

# *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  $\varphi$  und  $\psi$  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

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

# 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:

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



# 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

$F(\text{RUN}')$	=	{ <b>DOG, CAT</b> }
$F(\text{LAUGH}')$	=	{ <b>MAN<sub>1</sub>, WOMAN<sub>1</sub></b> }
$F(\text{HOWL}')$	=	{ <b>DOG</b> }
$F(\text{SING}')$	=	{ <b>WOMAN<sub>2</sub></b> }
$F(\text{SCREAM}')$	=	$\emptyset$
$F(\text{CRAZY}')$	=	$\emptyset$
$F(\text{DISGUSTING}')$	=	{ <b>CAKE</b> }
$F(\text{WEALTHY}')$	=	{ <b>MAN<sub>2</sub></b> }
$F(\text{HAPPY}')$	=	{ <b>MAN<sub>1</sub>, MAN<sub>2</sub>, WOMAN<sub>1</sub></b> }
$F(\text{MESSY}')$	=	$\emptyset$

# 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)
- Chester ran.
  - Chester ate the cake.
  - Ethel gave the cake to Jo.
  - Ethel gave Jo the cake.
  - It rained.

- (5)
- The cat was poisoned by Ethel.
  - The cake was given to Jo by Ethel.
  - Jo was given the cake by Ethel.
  - Jo was the student.
  - 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*}

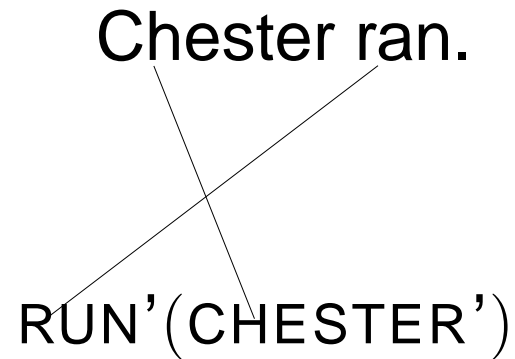
# Syntaktische Kategorien

- sprachliche Einheiten, die ähnliche Distribution haben, werden in **Kategorien** zusammengefasst
- traditionelle Grammatik: *Satz, Substantiv, Artikel, intransitives Verb usw.*
- formale Grammatik: *NP, S, V<sub>i</sub>, V<sub>t</sub>, 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



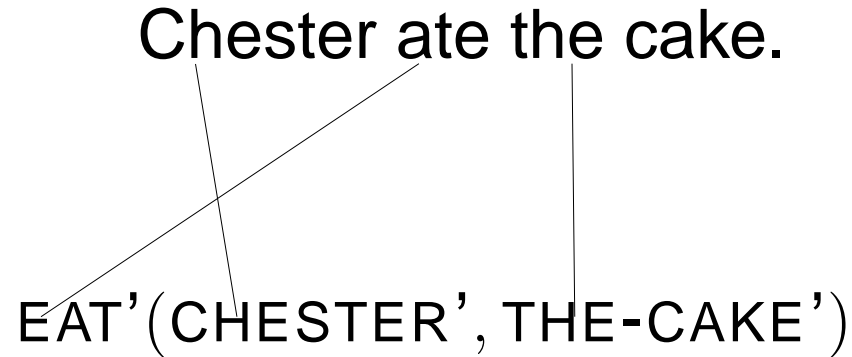
## ● Zuordnung:

●  $S \Rightarrow t$

●  $NP \Rightarrow e$

●  $V_i \Rightarrow Pred_1$

# 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

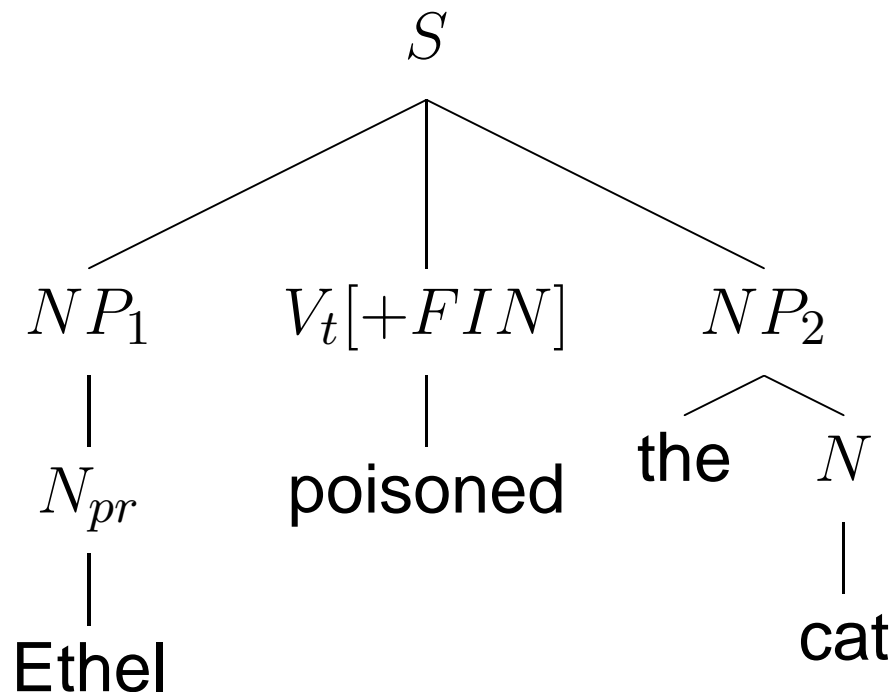
- Ausgangsbasis: Zuordnung von Englischen Wörtern/Phrasen zu prädikatenlogischen Konstanten **der zugeordneten Kategorie**
  - Ethel  $\Rightarrow$  ETHEL'
  - the cake  $\Rightarrow$  THE-CAKE'
  - gave  $\Rightarrow$  GIVE'
  - sang  $\Rightarrow$  SING'
  - ate  $\Rightarrow$  EAT'
  - messy  $\Rightarrow$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

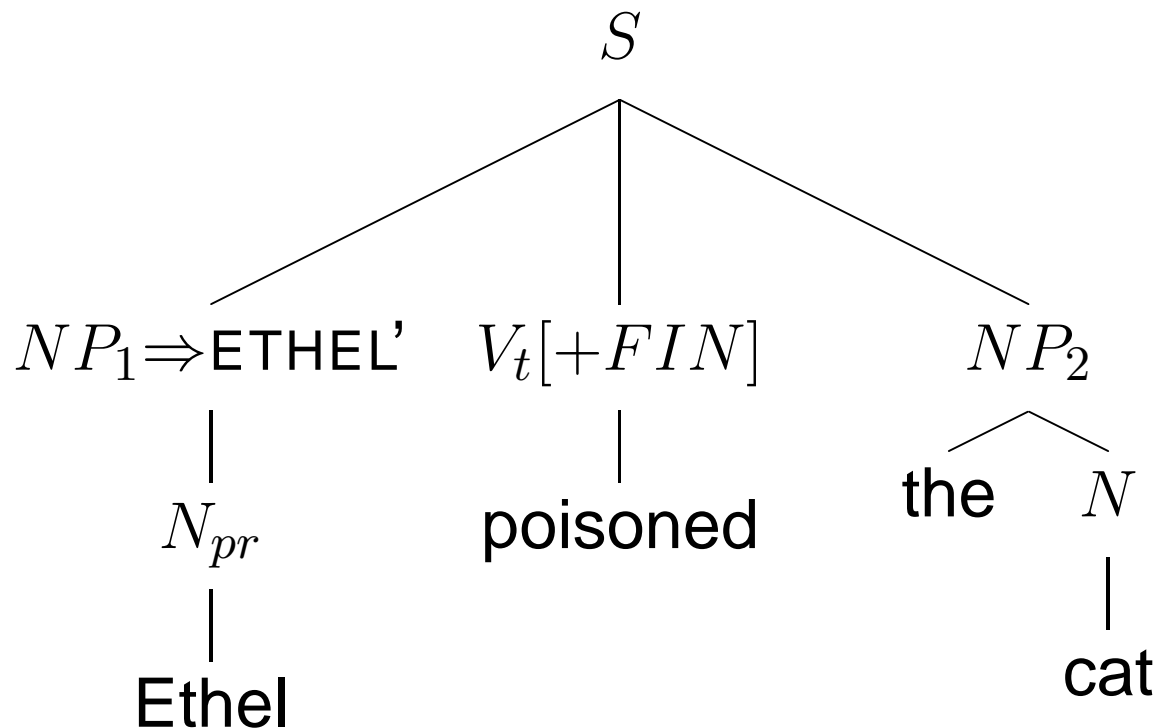
# Mechanische Übersetzung

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



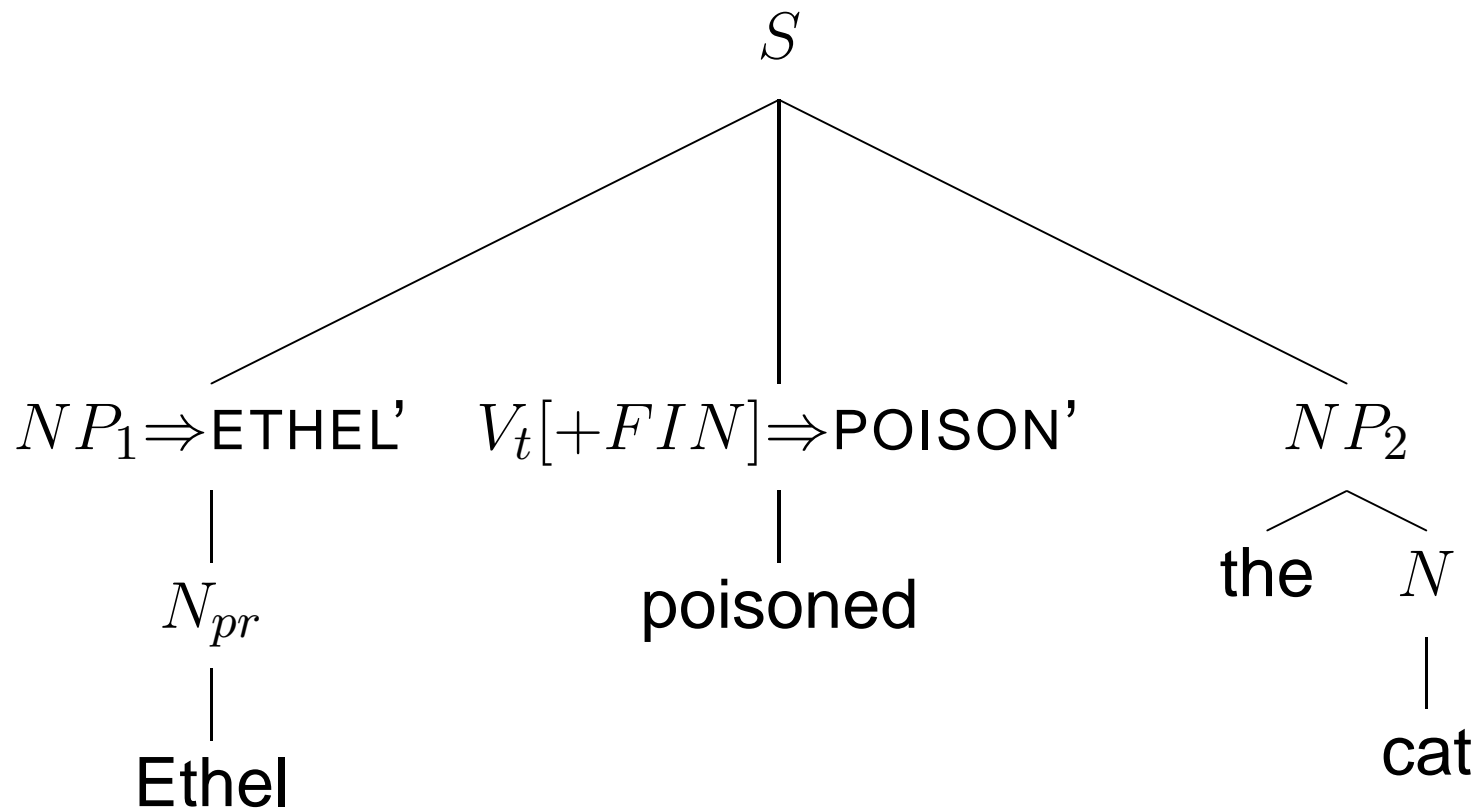
# Mechanische Übersetzung

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



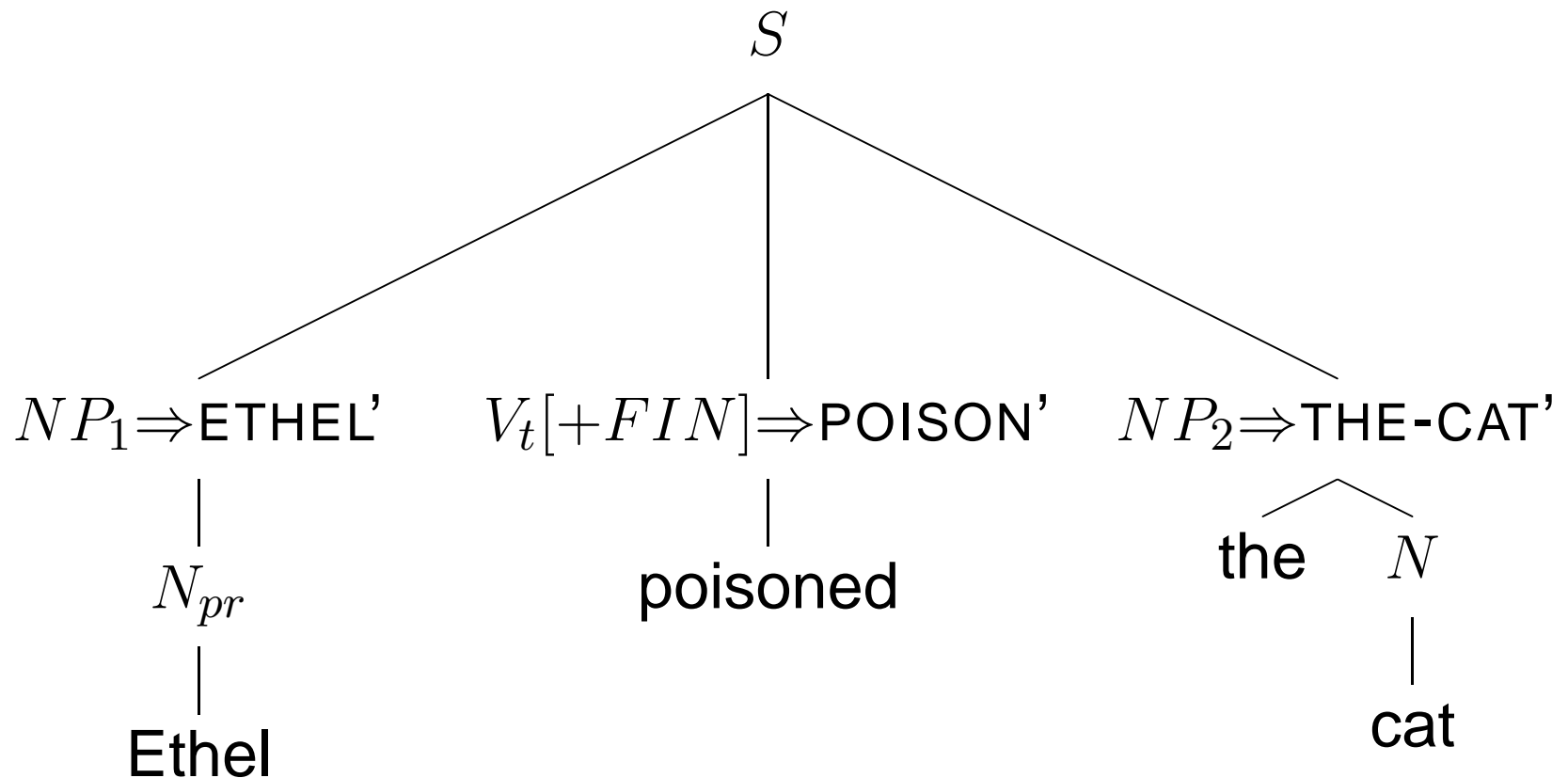
# Mechanische Übersetzung

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



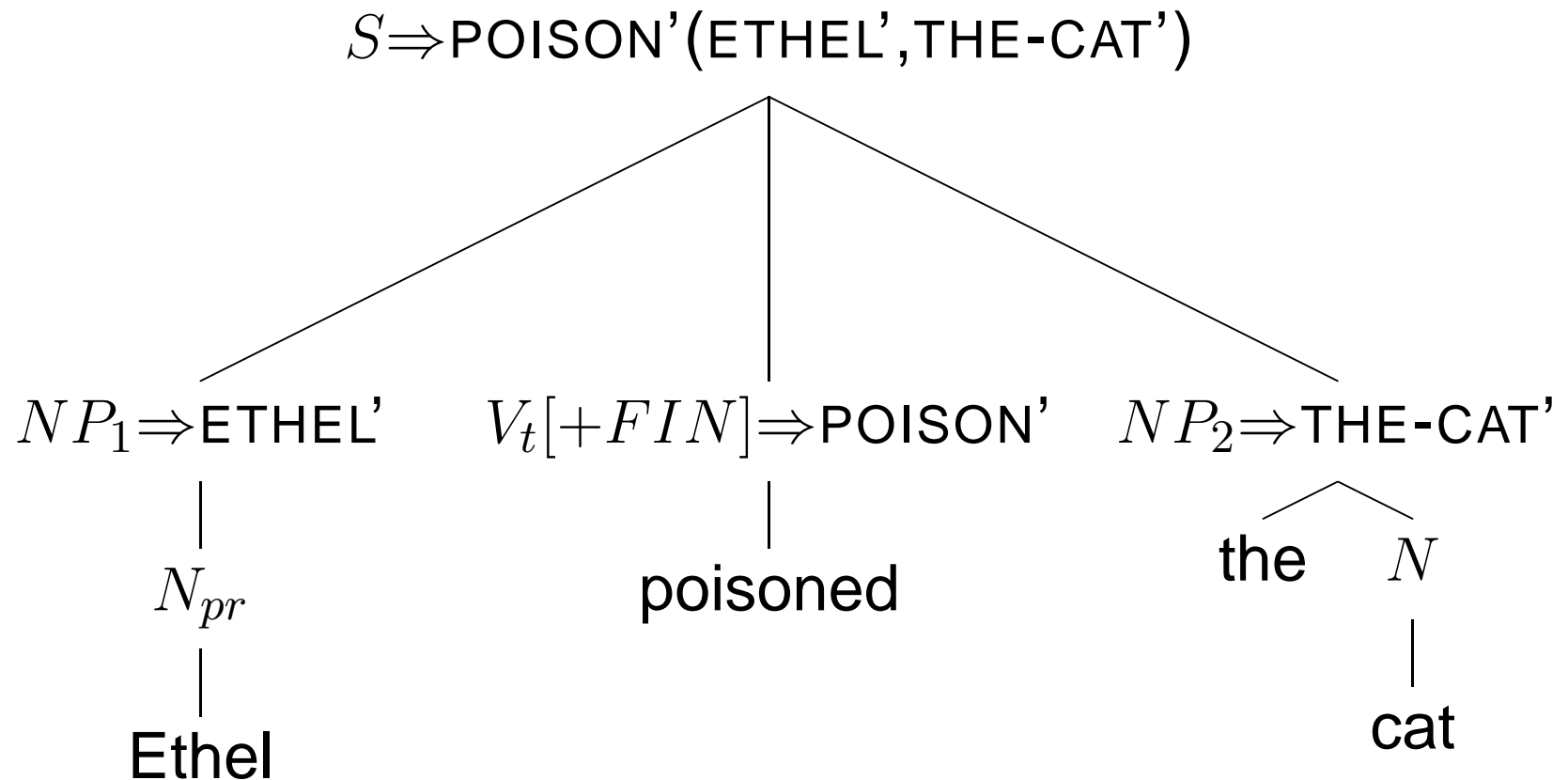
# Mechanische Übersetzung

- 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

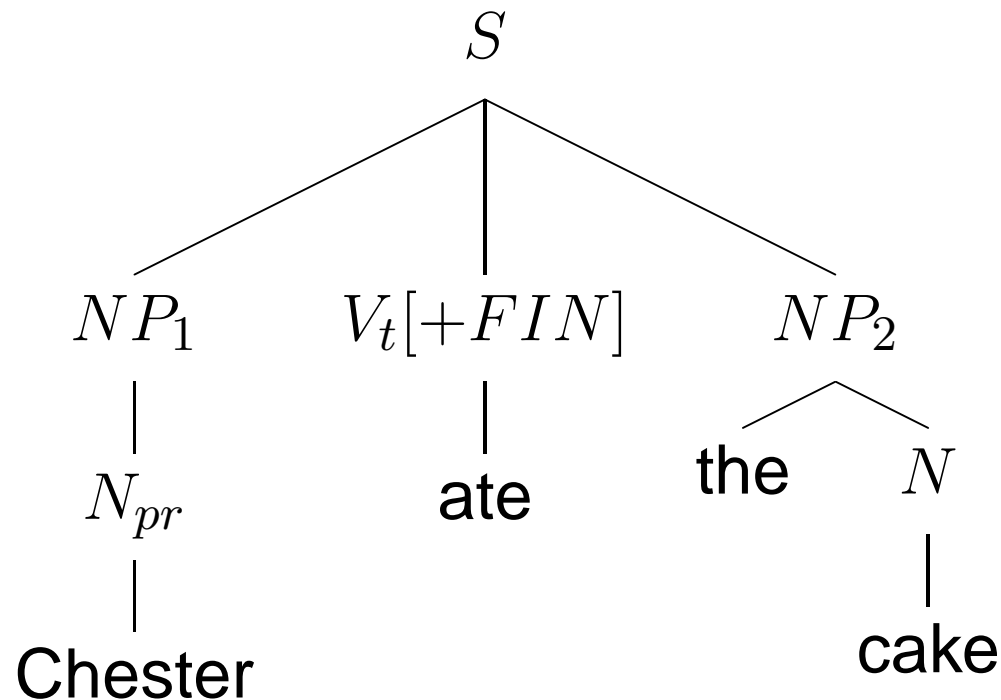
- um letzten Schritt zu mechanisieren, muss bekannt sein, wie syntaktisch komplexe Englische Strukturen übersetzt werden
- hängt ab
  - von Übersetzungen der Bestandteile
  - verwendeter syntaktischer Regel

# 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  $X$ )

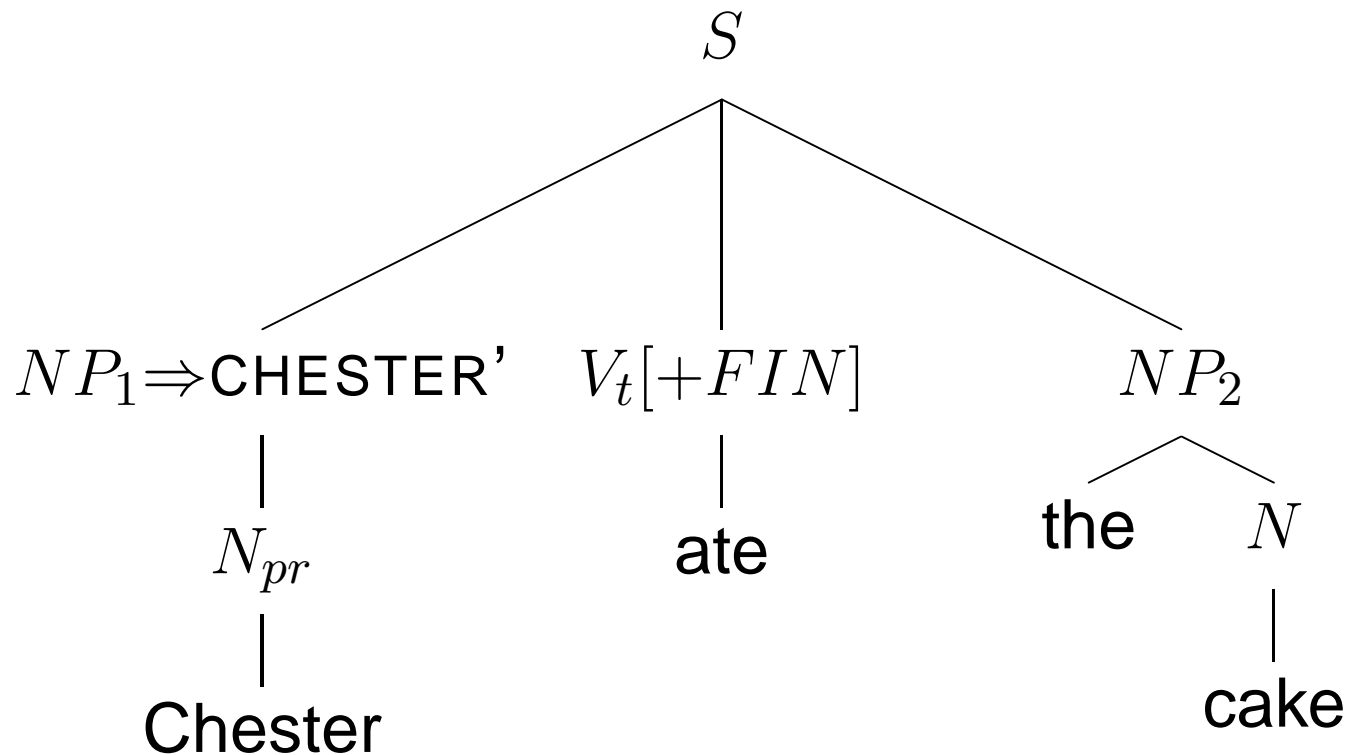
# Mechanische Übersetzung

- Regel gilt unabhängig von verwendetem lexikalischem Material



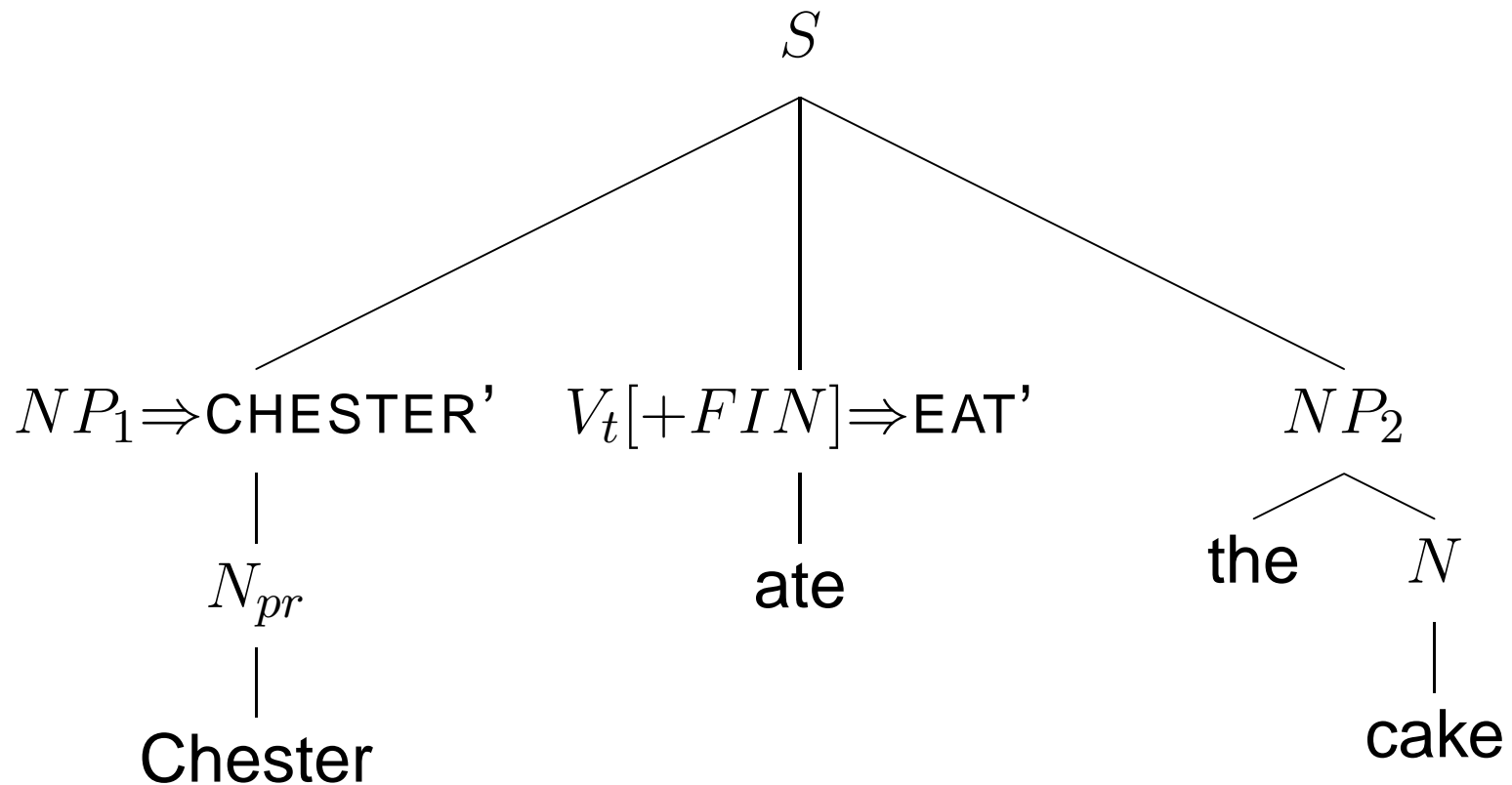
# Mechanische Übersetzung

- Regel gilt unabhängig von verwendetem lexikalischem Material



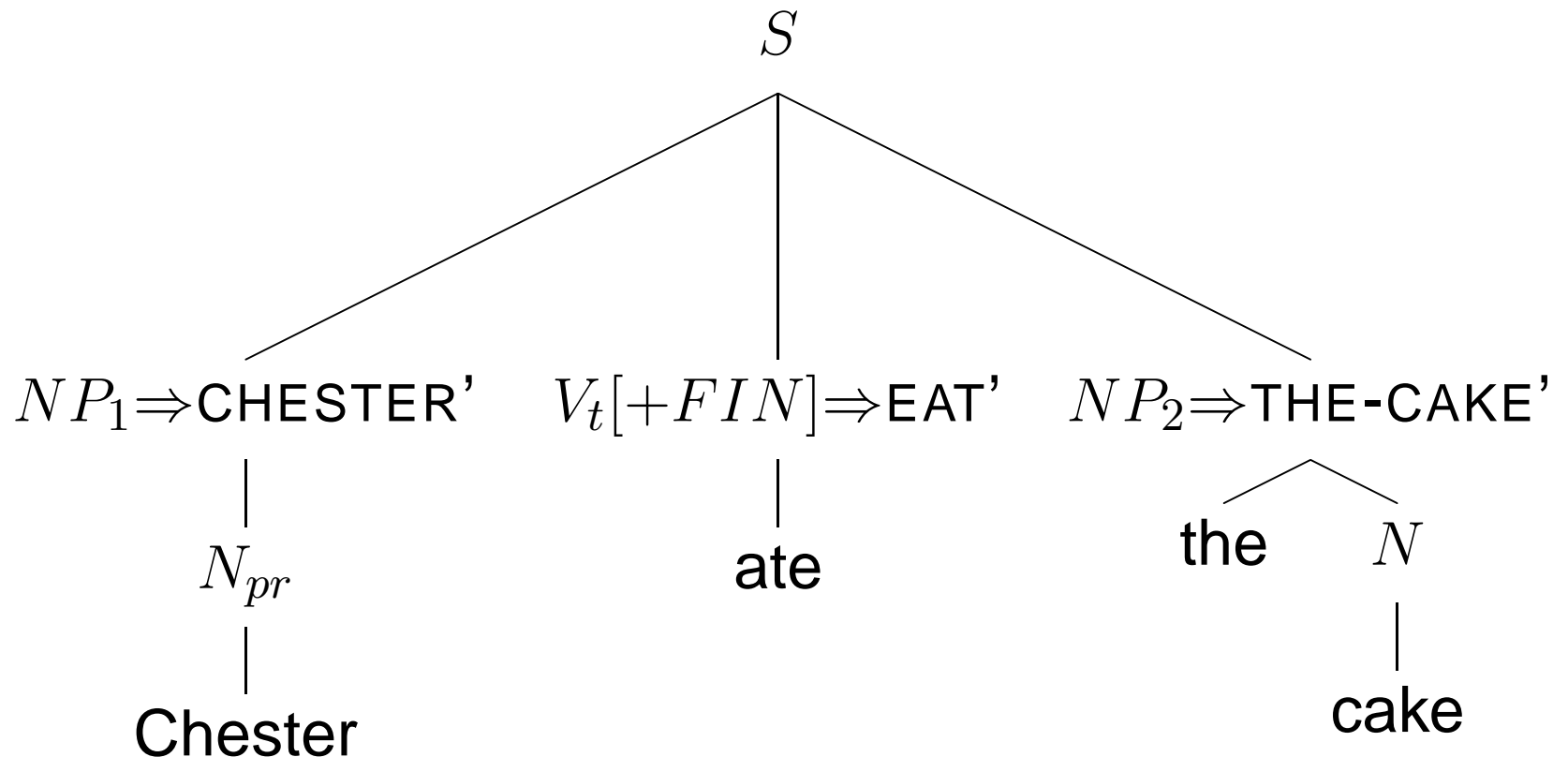
# Mechanische Übersetzung

- Regel gilt unabhängig von verwendetem lexikalischem Material



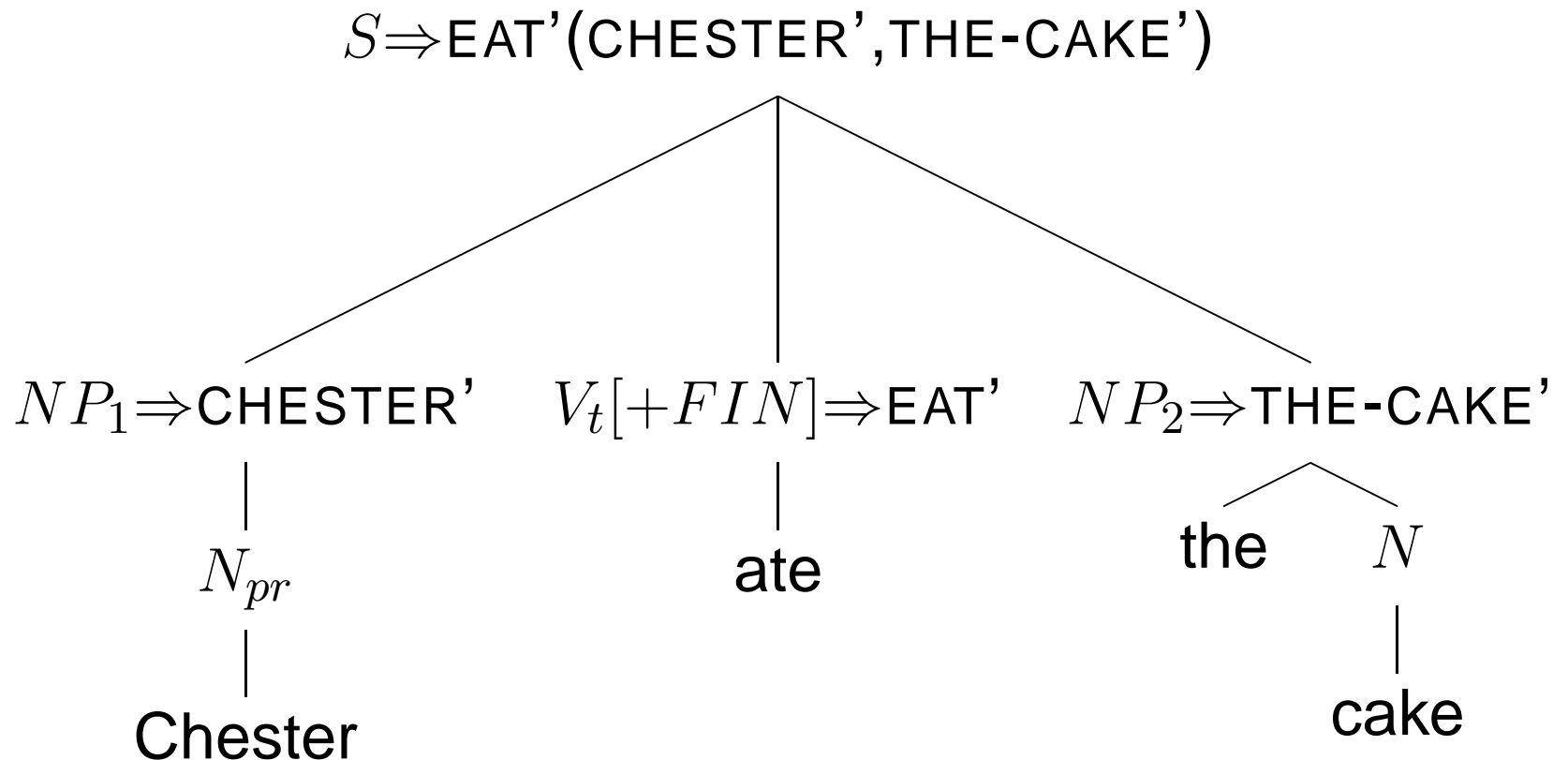
# Mechanische Übersetzung

- 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.