

Semantik und Pragmatik

SS 2005

Universität Bielefeld

Teil 4, 6. Mai 2005

Gerhard Jäger

Prädikatenlogik: atomare Formeln

Syntax

- JO', BERTIE', ETHEL', THE-CAKE' ... sind Individuenkonstanten (Namen)
- RUN', LAUGH', HOWL', SING', ... sind einstellige Prädikate
- RAIN', SNOW', ... sind nullstellige Prädikate
- EAT', LIKE', LOATH' ... sind zweistellige Prädikate
- GIVE' ist ein dreistelliges Prädikat

Prädikatenlogik: atomare Formeln

Syntax

Definition 1

1. Wenn P ein n -stelliges Prädikat ist und c_1, \dots, c_n Individuenkonstanten, dann ist $P(c_1, \dots, c_n)$ eine atomare Formel.
2. Jede atomare Formel ist eine Formel.
3. Wenn φ und ψ Formeln sind, dann sind auch $\neg\varphi$, $\varphi \wedge \psi$, $\varphi \vee \psi$, $\varphi \rightarrow \psi$ und $\varphi \leftrightarrow \psi$ Formeln.

(Die atomaren Sätze der Aussagenlogik lassen sich als 0-stellige Prädikate auffassen.)

Prädikatenlogik: atomare Formeln

Beispiele

- $\text{RUN}'(\text{JO}')$
- RAIN'
- $\text{LIKE}'(\text{BERTIE}', \text{ETHEL}')$
- $\text{GIVE}'(\text{BERTIE}', \text{ETHEL}', \text{THE-CAKE}')$
- $\text{RUN}'(\text{JO}') \rightarrow \text{GIVE}'(\text{BERTIE}', \text{ETHEL}', \text{THE-CAKE}')$
- $\text{RAIN}' \vee \neg \text{RAIN}'$
- $\neg \text{LIKE}'(\text{ETHEL}', \text{BERTIE}') \rightarrow \neg \text{LIKE}'(\text{BERTIE}', \text{ETHEL}')$

Übersetzung: atomare Sätze

- Faustregeln für Übersetzung:
 - atomare Sätze werden als atomare Formeln übersetzt
 - Eigennamen und definite Beschreibungen werden als Individuenkonstanten übersetzt
 - 0-stellige Verben (wie *regnen*) werden als 0-stellige Prädikate übersetzt
 - intransitive Verben und prädikative Adjektive werden als 1-stellige Prädikate übersetzt
 - transitive Verben werden als 2-stellige Prädikate übersetzt
 - ditransitive Verben werden als 3-stellige Prädikate übersetzt

Übersetzung: atomare Sätze

- (1)
- a. Chester ran.
 - b. Chester ate the cake.
 - c. Ethel gave the cake to Jo.
 - d. Ethel gave Chester the cake.
 - e. It rained.

- (2)
- a. RUN'(CHESTER')
 - b. EAT'(CHESTER', THE-CAKE')
 - c. GIVE'(ETHEL', THE-CAKE', JO')
 - d. GIVE'(ETHEL', THE-CAKE', JO')
 - e. RAIN'

Prädikatenlogik: atomare Sätze

● Syntax:

- JO', BERTIE', ETHEL', ... sind Individuenkonstanten (Namen)
- RUN', LAUGH', HOWL', SING', ... sind einstellige Prädikate
- RAIN', SNOW', ... sind nullstellige Prädikate
- EAT', LIKE', LOATH' ... sind zweistellige Prädikate
- GIVE' ist ein dreistelliges Prädikat

Prädikatenlogik: atomare Sätze

- Semantik
 - Model M , besteht aus
 - Individuenbereich E und
 - Interpretationsfunktion F
 - Interpretationsfunktion bildet
 - Individuenkonstanten auf Elemente von E ab und
 - n -stellige Prädikate auf n -stellige Relationen über E .
 - Erweiterung auf Formeln:

$$[P(c_1, \dots, c_n)]^M = 1 \quad \text{gdw.} \quad \langle F(c_1), \dots, F(c_n) \rangle \in F(P)$$
$$[c_1 = c_2]^M = 1 \quad \text{gdw.} \quad F(c_1) = F(c_2)$$

Prädikatenlogik: ein Beispiel

$$M = \langle E, F \rangle$$

$$E = \{\mathbf{DOG}, \mathbf{CAT}, \mathbf{MAN}_1, \mathbf{MAN}_2, \mathbf{WOMAN}_1, \mathbf{WOMAN}_2, \mathbf{CAKE}\}$$

$$F(\mathbf{JO}') = \mathbf{MAN}_1$$

$$F(\mathbf{BERTIE}') = \mathbf{MAN}_2$$

$$F(\mathbf{ETHEL}') = \mathbf{WOMAN}_1$$

$$F(\mathbf{FIONA}') = \mathbf{WOMAN}_2$$

$$F(\mathbf{CHESTER}') = \mathbf{DOG}$$

$$F(\mathbf{PRUDENCE}') = \mathbf{CAT}$$

$$F(\mathbf{THE-STUDENT}') = \mathbf{MAN}_1$$

$$F(\mathbf{THE-CAT}') = \mathbf{CAT}$$

$$F(\mathbf{THE-CAKE}') = \mathbf{CAKE}$$

Prädikatenlogik: ein Beispiel

$F(\text{RUN}')$	=	{ DOG, CAT }
$F(\text{LAUGH}')$	=	{ MAN₁, WOMAN₁ }
$F(\text{HOWL}')$	=	{ DOG }
$F(\text{SING}')$	=	{ WOMAN₂ }
$F(\text{SCREAM}')$	=	\emptyset
$F(\text{CRAZY}')$	=	\emptyset
$F(\text{DISGUSTING}')$	=	{ CAKE }
$F(\text{WEALTHY}')$	=	{ MAN₂ }
$F(\text{HAPPY}')$	=	{ MAN₁, MAN₂, WOMAN₁ }
$F(\text{MESSY}')$	=	\emptyset

Prädikatenlogik: ein Beispiel

- (3)
- a. Jo is Ethel.
 - b. Jo is the student.
 - c. Ethel was happy and laughed.
 - d. Fiona sang and was happy.
 - e. Bertie was wealthy.
 - f. The dog ran and howled.
 - g. The cat ran.
 - h. The cake was disgusting.

Interpretation und Übersetzung

- Wir wissen, wie man die Aussagen- und Prädikatenlogik wahrheitskonditional kompositional interpretiert. (Formale Methoden II)
- **Ziel:** Wir wollen das selbe für natürliche Sprachen erreichen.
- Vgl.: Richard Montague (1974), *English as a formal language* (eines der „Gründungsdokumente“ der formalen Semantik)
- Formale Logik dient dabei als Hilfsmittel.

Interpretation und Übersetzung

Natürliche Sprache



*(kompositionale)
Übersetzung*



Formale Logik



*(kompositionale)
Interpretation*



Wahrheitsbedingungen

Interpretation und Übersetzung

- Was bedeutet Kompositionalität bei Übersetzung?

Kompositionalitätsprinzip für Übersetzung

Die Übersetzung eines komplexen Ausdrucks ergibt sich aus der Übersetzung seiner Teile und der Art ihrer Komposition.

Interpretation und Übersetzung

- Kompositionale Übersetzung von natürlicher Sprache nach Prädikatenlogik:
 - setzt formale Grammatik der natürlichen Sprache voraus, um
 - die Begriffe „Teile“ und „Art ihrer Komposition“ präzise zu fassen
- einfachste (interessante) Variante einer formalen Grammatik:

kontextfreie Grammatik
- Programm lässt sich auch für komplexere Grammatiken (wie HPSG) durchführen
- Englisch bietet sich wegen fester Wortstellung und geringer Morphologie als Objektsprache an

Ein Fragment des Englischen

- formale Grammatik für kleinen Ausschnitt des Englischen (nach Cann 1993, Kapitel 2)

- Beispiele:

- (4)
- a. Chester ran.
 - b. Chester ate the cake.
 - c. Ethel gave the cake to Jo.
 - d. Ethel gave Jo the cake.
 - e. It rained.

- (5)
- a. The cat was poisoned by Ethel.
 - b. The cake was given to Jo by Ethel.
 - c. Jo was given the cake by Ethel.
 - d. Jo was the student.
 - e. Jo was happy.

Ein Fragment des Englischen

- (1) $S \rightarrow NP, V_i[+FIN]$
- (2) $S \rightarrow NP_1, V_t[+FIN], NP_2$
- (3) $S \rightarrow NP_1, V_{dt}[+FIN], NP_2, \mathbf{to}, NP_3$
- (4) $S \rightarrow NP_1, V_{dt}[+FIN], NP_2, NP_3$
- (5) $S \rightarrow \mathbf{it}, V_0[+FIN]$
- (6) $NP \rightarrow N_{pr}$
- (7) $NP \rightarrow \mathbf{the}, N$
- (8) $S \rightarrow NP_1, \mathbf{was}, V_t[PAS], \mathbf{by}, NP_2$
- (9) $S \rightarrow NP_1, \mathbf{was}, V_{dt}[PAS], \mathbf{to}, NP_2, \mathbf{by}, NP_3$
- (10) $S \rightarrow NP_1, \mathbf{was}, V_{dt}[PAS], NP_2, \mathbf{by}, NP_3$
- (11) $S \rightarrow NP_1, \mathbf{was}, NP_2$
- (12) $S \rightarrow NP, \mathbf{was}, A$

Ein Fragment des Englischen

N_{pr} → {*Prudence, Ethel, Chester, Jo, Bertie, Fiona*}

N → {*book, cake, cat, golfer, dog, lecture, student, singer*}

$V_i[+FIN]$ → {*ran, laughed, sang, howled, screamed*}

$V_t[+FIN]$ → {*read, poisoned, ate, liked, loathed, kicked*}

$V_{dt}[+FIN]$ → {*gave*}

$V_0[+FIN]$ → {*rained, snowed*}

$V_t[PAS]$ → {*read, poisoned, eaten, liked, loathed, kicked*}

$V_{dt}[PAS]$ → {*given*}

A → {*happy, crazy, messy, disgusting, wealthy*}

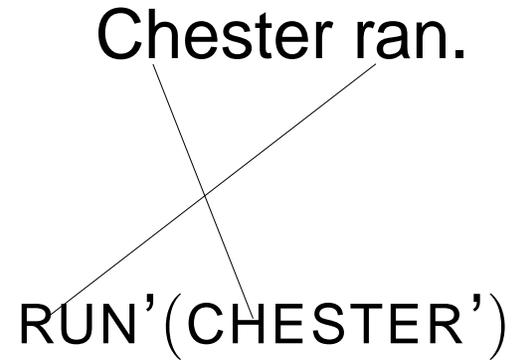
Syntaktische Kategorien

- sprachliche Einheiten, die ähnliche Distribution haben, werden in **Kategorien** zusammengefasst
- traditionelle Grammatik: *Satz, Substantiv, Artikel, intransitives Verb usw.*
- formale Grammatik: *NP, S, V_i, V_t, A, ...*
- grammatische Gesetzmäßigkeiten beziehen sich i. A. auf Kategorien, nicht konkrete Wörter
- Einheiten, die gleiche Kategorie haben, sind auch semantisch vergleichbar

Syntaktische Kategorien

- auch auf formale Sprachen anwendbar, z.B. Prädikatenlogik:
 - Formel (symbolisch: t)
 - Individuenkonstante (symbolisch: e)
 - nullstelliges Prädikat (symbolisch: $Pred_0$)
 - einstelliges Prädikat (symbolisch: $Pred_1$)
 - ...
 - n -stelliges Prädikat (symbolisch: $Pred_n$)

Kategorien-Korrespondenz



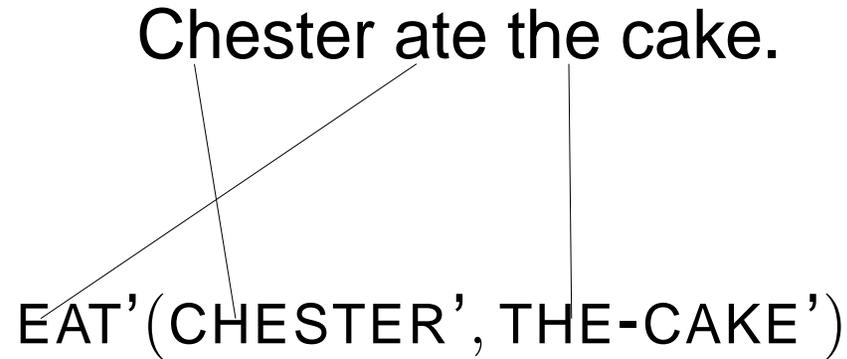
● Zuordnung:

● $S \Rightarrow t$

● $NP \Rightarrow e$

● $V_i \Rightarrow Pred_1$

Kategorien-Korrespondenz



- Zuordnung:

- $S \Rightarrow t$

- $NP \Rightarrow e$

- $V_t \Rightarrow Pred_2$

Kategorien-Korrespondenz

Ethel gave Chester the cake.

GIVE'(ETHEL', CHESTER', THE-CAKE')

● Zuordnung:

● $S \Rightarrow t$

● $NP \Rightarrow e$

● $V_{dt} \Rightarrow Pred_3$

Kategorien-Korrespondenz

It rained.

RAIN'

● Zuordnung:

● $S \Rightarrow t$

● $V_0 \Rightarrow Pred_0$

Kategorien-Korrespondenz

● insgesamt:

● $S \Rightarrow t$

● $NP \Rightarrow e$

● $V_0 \Rightarrow Pred_0$

● $V_i \Rightarrow Pred_1$

● $V_t \Rightarrow Pred_2$

● $V_{dt} \Rightarrow Pred_3$

● $A \Rightarrow Pred_1$

Mechanische Übersetzung

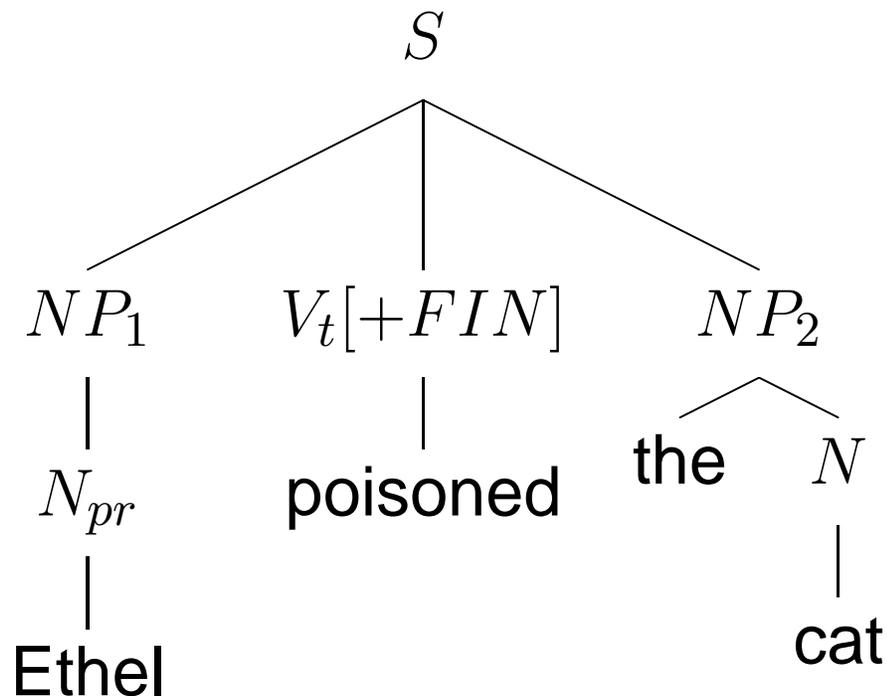
- Ausgangsbasis: Zuordnung von Englischen Wörtern/Phrasen zu prädikatenlogischen Konstanten **der zugeordneten Kategorie**
 - Ethel \Rightarrow ETHEL'
 - the cake \Rightarrow THE-CAKE'
 - gave \Rightarrow GIVE'
 - sang \Rightarrow SING'
 - ate \Rightarrow EAT'
 - messy \Rightarrow MESSY'
 - ...

Mechanische Übersetzung

- Konvention (Vorsicht: bei jedem Autor anders):
 - PL-Konstante ist entsprechendes englisches Wort in Kapitälchen, gefolgt von Apostroph
 - Flexion (Numerus, Kongruenz, Tempus) wird (vorläufig) ignoriert; Übersetzung basiert auf Nominativ/Infinitiv
 - Wörter in Phrasen werden durch Bindestrich verbunden

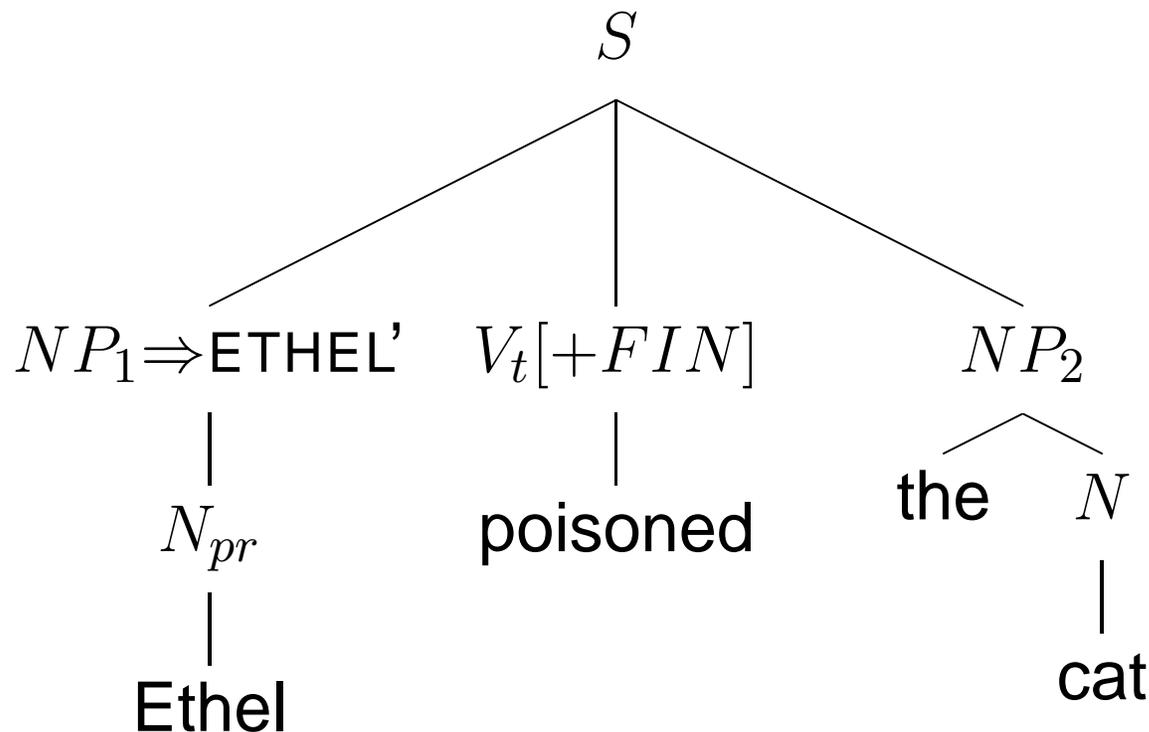
Mechanische Übersetzung

- Übersetzung von komplexen Ausdrücken erfolgt bottom-up entsprechend der syntaktischen Struktur



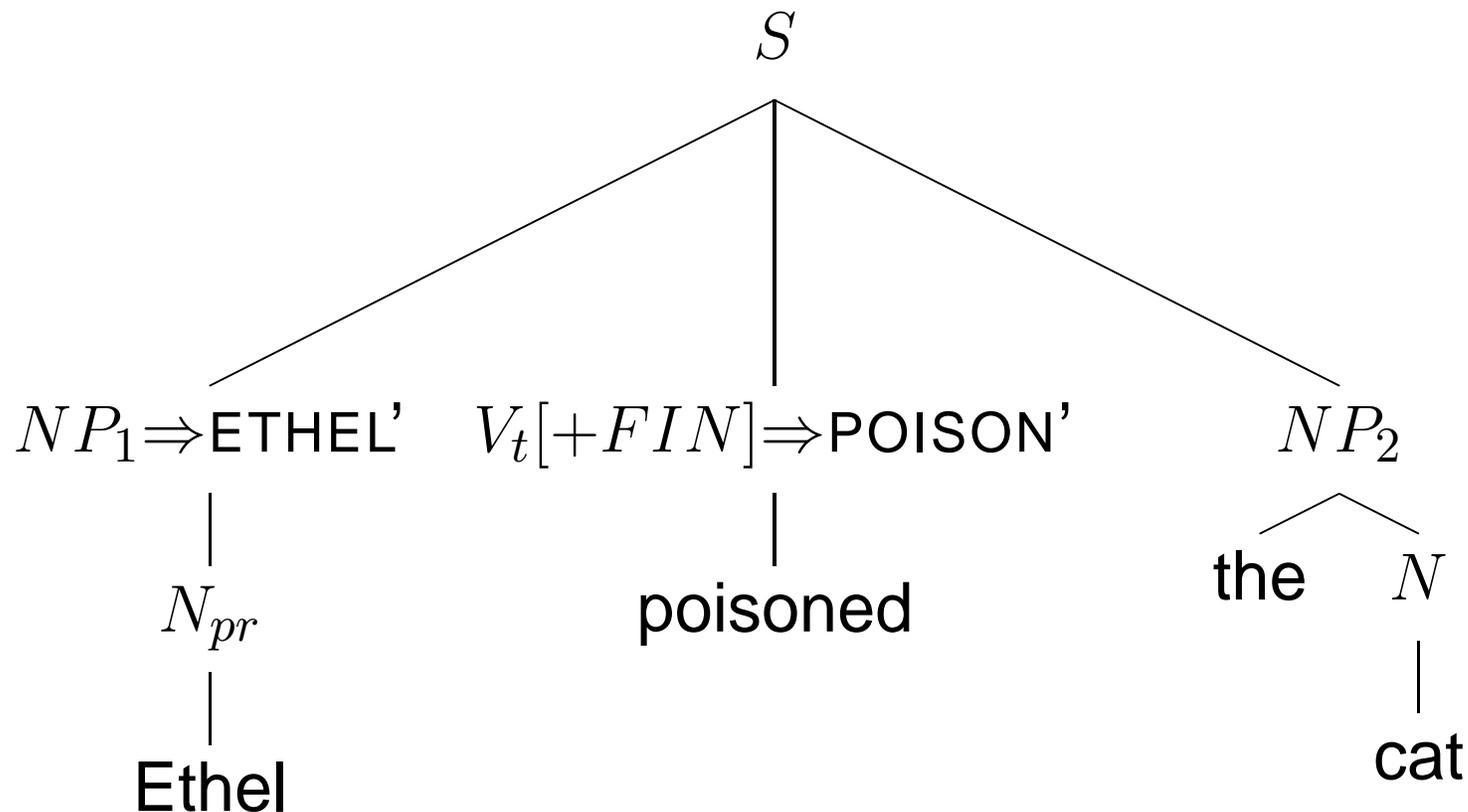
Mechanische Übersetzung

- Übersetzung von komplexen Ausdrücken erfolgt bottom-up entsprechend der syntaktischen Struktur



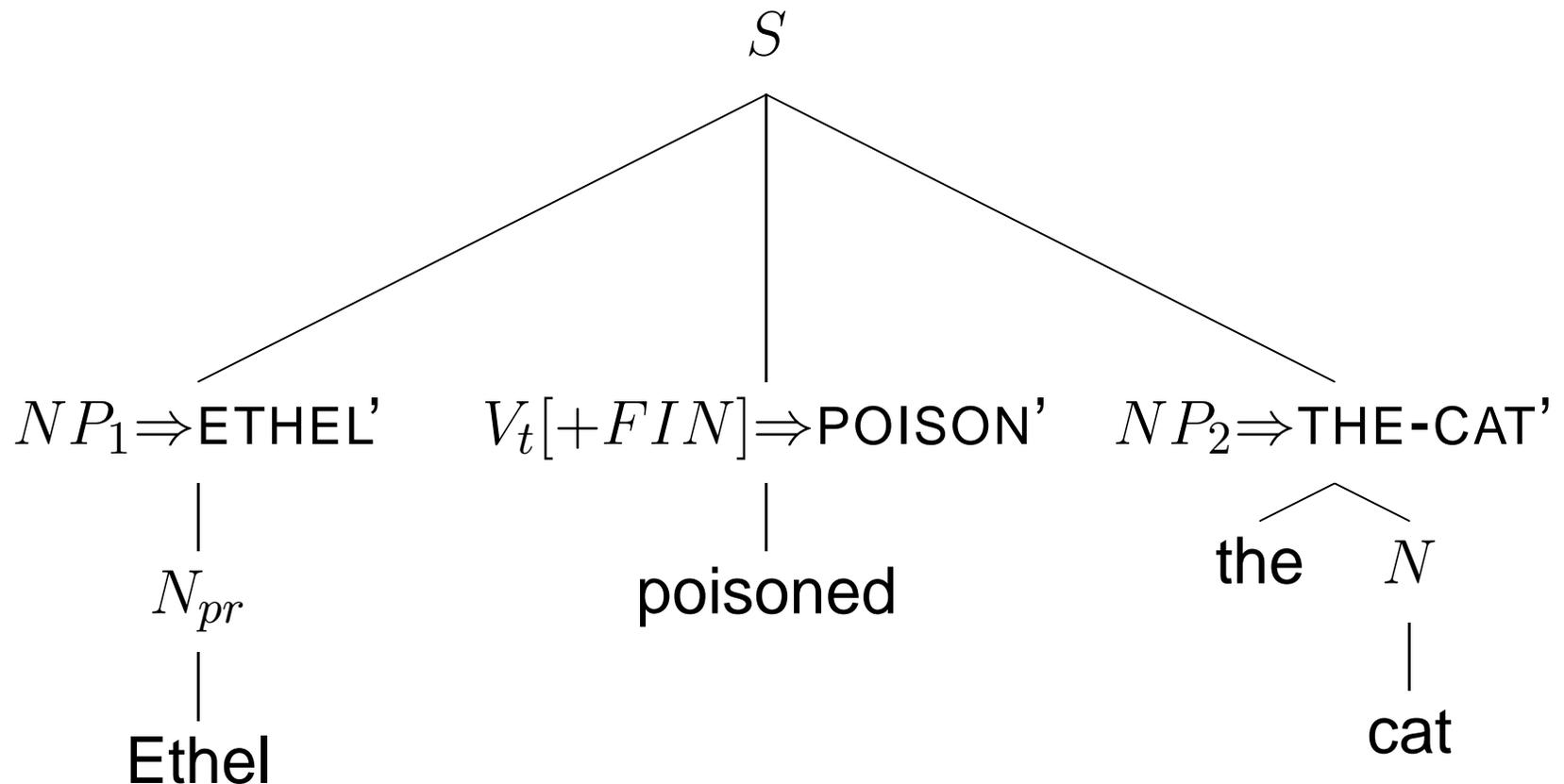
Mechanische Übersetzung

- Übersetzung von komplexen Ausdrücken erfolgt bottom-up entsprechend der syntaktischen Struktur



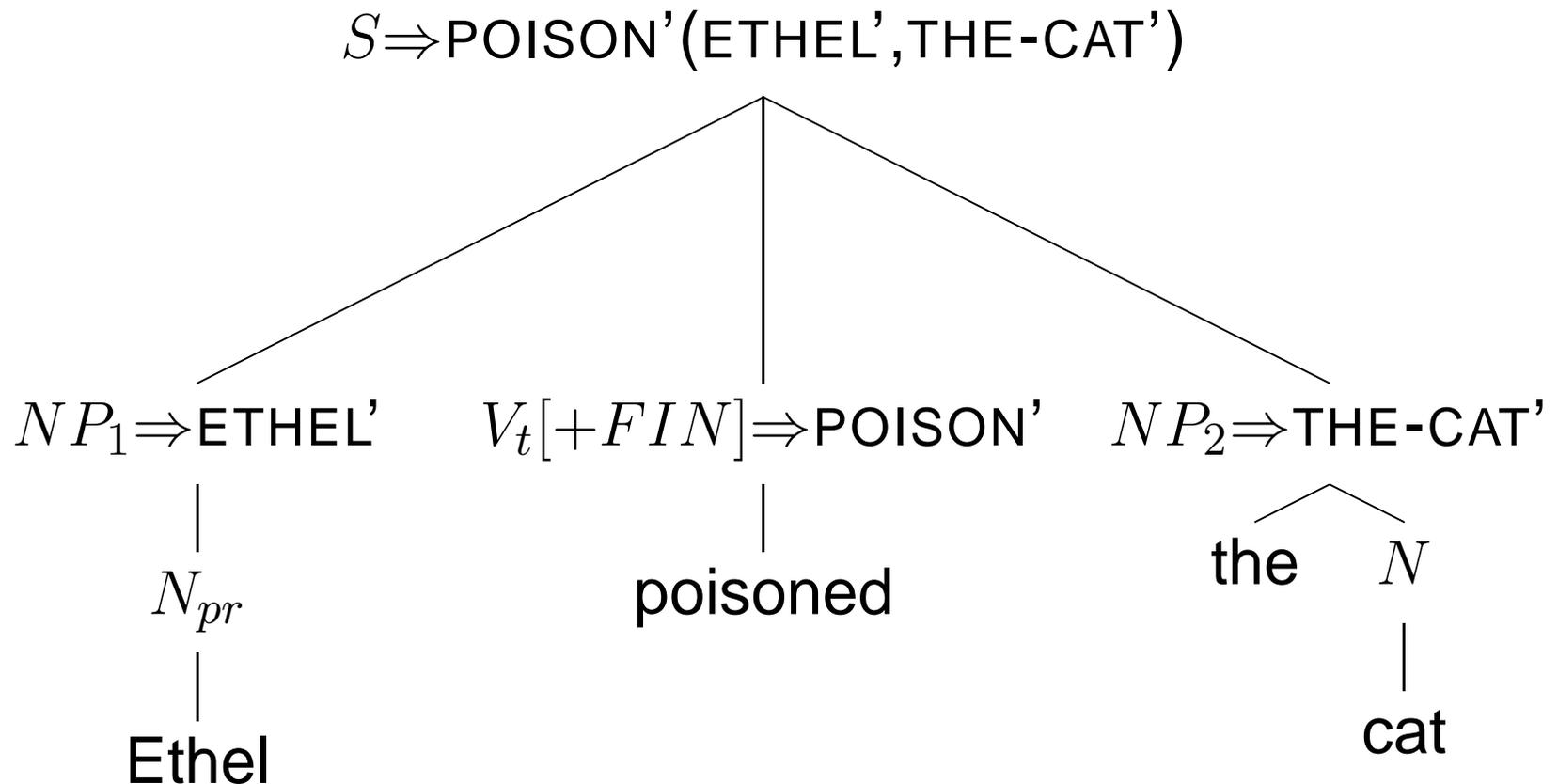
Mechanische Übersetzung

- Übersetzung von komplexen Ausdrücken erfolgt bottom-up entsprechend der syntaktischen Struktur



Mechanische Übersetzung

- Übersetzung von komplexen Ausdrücken erfolgt bottom-up entsprechend der syntaktischen Struktur



Mechanische Übersetzung

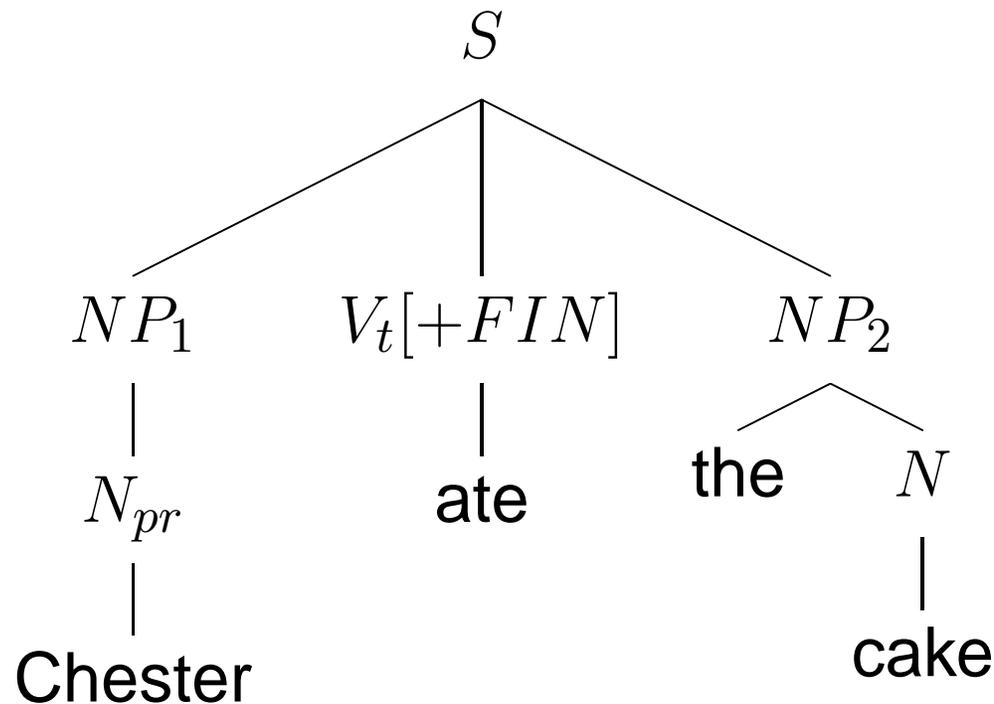
- um letzten Schritt zu mechanisieren, muss bekannt sein, wie syntaktisch komplexe Englische Strukturen übersetzt werden
- hängt ab
 - von Übersetzungen der Bestandteile
 - verwendeter syntaktischer Regel

Mechanische Übersetzung

- Beispiel auf vorletzter Folie
 - Regel: $S \rightarrow NP_1, V_t[FIN], NP_2$
 - Übersetzungen der Teile:
 - $NP_1 \Rightarrow \text{ETHEL}'$
 - $V_t[FIN] \Rightarrow \text{POISON}'$
 - $NP_2 \Rightarrow \text{THE-CAT}'$
 - Übersetzungsregel: $S \Rightarrow V_t[FIN]'(NP_1', NP_2')$
 - (Konvention: X' steht für die Übersetzung von X)

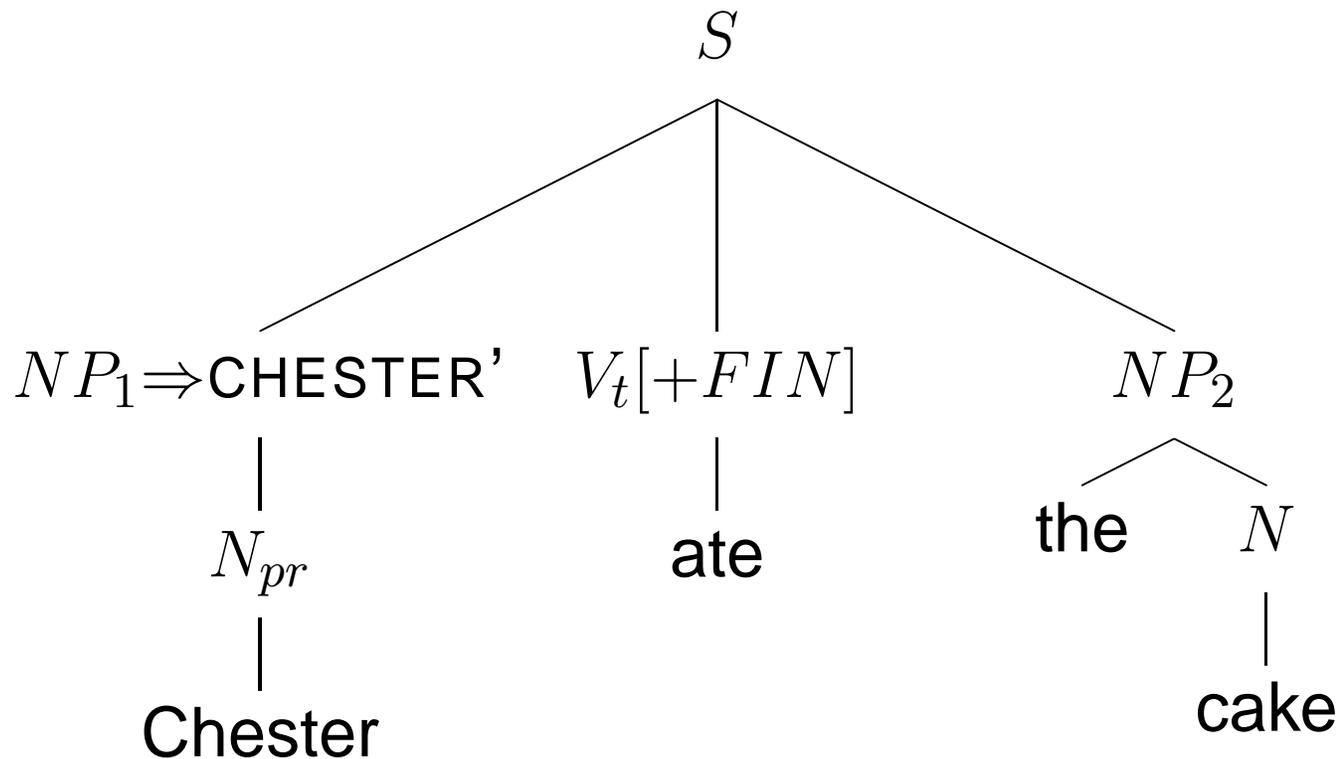
Mechanische Übersetzung

- Regel gilt unabhängig von verwendetem lexikalischem Material



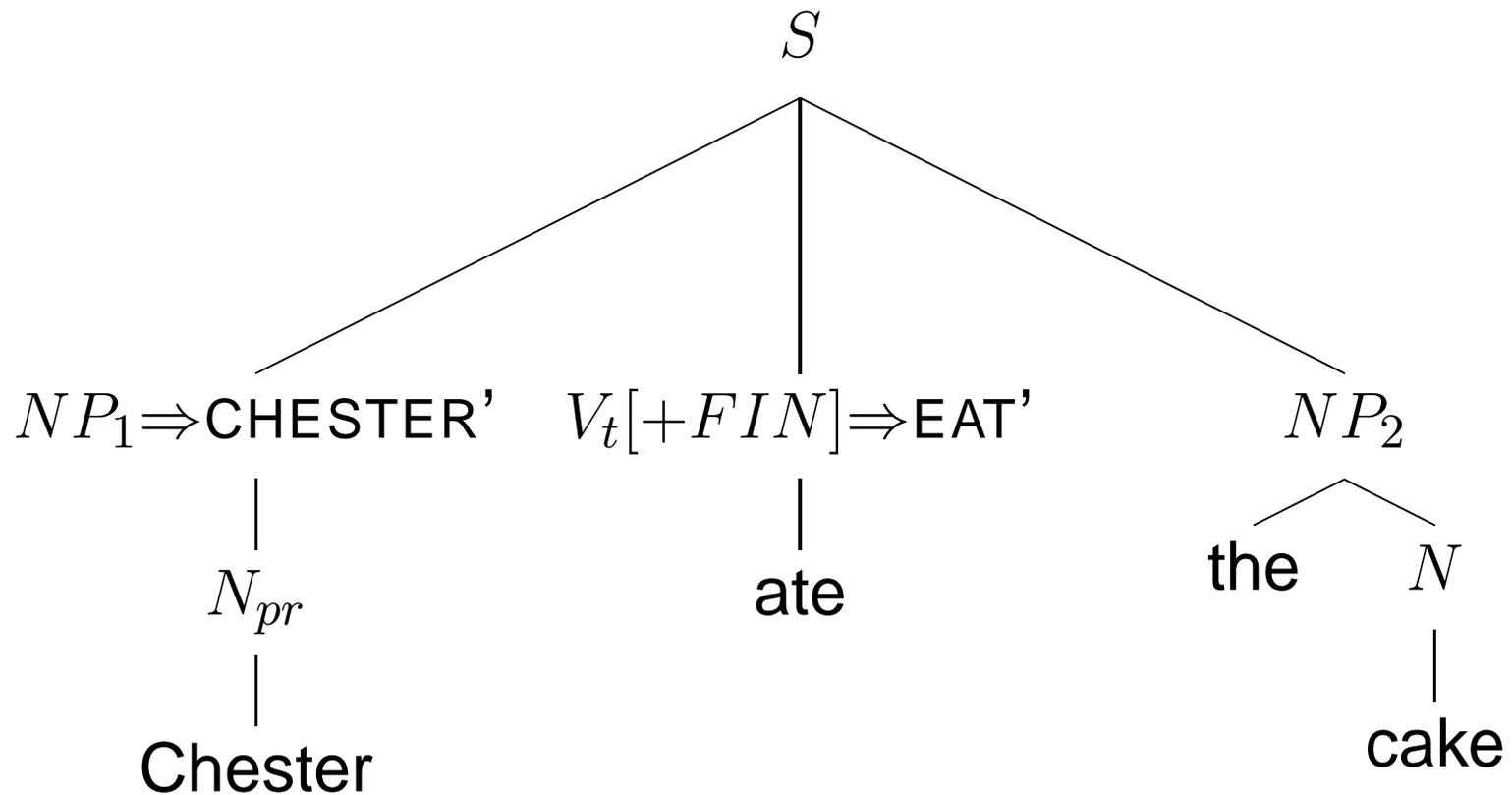
Mechanische Übersetzung

- Regel gilt unabhängig von verwendetem lexikalischem Material



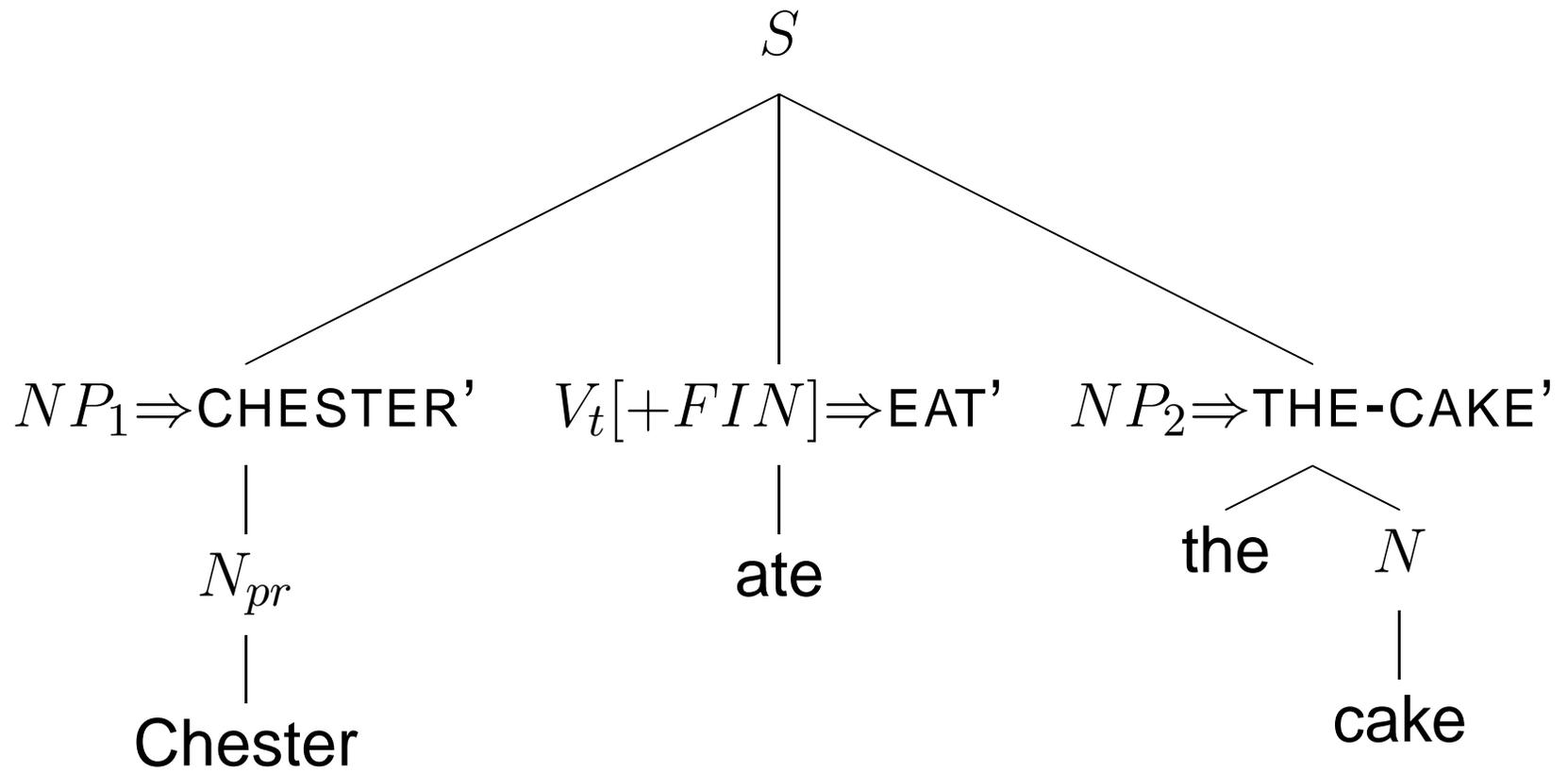
Mechanische Übersetzung

- Regel gilt unabhängig von verwendetem lexikalischem Material



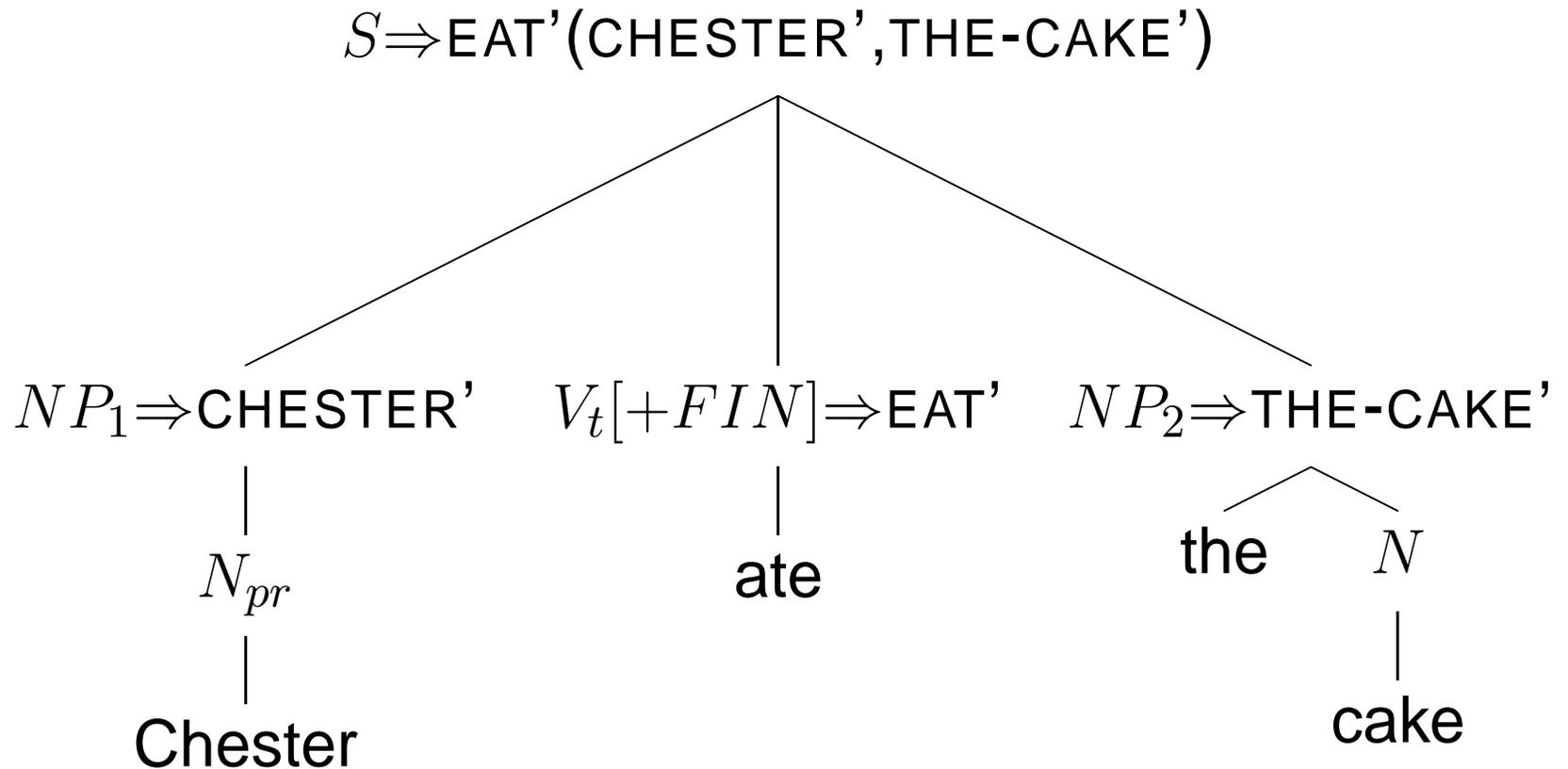
Mechanische Übersetzung

- Regel gilt unabhängig von verwendetem lexikalischem Material



Mechanische Übersetzung

- Regel gilt unabhängig von verwendetem lexikalischem Material



Mechanische Übersetzung

● Regel-Regel-Korrespondenz

1. $S \rightarrow NP, V_i[+FIN]$
 $S \Rightarrow V_i[+FIN]'(NP)$

2. $S \rightarrow NP_1, V_t, NP_2$
 $S \Rightarrow V_t'(NP_1', NP_2')$

3. $S \rightarrow NP_1, V_{dt}[+FIN], NP_2, \text{to}, NP_3$
 $S \Rightarrow V_{dt}'(NP_1', NP_2', NP_3')$

4. $S \rightarrow NP_1, V_{dt}[+FIN], NP_2, NP_3$
 $S \Rightarrow V_{dt}(NP_1', NP_3', NP_2')$

Mechanische Übersetzung

5. $S \rightarrow \text{it}, V_0[+FIN]$
 $S \Rightarrow V'_0$

6. $NP \rightarrow N_{pr}$
 $NP \Rightarrow N'_{pr}$

7. $NP \rightarrow \text{the}, N$
 $NP \Rightarrow \text{THE-}N'$

8. $S \rightarrow NP_1, \text{was}, V_t[PAS], \text{by}, NP_2$
 $S \Rightarrow V'_t(NP_2, NP_1)$

9. $S \rightarrow NP_1, \text{was}, V_{dt}[PAS], \text{to}, NP_2, \text{by}, NP_3$
 $S \Rightarrow V'_{dt}(NP'_3, NP'_1, NP'_2)$

Mechanische Übersetzung

10. $S \rightarrow NP_1, \text{was}, V_{dt}[PAS], NP_2, \text{by}, NP_3$

$S \Rightarrow V'_{dt}(NP'_3, NP'_2, NP'_1)$

11. $S \rightarrow NP_1, \text{was}, NP_2$

$S \Rightarrow NP'_1 = NP'_2$

12. $S \rightarrow NP, \text{was}, A$

$S \Rightarrow A'(NP')$

Mechanische Übersetzung

Passiv

- *Ethel poisoned the cat* wird übersetzt als

POISON'(ETHEL', THE-CAT')

- *The cat was poisoned by Ethel* wird ebenfalls übersetzt als

POISON'(ETHEL', THE-CAT')

- Ergo: Die beiden Sätze sind synonym.