)

## Einführung von kontext-sensitiven Subkategorisierungsregeln beim Verb

- a) zur Darstellung von Transitivität und anderen verbalen Subkategorisierungen in der GTG
  
- b) zur Darstellung von Selektionsbeschränkungen (*selectional restrictions*) durch ‘syntaktische Merkmale’ der Umgebungen eines Verbs

## a) Transitivität und andere Subkategorisierungen:

Darstellung von Transitivität:

V -> [+V,+Transitiv]/\_NP

“A gibt den Ball”

V -> [+V,-Transitiv]/\_#

“A fährt”

Diese Erweiterungen werden verallgemeinert für alle möglichen Subklassifikationen von Verben aufgrund folgender Kontextbedingungen:

V -> CS/ \_\_\_

NP  
 #  
 Adj(ektiv)  
 Prädikatsnomen  
 like + Prädikatsnomen  
 Präpositionalkomplex  
 that + S'  
 NP(of + Det + N) S'  
 etc.

Ein Menge von Umgebungen, in denen ein Symbol auftritt, bewirkt eine entsprechende Subklassifizierung

CS steht hier für das Komplexe Symbol im Lexikon.

## Das Lexikon könnte folgende Einheiten enthalten:

eat, [+V, +\_NP]

elapse, [+V, +\_#]

grow, [+V, +\_NP, +\_#, +\_Adj]

become, [+V, +\_Adj, +\_Prädikatsnomen]

seem, [+V, +\_Adj, +\_like + Prädikatsnomen]

look, [+V, +\_(PP)#, +\_Adj, +\_like + Prädikatsnomen]

believe, [+V, +\_NP, +\_that + S']

persuade, [+V, +\_NP, +\_(of + Det + N)S']

In diesen Einträgen wird die Umgebung durch Kategoriensymbole dargestellt.

Mit diesen Regeln und Lexikon lassen sich folgende Ausdrücke generieren:

*John eats food*

*a week elapsed* (eine Woche vergeht)

*John grew a beard* (John ließ sich einen Bart stehen)

*John grew*

*John grew sad* (John wurde traurig)

*John become sad*

*John become president*

*John seems sad John seems like a nice fellow*

*John looked*

*John looked at Bill*

*John looks sad*

*John looks like a nice fellow*

*John believes me*

*John believes that it is unlikely*

*John persuaded Bill that we should lease*

*John persuaded Bill of the necessity for us to lease*

**b) Darstellung von Selektionsbeschränkungen (*selectional restrictions*) durch ‘syntaktische Merkmale’ der Umgebungen eines Verbs**

In diesen Regeln (oben unter a)) werden die Umgebungen durch ‘syntaktische Merkmale’ wie [+Abstr], [+Belebt] dargestellt.

## Beispiel: *sincerity may frighten the boy*

### Grammatik:

S ÷ NP Aux VP

VP ÷ V NP

NP ÷ Det N

NP ÷ N

Det ÷ the

Aux ÷ M

## Lexikon

(*sincerity*, [+N,-Ind,+Abstr])

(*boy*, [+N,+App,+Ind,+Belebt,+Mensch])

(*may*, [+M])

## Subkategorisierungsregeln:

- (i) N ÷ [+N, ±Apellativum]
- (ii) [+Appellativum] ÷ [±Individuativum]
- (iii) [+Individuativum] ÷ [±Belebt]
- (iv) [-Appellativum] ÷ [±Belebt]
- (v) [+Belebt] ÷ [±Menschlich]
- (vi) [-Individuativum] ÷ [±Abstraktum]

## 8.3 Erweiterung Kontextsensitiver Grammatiken durch Annotationen

### Augmented Transition Networks

Zur Handhabung komplexerer syntaktischer Probleme wurde in den 70er Jahren seitens der KI-Forschung der Formalismus der **Augmented Transition Networks** (ATN) entwickelt.

ATNs gestatten insbesondere die Abarbeitung kontextsensitiver Grammatiken mit Annotationen.

Woods, W.A.: Transition Network Grammars for Natural Language Analysis. In: Communications of the ACM 13 (1970), 591-606.

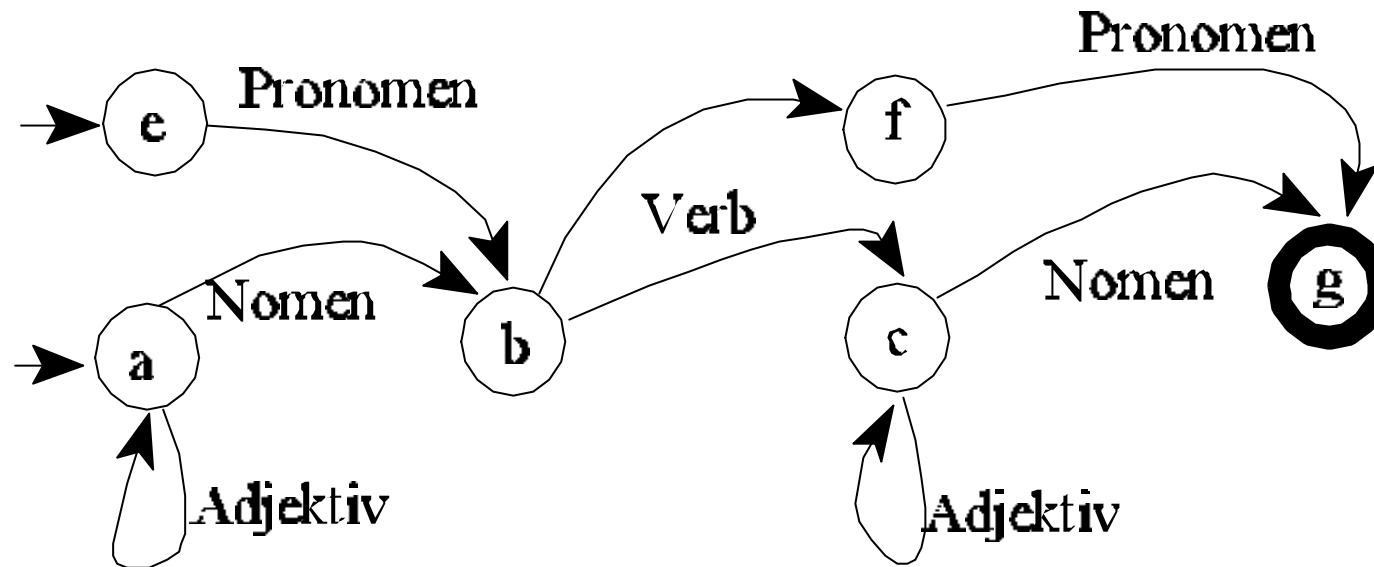
Woods, W.A.: Lunar Rocks in Natural English. In: Zampolli, A. (ed.): Linguistic Structures Processing. Amsterdam/New York/Oxford 1977, 521-570.

Christaller, Th./Metzing, D. (Hg.): Augmented Transition Network Grammatiken. Berlin 1980 (2 Bde.)

## Übergangnetzwerke

sind Darstellungen von aufeinander folgenden Zuständen eines Systems (einer Analyse). Die Zustände werden durch Knoten, die Übergangsbedingungen durch Kanten dargestellt.

Ausgangspunkt: Basic Transition Networks zur Darstellung von Pattern (einschließlich der Choices = Auswahl aus Lexika) und der Schleifen (=Rekursionen):



(BTN sind Grammatiken des Typs 3, d.h. sie bestehen aus regulären Ausdrücken, Pattern, nicht aber Konstituenten-Hierarchien; sie bestehen aus Wörtern oder lexikalischen Kategorien wie Wortklassen, aber nicht aus Konstituenten)

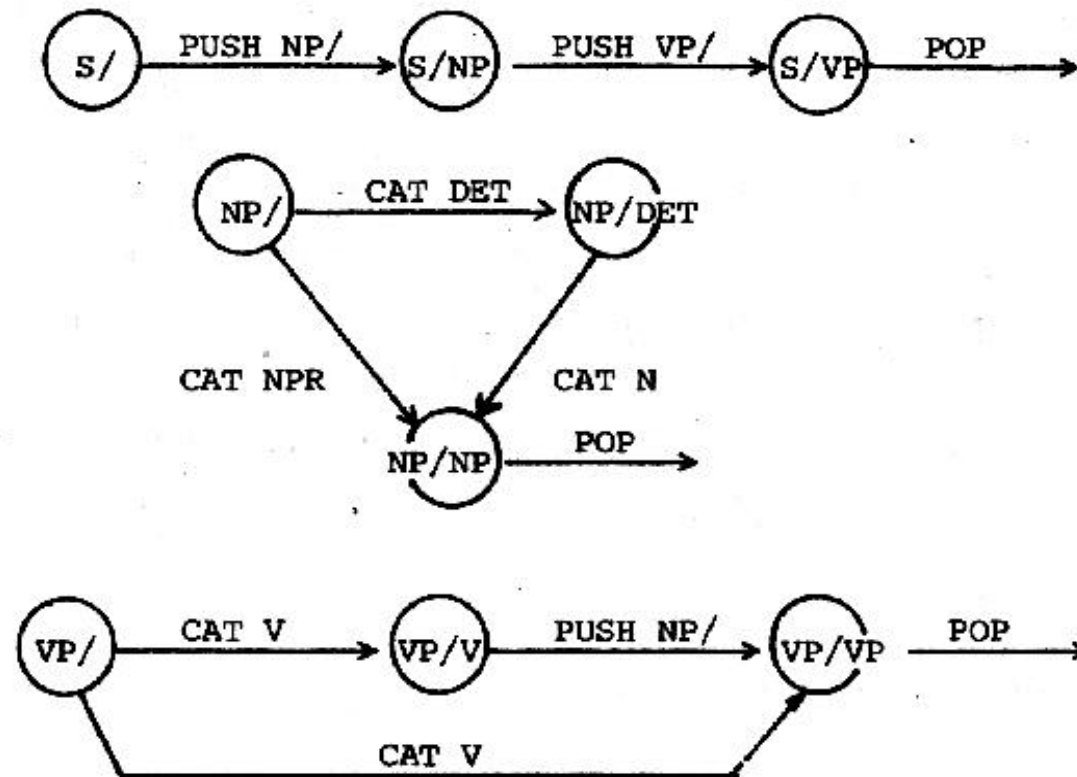
Erweiterung der BTN zunächst zu den

Rekursiven Transitions Netzwerken (RTN):

- Ein RTN ist eine *Menge benannter (gelabelter) Netzwerke*

Bögen mit *syntaktischen* Kategorien (z.B. NP, VP) werden eingeführt, die Labels dieser Bögen sind zugleich Labels für *eigene Netzwerke* (Subnetze).

Ein RTN enthält also für jedes nicht-terminale Symbol einer Grammatik ein **eigenes Netzwerk**:



Damit sind  
wiederholte  
Aufrufe des  
g l e i c h e n  
Netzwerks  
m ö g l i c h  
(= Rekurs-  
ion).

(In dieser  
Form las-  
sen sich  
d u r c h

ATN's kontextfreie Grammatiken darstellen, d.h. Grammatiken des Typs 2, die eine Konstituenten-Struktur erzeugen)

Beispiele für CF-Grammatik und RTN Grammatik (Wingrad Abbn. 5.1 und 5.3.)

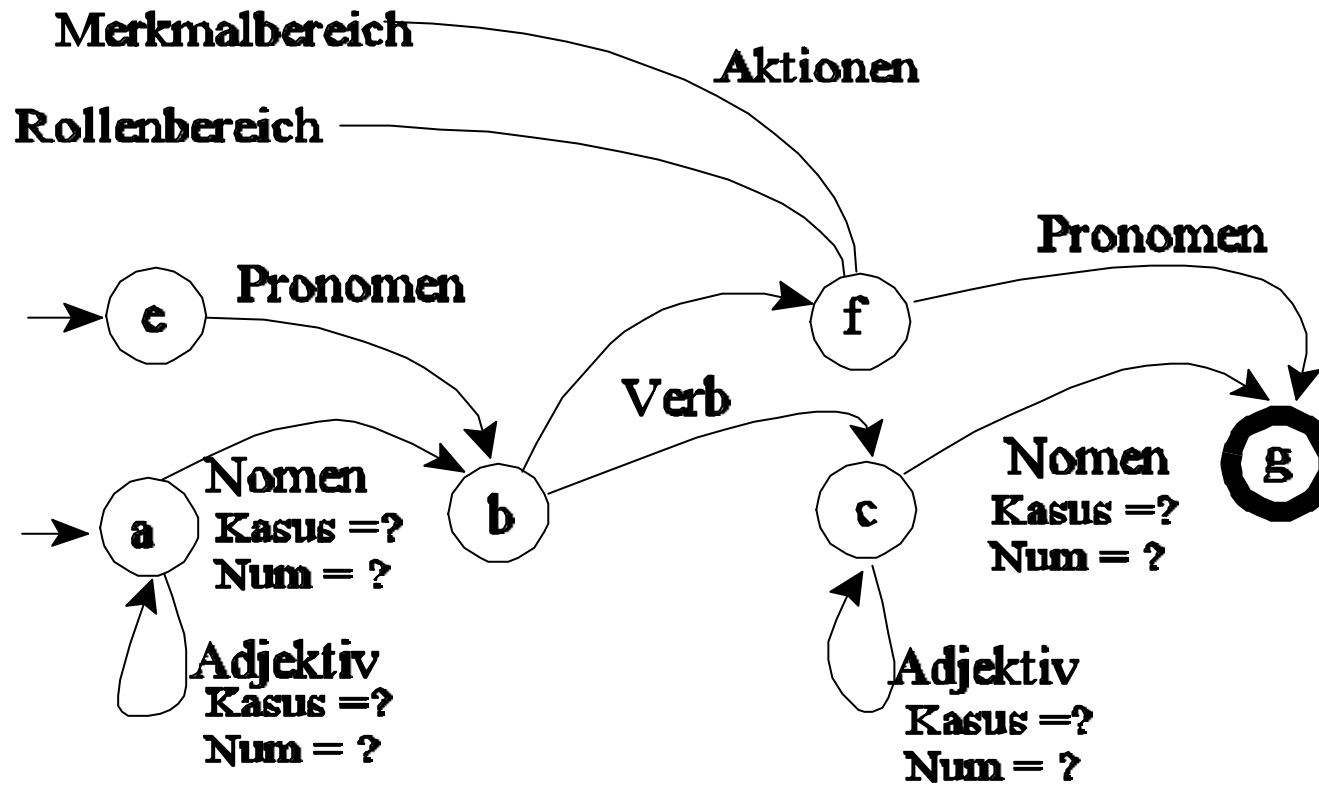
CF-Grammatik und RTN-Grammatik dieser Form sind schwach äquivalent, weil sie zwar gleiche Folgen, aber verschiedene Strukturen erzeugen.

Erweiterung zu Augmented Transition Networks:

ATNs sind zur Manipulation komplexer syntaktischer Erscheinungen besser geeignet auf Grund von Erweiterungen, die mit den Knoten und Bögen des Netzwerks verbunden sind.

Folgende Erweiterungen werden eingeführt:

- a) Bedingungen
- b) Merkmalbereiche (*feature dimensions*) und Merkmalsregister
- c) Rollen (roles), Rollenregister
- d) Handlungen zur Änderung der Register
- e) besondere, neue Kantentypen, z.B. jump
- f) Registertechnik



## Die Erweiterungen im einzelnen:

### a) Bedingungen (genauer: weitere Bedingungen):

beschränken die Umstände, unter denen ein Bogen gegangen werden kann.

Bedingungen: Numeri, Kasus, Personen an bestimmten Stellen einer Konstituenten (Kongruenz)

Ist eine Bedingung erfüllt, wird sie in einem 'Register' registriert, das mit dem betreffenden Zielknoten assoziiert ist.

## Typische Bedingungen:

- Zwei Merkmale sind identisch
- Ein Rollenregister ist leer
- ein Knoten gehört eine bestimmten Kategorie an
- ein Knoten ist ein *dummy*-Knoten (Attrappe), der durch eine Aktion erzeugt wurde
- Das Wort an einem Knoten ist ein bestimmtes Wort (z.B. 'by' bei Passivsätzen)
- logische Kombinationen dieser Merkmale

## b) Einführung neuer Kantentypen

CAT: übliche Kante des BTN: Es wird auf eine lexikalische Kategorie (oder ein Wort) geprüft:

PUSH (Suchkante): Es wird (rekursiv) ein Netzwerk des ATN aufgerufen, z.B. aus dem S-Netz der Aufruf des NP-Netzes.

POP (Sendekante): Übergibt nach erfolgreichem Abarbeiten das Ergebnis eines Netzwerks an das rufende Netzwerk (Terminal-Zustand eines Netzes)

JUMP (Sprungkante): Es wird von einem Zustand zum nächsten gesprungen, ohne daß das Eingabelement in Betracht gezogen wird.

## c) Einführung von Merkmalbereichen (*feature dimensions*)

Mit jedem Netzwerk ist eine Menge von Merkmalbereichen verbunden, die an den Knoten hängen (Annotationen).

Die Merkmalbereiche enthalten als Argumente die Einzelmerkmale, die als Bedingungen abgefragt werden.

Beispiel für das NP-Netzwerk:

NUMERUS mit den Auswahlmöglichkeiten Singular und Plural, oder  
KASUS:

NUMERUS {SG,PL}

KASUS {NOM,GEN,DAT,AKK}

## d) Einführung von Rollen (role names)

Bei den Rollen handelt es sich um syntaktische Rollen oder Funktionen wie Subjekt, direktes Objekt, Hauptverb, Hilfsverb, etc.

## e) Einführung von Registertechnik

Technisch gesehen benutzen ATN-Parser zur Abarbeitung von Bedingungen und Handlungen sog. Register:

- Merkmal-Register (feature register): VOICE; NUMBER.
- Rollen-Register: SUBJECT; DIRECT-OBJECT, MAIN-VERB, AUXILIARIES, MODIFIERS

Den Registern werden durch die Aktions (Handlungen) Werte zugeordnet.

## Beispiele:

dem Register VOICE wird der Wert ‚Aktiv‘ oder dem Register SUBJECT der Wert ‚NP‘ (eine bestimmte NP) zugeordnet

oder:

Das Merkmalregister NUMERUS wird z.B. nach Anwendung der Det-Regel, d.h. nach Auffinden eines Determiners, auf den Numerus des Determiners gesetzt.

An vorhandene Registerinhalte können durch die Aktion APPEND weitere Inhalte angefügt werden.

Die Inhalte der Register werden als ‚Bedingungen‘ überprüft.

## Aktionen an Registern:

### Drei Typen von Aktionen:

- ein Merkmalregister wird auf einen bestimmten Wert gesetzt (SETR)
- ein Rollen-Register wird auf einen bestimmten Wert gesetzt (SETR)  
In dem Rollenregister SUBJEKT kann - je nach Aktion in einer Folge von anzuwendenden Regeln - das Merkmal NP eingetragen werden, d.h., dass eine bestimmte NP dem Register SUBJEKT' zugeordnet wird (wie bei der Wertzuweisung zu einer Variablen). Ein schon getroffene Zuordnung kann zu einem späteren Status des Netzwerks durch eine neue ersetzt werden.

- ein Knoten wird dem Ende eines Rollenregisters angefügt etc.  
(APPENDR)

An eine in einem Register schon registrierte Konstituente kann eine weitere angehängt werden. So kann z.B. einem Rollenregister 'AUXILIARIES' der eventuelle schon registrierten Konstituenten 'VERB' (has) eine weitere Konstituente 'Verb' (been) angehängt werden, wenn es sich z.B. um Rollen handelt, die aus mehreren gleichen Konstituenten bestehen (z.B. auch bei mehrgliedrigen Subjekten: 'Der alte Mann und das Kind').

Die Register werden zu Beginn eines Parsings auf Anfangswerte gesetzt sein (*initial settings*).

Beispiele für ATNs aus Winograd 1983, S. 212 ff..

## Voraussetzungen:

- Lexical Categories, S. 212
- Dictionary entries, S. 213
  - Hinweis auf Behandlung von Mehrdeutigkeiten
  - Keine Generierung der Wortformen aus Wortstämmen
- Die Beispielsätze aus Abb. 5-15 Beispiel a)

## Beispiel 1: Number agreement in NP network (S. 215)

benutzt nur den Merkmalbereich NUMBER für Noun und Det  
die Bögen sind durchnummeriert; in der Beschreibung der Bögen ist A =  
Action; C = Condition.  ${}_g\text{Noun}_h$  bedeutet: der Bogen, der vom Zustand g  
zum Zustand h führt und mit dem Namen 'Noun' versehen ist.

## Beispiel 2: Active and passive voice in S network (S. 217)

Erläutert die Funktion der Rollenregister:

Das Netzwerk soll sowohl aktivische als auch passivische Sätze parsen.

Z.B.: Ein Pferd tritt einen Politiker. - Ein Politiker wird getreten (ist worden getreten) von einem Pferd.

Beispielsätze S. 220

Das Netzwerk S. 217 kann die normale Wortstellung im Satz: Subj -Präd - Obj parsen, nicht aber die im Deutschen möglichen Variationen:

Der Junge legt ein Buch auf den Tisch.

Ein Buch legt der Junge auf den Tisch.

Auf den Tisch legt der Junge ein Buch.

### Beispiel 3: subject-verb-agreement S. 221

Die Erweiterung betrifft den Merkmalbereich: Einführung von 1.,2. und 3. Person

Auf diese Merkmale und auf ihr Vorhandensein im Subjektregister muß beim ersten Verb eines Satzes zusätzlich getestet werden.

Weiterhin muß die Subj.-Verb-Kongruenz immer beim ersten Verb getestet werden:

Das Kind geht in die Schule.

Die Kinder gehen in die Schule.

Das Kind will in die Schule gehen.

Die Kinder wollen in die Schule gehen.

## **8.3 Weiterentwicklung der Generativen Grammatik durch Chomsky:**

### **Government and Binding**

#### **Literatur:**

Chomsky, Noam: Remarks on nominalization. In: Jacobs, R. & Rosenbaum, P., eds. Readings in English transformational grammar. Washington, D.C.: Georgetown Univ. Press, 1970.

ders.: Lectures on government and binding. Dordrecht: Foris, 1981.

ders.: Knowledge of Language. New York: Praeger, 1986.

## Motivation der Weiterentwicklung

Weitere Trennung von einzelsprachlichen und universalgrammatischen Eigenschaften:

z.B. Regeln der Wortstellung sind einzelsprachlich

das allgemeine Format der Phrasenstrukturregeln  
( $S \rightarrow X Y$ ) ist universal

gibt es im Aufbau phrasaler Kategorien (Konstituenten) weitere universale Elemente?

- ! Aufhebung der Unterscheidung zwischen Tiefenstruktur und Oberflächenstruktur zugunsten einer rein syntaktischen, phrasenstrukturellen Betrachtung
- ! Formulierung der durch Transformationen beschriebenen Phänomene mit den Mitteln der Phrasenstruktur
- ! Motive aus der Theorie des Spracherwerbs

Weiterentwicklung der Phrasenstrukturgrammatik erfolgte in **drei** Teilbereichen

(nach Fanselow/Felix Bd. 2; hier auch nähere Information):

- a) X-bar Syntax
- b) Kasustheorie
- c) Das Theta-Kriterium

## a) X-bar Syntax

Ausgangspunkt: in den NP- und VP-Ersetzungsregeln fällt auf, dass es immer ein obligatorisches Element gibt, N bzw. V:

NP --> (DET) (AP) N (PP)

V --> V (NP) (PP)

sowie weitere fakultative Elemente: DET, AP, PP ...

So ist in einer Nominalphrase wenigstens ein Nomen obligatorisch, in einer Verbalphrase ein verbales Element.

Dieses Faktum ist wohl ein Strukturmerkmal natürlicher Sprachen, also Gegenstand einer **Universalgrammatik**.

Wie verhält sich dies genauer bei der **Verbalphrase**?

Fakultativ sind in der VP die NPs, PPs (Präp.gruppen), APs (Adj.-Gruppen) und Sätze.

## Beispiele:

VP --> V S'	Hans glaubt, dass Eva den Tom liebt.
VP --> V NP S'	Hans verspricht Tom, dass er ihm ein Buch leihen werde.
VP --> V PP S'	Hans arbeitet zu Hause, um Zeit zu sparen.
VP --> V NP NP	Hans schenkt Eva ein Buch.
VP --> V AP	Hans arbeitet zuverlässig.
VP --> V VP	Hans vergisst zu zahlen.

Man kann daher allgemeiner formulieren:

VP ---> V {AP} {VP} {NP} {NP} {PP} {S'}

Welche Komplemente ein  $V$  haben kann, ergibt sich aus dem Lexikon. Daher kann man die Regel verallgemeinern:

$VP \rightarrow V \dots$

Dies ist eine Regel der Universalgrammatik. Sie besagt, dass in allen natürlichen Sprachen Verbphrasen aus einem obligatorischen Verb und (einer Kette) von phrasalen Kategorien bestehen (Fanselow/Felix S. 45).

Man nennt dieses obligatorische lexikalische Element den *head*, die durch Punkte angedeuteten Elemente das **Komplement** einer Konstruktion.

Da es auch Komplemente links vom *head* gibt, muß die universelle Regel präzisiert werden:

VP --> ... V ...

Dieser Regelaufbau gilt auch für andere phrasale Strukturen, für die NP, AP und PP:

VP --> ... V ... Einen Brief [<sub>VP</sub>schrieb] ich meinem Bruder.

NP --> ... N ... [<sub>NP</sub>Kohls] Traum, die Wahl zu gewinnen...

AP --> ... A ... Hans ist [<sub>AP</sub>[<sub>NP</sub>seiner Frau] treu]

PP --> ... P ... Hans schläft [<sub>PP</sub>auf [<sub>NP</sub>dem Sofa]]

Da alle diese Regeln das gleiche grundlegende Format aufweisen, kann man formulieren:

$XP \rightarrow \dots X \dots$

Beispiele aus vielen Sprachen zeigen, dass die phrasalen Strukturen in sich strukturiert sind. So gibt es neben obligatorischen auch **fakultative** Elemente.

Die obligatorischen Elemente werden **Komplemente** genannt.

Sie ergeben sich z.B. bei der VP aus den Lexikoneinträgen der Verben und hängen von Kasussystem einer Sprache ab.

Die fakultativen Elemente werden **Adjunkte** genannt.

Beispiel: Hans liest [vor der Arbeit] [im Bus] [in einem Buch]

Die Adjunkte können in **beliebiger Reihenfolge** auftreten, nicht aber die Folge Komplement + Adjunkt.

Beispiel: Hans gibt seiner Schwester ein Buch

Daher: Komplemente bilden mit dem Kopf einer Konstruktion eine engere Einheit (Konstituente), Adjunkte sind unabhängig vom Kopf (Faselow/Felix S. 49).

Wie ist dies bei **Nominalphrasen**?

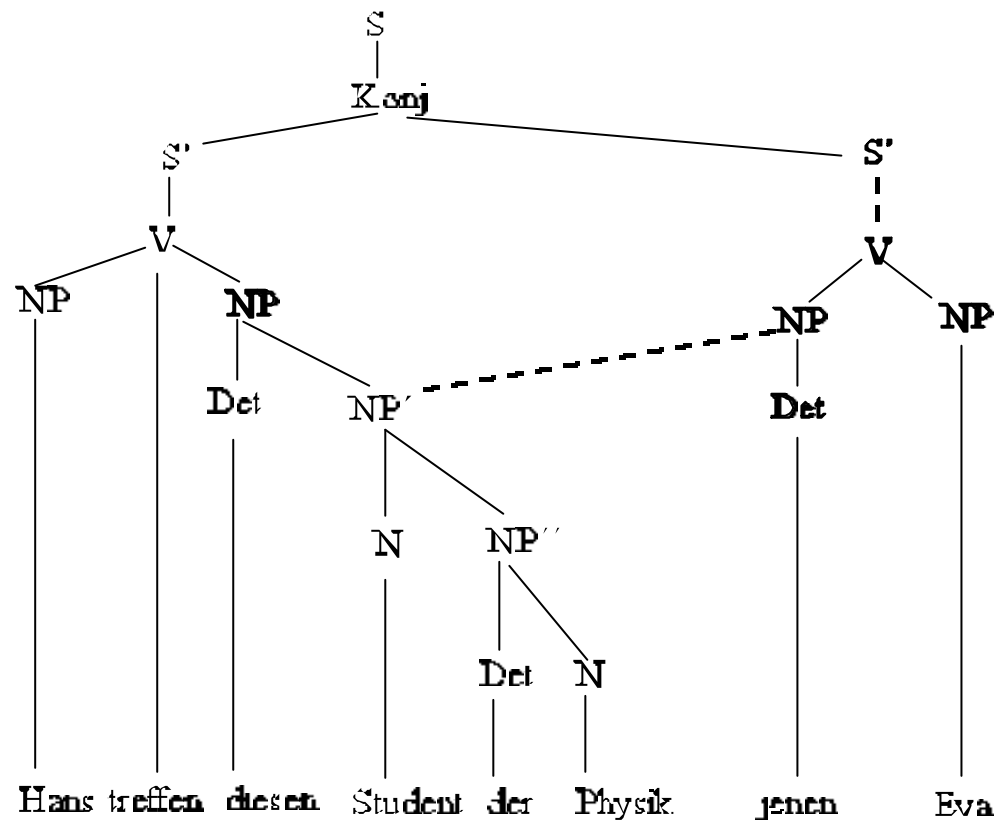
Wie bei VPs, so gruppieren sich auch hier Folgen von Elemente zu Konstituenten:

Beispiel: Dieser Student der Physik ...

In diesem Beispiel bilden sowohl “dieser Student der Physik” als auch “Student der Physik” jeweils eine Konstituente.

Dies ergibt sich aus Sätzen wie

‘Hans traf diesen Studenten der Physik und Eva jenen.’



Die Pro-Form ‘jenen’ bezieht sich auf “Studenten der Physik” als einer Teilkonstituente der gesamten Konstituenten.

In einer Ableitung gibt es also *gleiche heads* auf mehreren Ebenen. Diese *heads* werden gemäß ihrer Ebene gekennzeichnet als N' bzw. N'' (auch = N quer, engl. N-bar).

Ähnlich bei Verbalgruppen:

Die Syntax, die dieses Prinzip konsequent verfolgt, heißt *X-bar-Syntax*.

## X-bar Syntax

soll das Problem lösen, wie wir **komplexe Konstituenten**, die aus Komplementen und Adjunkten bestehen, als Phrasenstrukturen darstellen können.

- keine Transformationen
- Die Teile eines Satzes, z.B. Genitive und Nebensätze, werden als Projektionen aufgefasst, die vom Kopf einer Phrase ausgehen.
- Bei komplexen Strukturen, z.B. Folgen von Nomen, ist eine rekursive Projektion möglich.

## b) Kasustheorie

Durch die Verben werden den NP-Komplementen Kasus zugewiesen. Jede NP muß einen Kasus tragen, ist **kasusmarkiert**.

Im deutschen Nebensatz dürfen die kasusmarkierten NPs nur vor dem Verb stehen:

Beispiel: Hans überlegt, ob er **seiner Schwester ein Buch** schenken soll.

Im **englischen** Satz wird Kasus **nach rechts** zugewiesen:

Beispiel: *John considers whether he should offer **a gift to his sister**.*

Die Kasuszuweisung ist also sprachspezifisch.

Man unterscheidet zwischen **kopffinalen** (*head-final*) und **kopfinitialen** (*head-initial*) Sprachen.

**Kopffinal:** Kasus wird nach links zugewiesen (deutsch; Schwester - Buchschenken)

**Kopfinitial:** Kasus wird nach rechts zugewiesen (engl.: *offer - gift - sister*)

Weiterer Unterschied zwischen Deutsch und Englisch:

Im Engl. erhält ein Komplement nur dann einen Kasus, wenn es unmittelbar neben dem lexikalischen Kopf steht. Kopf und Komplement sind *adjazent*:

John finished his dinner in a hurry.

\*John finished in a hurry his dinner.

Mary suddenly left her husband

\*Mary left suddenly her husband.

Im Deutschen weisen Verben einem Objekt den Kasus auch über andere Komplemente hinweg zu:

... weil Hans seiner Schwester das Buch schenkte.

... weil er das Auto in die Garage stellen wollte.

Weitere Beispiele und sprachspezifische Besonderheiten bzgl Kasuszuweisung Fanselow/Felix S. 70 ff.

Welche lexikalischen Kategorien können ‘Kasus’ zuweisen?

Es sind unter den Kategorien V, N, P und A zwei Gruppen zu unterscheiden:

**V und P** besitzen **universal** kasuszuweisende Kraft, A und N nicht.

A ist im Deutschen kasuszuweisend: “der Mann ist seiner Frau ergeben”, im engl. nicht, im engl. muss ein kasuszuweisendes Element, eine Präposition in die Struktur eingefügt werden.

\*he ist proud his son  
he ist proud of his son.

Präpositionen sind universell kasuszuweisend:

im Dt.: Präpositionen fordern einen bestimmten Kasus, der auch morphologisch markiert:

auf dem Haus

im Engl.: Der Kasus ist morphologisch unmarkiert:

John bought a new dress for Mary.

\*John bought a nes dress Mary for.

Verben sind universell kasuszuweisend.

Der Kasus einer NP hängt vom Verb ab:

Hans kennt die Frau.

Hans hilft dem Kind.

## c) Das Theta-Kriterium

x-bar-Schema und Kasustheorie regeln die interne Struktur einer phrasalen Kategorie in einer Sprache.

Dabei wurden noch keine Unterschiede zwischen **verschiedenen** NPs und VPs gemacht. So sind beliebige kasusmarkierte NPs im dt. Nebensatz links vom V möglich.

Danach wäre möglich (nach Fanselow/Felix S. 77):

es regnet

\*Hans regnet

es scheint, dass Hans Maria liebt.

\*dieses Bild scheint, dass Hand Maria liebt.

es tanzt sich gut.

\*Maria tanzt sich gut.

Es gibt viele Krater auf dem Mond.

\*die Theorie von Chomsky gibt Krater auf dem Mond.

Das Subjekt ist im ersten Satz eines jeden Paares durch ein unpersönliches ‘es’ (ein sog. **Expletivum**) vertreten. Dieses Expletivum kann jedoch nicht durch eine beliebige NP dargestellt werden.

Vielmehr: Der Typ der als Subjekt zugelassenen NP hängt vom jeweiligen Verb ab.

Zwischen dem Verb und der Subjekt-NP besteht eine thematische Beziehung; das Verb weist dem Subjekt eine **thematische Rolle** zu, die **Theta-Rolle** (È-Rolle) genannt wird.

## Weitere Theta-Rollen, die dem Subjekt zugewiesen werden können:

Patiens	Hans brach sich ein Bein
Instrument	dieser Schlüssel öffnet die Tür
Empfänger	Hans erhielt einen Brief
‘Experiencer’	Hans kennt die Wahrheit
Benefizient	Hans profitiert von Peters Unglück
Affektum	Hans erlag seinen Verletzung
Ziel	Hans bekam die Einladung zugeschickt

Es ist zu unterscheiden zwischen

Verben, die dem Subjekt eine Theta-Rolle zuschreiben: An Subjektposition steht ein Argument

Verben, die dem Subjekt keine Theta-Rolle zuschreiben: an Subjektposition steht ein "es" (Expletivum)

Auch für die **Objekte** eines Verbs lassen sich Theta-Rollen identifizieren:

Objekt	Hans las ein Buch
Instrument	Hans benutzte ein Messer
Empfänger und Objekt	Hans gab Maria einen Stift
Affiziens	Hans leidet an Rheuma
Ort	Hans erreichte das Ziel

Es ergibt sich aus der Analyse ein allgemeines Theta-Kriterium, das ebenfalls ein **Prinzip der Universalgrammatik** ist:

Jede Theta-Rolle muß genau einem Argument zugewiesen werden, und jedes Argument muß genau eine Theta-Rolle erhalten.

Es kann also nicht ein Argument zwei Theta-Rollen, z.B. zugleich Instrument und Affizienz, tragen.

**Welche** Theta-Rolle welchem Argument zugewiesen wird, ist **einzelnsprachlich im Lexikon** festgelegt, ebenso wie die Richtung der Kasuszuweisung.