Vorlesung Grammatikformalismen

Teil I: Unifikationsgrammatik

Hans Uszkoreit

© 2011 Hans Uszkoreit

Phrasenstruktur-Bäume

Relationen: unmittelbare Dominanz - Dominanz
unmittelbare Präzedenz - Präzedenz

Konstituentenstrukturbaum:

(N, Q, D, P, L)

N - endliche Menge von Knoten
Q - endliche Menge von Etiketten
D - schwache Teilordnung in N × N, die Dominanzrelation
P - starke Teilordnung in N × N, die Präzedenzrelation
L - Funktion von N in Q, die Etikettierfunktion

Bedingungen:

Wurzelbedingung
Exklusivitätsbedingung
Kreuzungsfreiheit

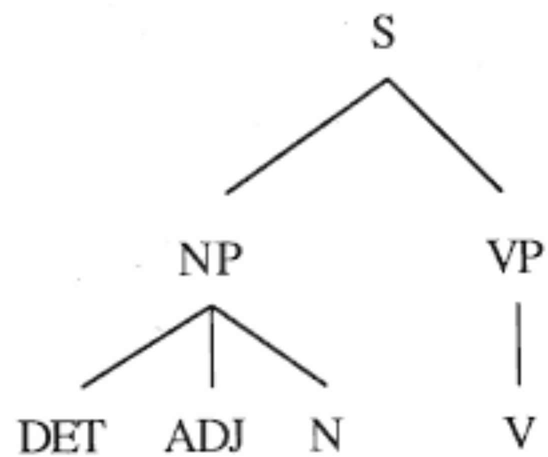
© 2011 Hans Uszkoreit

Ableitungen und Bäume

Äquivalente Ableitungen

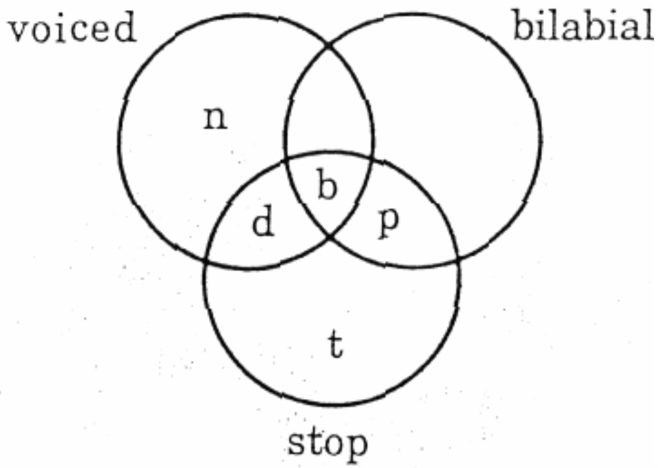
S → NP VP
NP → DET ADJ N
VP → V

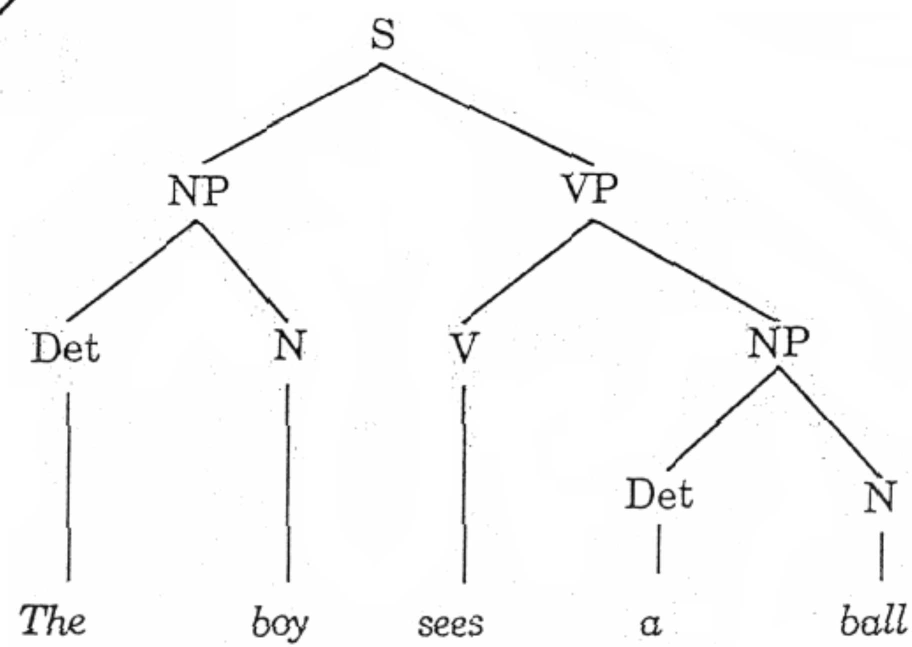
S	S
NP VP	NP VP
DET ADJ N VP	NP V
DET ADJ N V	DET ADJ N V



Zwei Arten von Strukturen

[voiced : -
bilabial : +
stop : +]

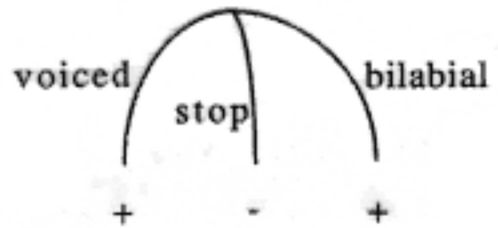




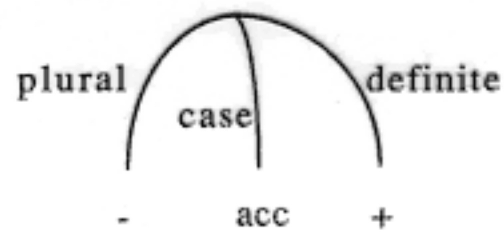
© 2011 Hans Uszkoreit

Komplexe Merkmale I

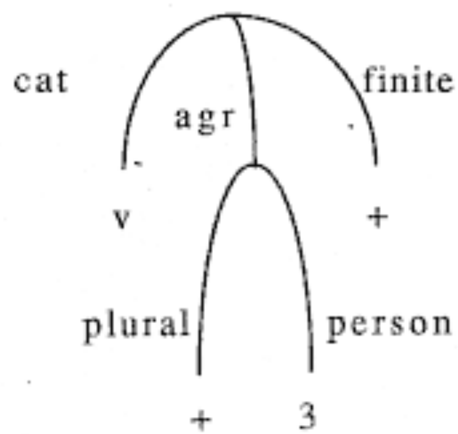
$$\begin{bmatrix} \text{voiced} : - \\ \text{bilabial} : + \\ \text{stop} : + \end{bmatrix}$$



$$\begin{bmatrix} \text{plural} : - \\ \text{definite} : + \\ \text{case} : \text{acc} \end{bmatrix}$$

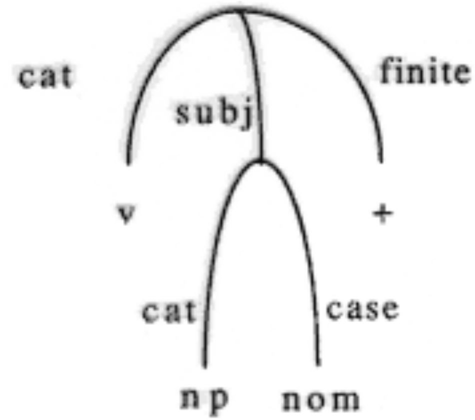


$$\begin{bmatrix} \text{cat} : \text{v} \\ \text{finite} : + \\ \text{agr} : \begin{bmatrix} \text{plural} : + \\ \text{person} : 3 \end{bmatrix} \end{bmatrix}$$

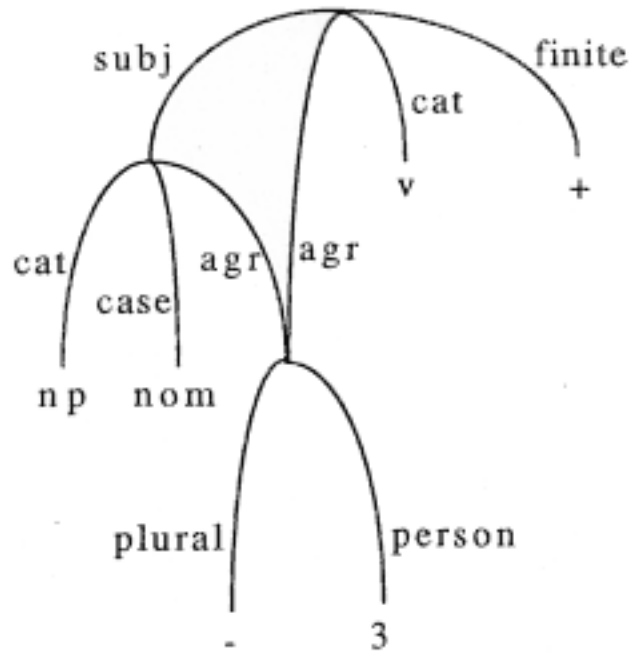


Komplexe Merkmale II

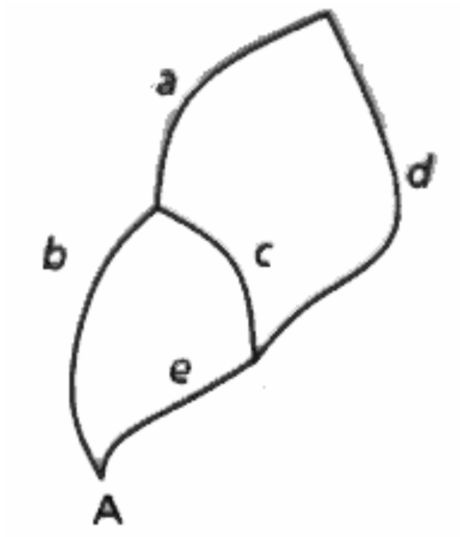
$$\begin{bmatrix} \text{cat} : \text{v} \\ \text{finite} : + \\ \text{subj} : \begin{bmatrix} \text{cat} : \text{np} \\ \text{case} : \text{nom} \end{bmatrix} \end{bmatrix}$$



$$\begin{bmatrix} \text{cat} : \text{v} \\ \text{finite} : + \\ \text{agr} : \boxed{1}\begin{bmatrix} \text{plural} : - \\ \text{person} : 3 \end{bmatrix} \\ \text{subj} : \begin{bmatrix} \text{cat} : \text{np} \\ \text{case} : \text{nom} \\ \text{agr} : \boxed{1}[\,] \end{bmatrix} \end{bmatrix}$$



Drei Notationen für einen DAG



$$\begin{bmatrix} a: & \begin{bmatrix} b: \boxed{1}\ A \\ c: \boxed{2} \begin{bmatrix} e: \boxed{1} \end{bmatrix} \end{bmatrix} \\ d: & \boxed{2} \end{bmatrix}$$

$$\langle a\ b \rangle = A$$

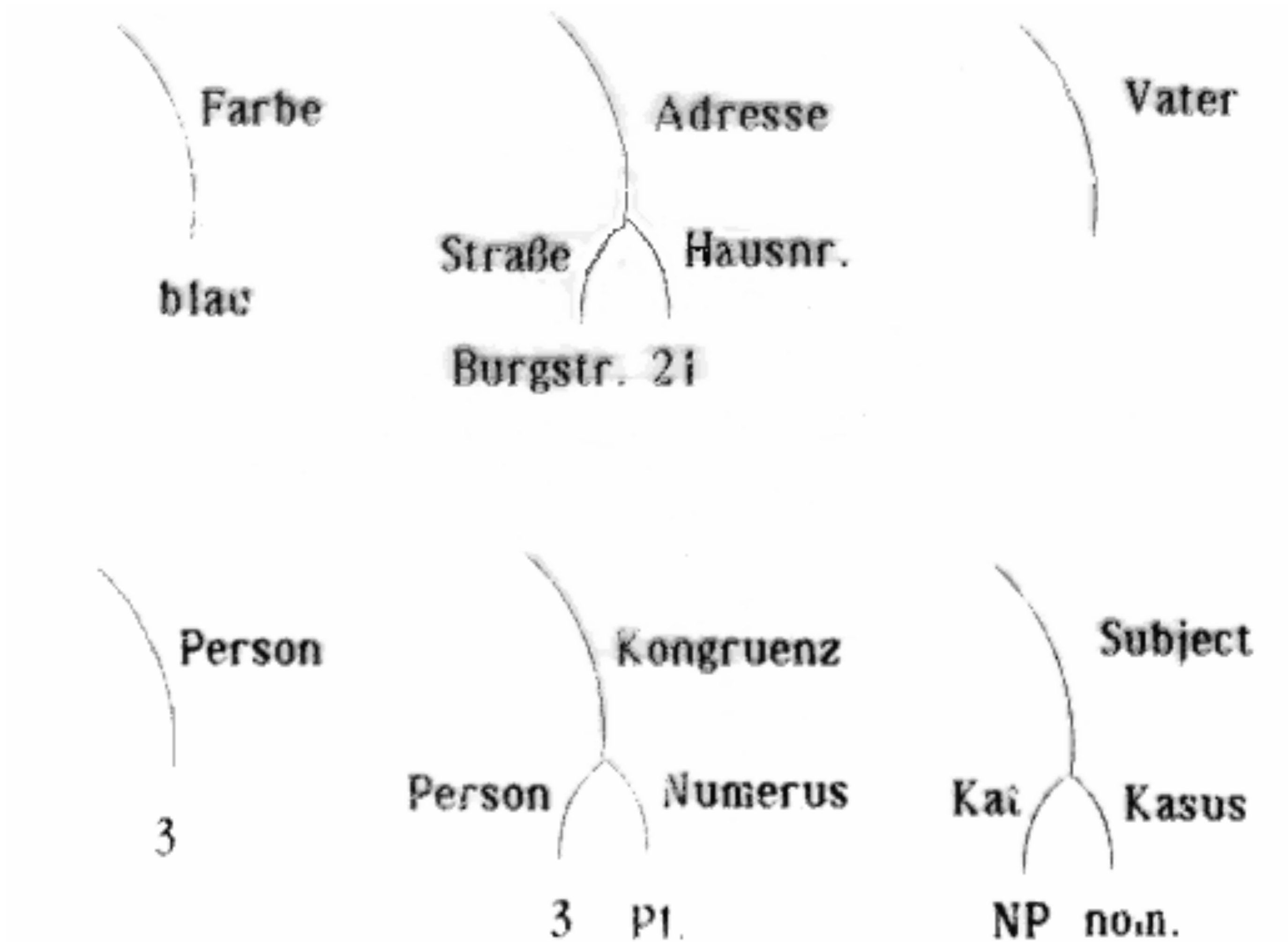
$$\langle a\ c\ e \rangle = \langle a\ b \rangle$$

$$\langle a\ c \rangle = \langle d \rangle$$

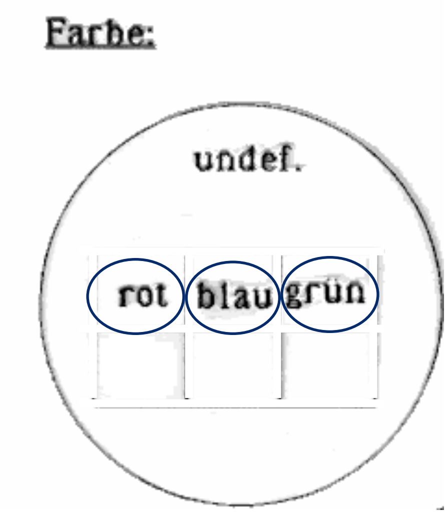
© 2011 Hans Uszkoreit

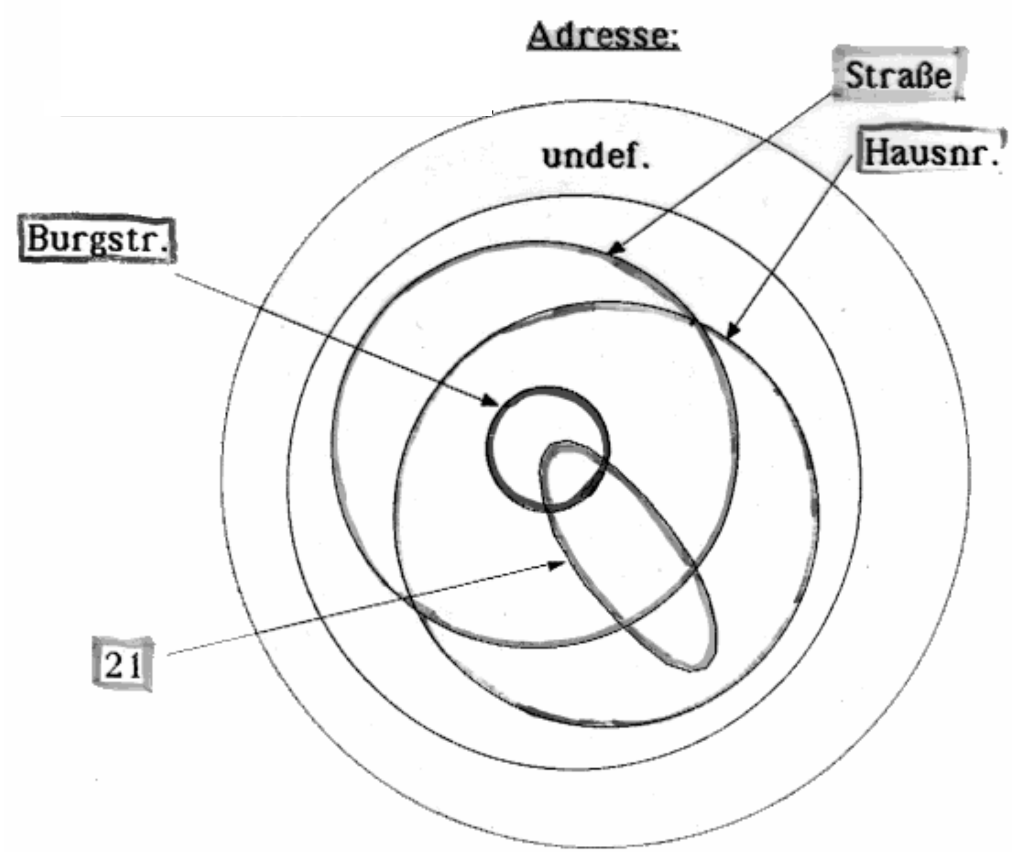
Merkmalswerte

atomare Werte | komplexe Werte | komplexe Werte vom gleichen Typ



Semantik der Merkmalsterme





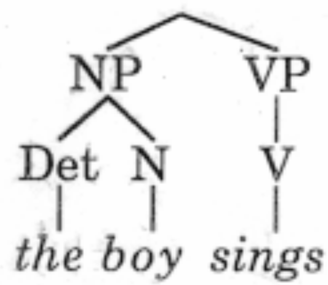
Constituent Structure and Category Information

A traditional representation of a syntactic entity may be viewed as an ordered pair of a category and a constituent structure. <cat, cs> $\in$ CAT $\times$ CS

In a CF-PSG, cat is atomic and cs is a list of syntactic representations (a PS-tree without the root node).

<S,
(<NP,
(<Det,
(<*the*, Ø>)>,
<N,
(<*boy*, Ø>)>)>,
<VP,
(<V,
(<*sings*, Ø>)>)>)>

cat = S
cs =



In a <u>simple</u> unification grammar, cat is a feature structure and cs is a PS-tree.

© 2011 Hans Uszkoreit

Phrasenstrukturregeln und Merkmalsstrukturen

$S \rightarrow NP \;\; VP$

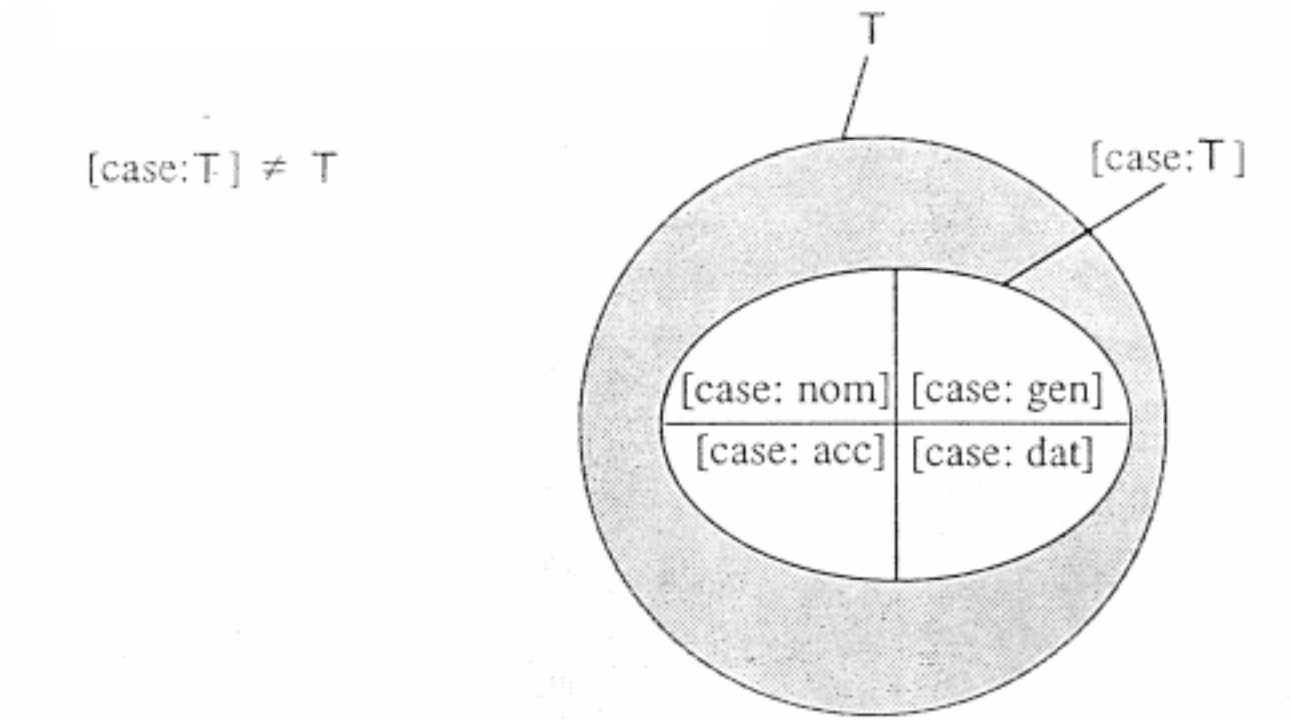
$X_0 \rightarrow X_1 \;\; X_2$

$$\begin{bmatrix} \text{S:} \begin{bmatrix} \text{cat: S} \\ \text{finite:}^{\langle 1 \rangle} \end{bmatrix} \\ \text{NP:} \begin{bmatrix} \text{cat: NP} \\ \text{agr:}^{\langle 2 \rangle} \end{bmatrix} \\ \text{VP:} \begin{bmatrix} \text{cat: VP} \\ \text{agr:}^{\langle 2 \rangle} \\ \text{finite:}^{\langle 1 \rangle} \end{bmatrix} \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} X_0\text{:} \begin{bmatrix} \text{cat: S} \\ \text{finite:}^{\langle 1 \rangle} \end{bmatrix} \\ X_1\text{:} \begin{bmatrix} \text{cat: NP} \\ \text{agr:}^{\langle 2 \rangle} \end{bmatrix} \\ X_2\text{:} \begin{bmatrix} \text{cat: VP} \\ \text{agr:}^{\langle 2 \rangle} \\ \text{finite:}^{\langle 1 \rangle} \end{bmatrix} \end{bmatrix}$$

© 2011 Hans Uszkoreit

Merkmale als partielle Funktionen - Beispiel



© 2011 Hans Uszkoreit

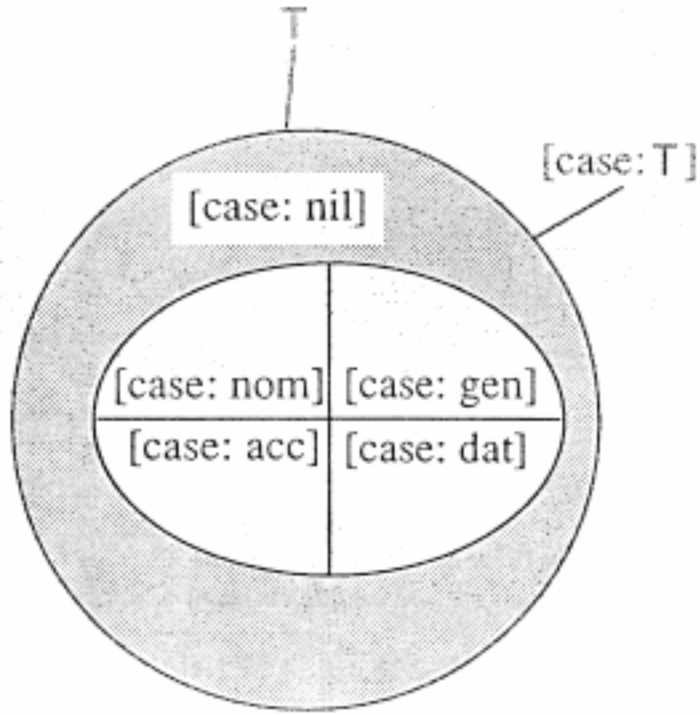
Merkmale als totale Funktionen - Beispiel

[case: nil]

$[case:\top] = \top$

corresponding to:

$[case:\bot] = \bot$



Subsumption

Die Subsumptionsrelation ist eine schwache Teilordnung.

Daher ist die Relation:

transitiv

$\forall t_1, t_2, t_3\ [(t_1 \sqsubseteq t_2\ \wedge t_2 \sqsubseteq t_3) \rightarrow t_1 \sqsubseteq t_3]$

antisymmetrisch

$\forall t_1, t_2\ [(t_1 \sqsubseteq t_2\ \wedge t_2 \sqsubseteq t_1) \rightarrow t_1 = t_2]$

reflexiv

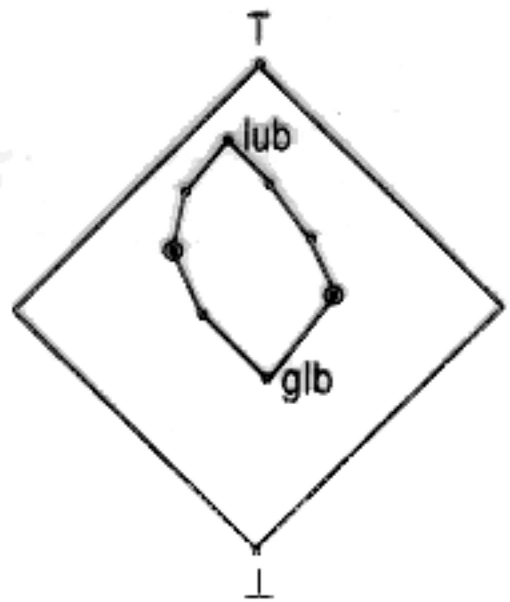
$\forall t\ [t \sqsubseteq t]$

In Unifikationsformalismen bildet die Subsumptionsrelation einen Verband oder einen Halbverband.

© 2011 Hans Uszkoreit

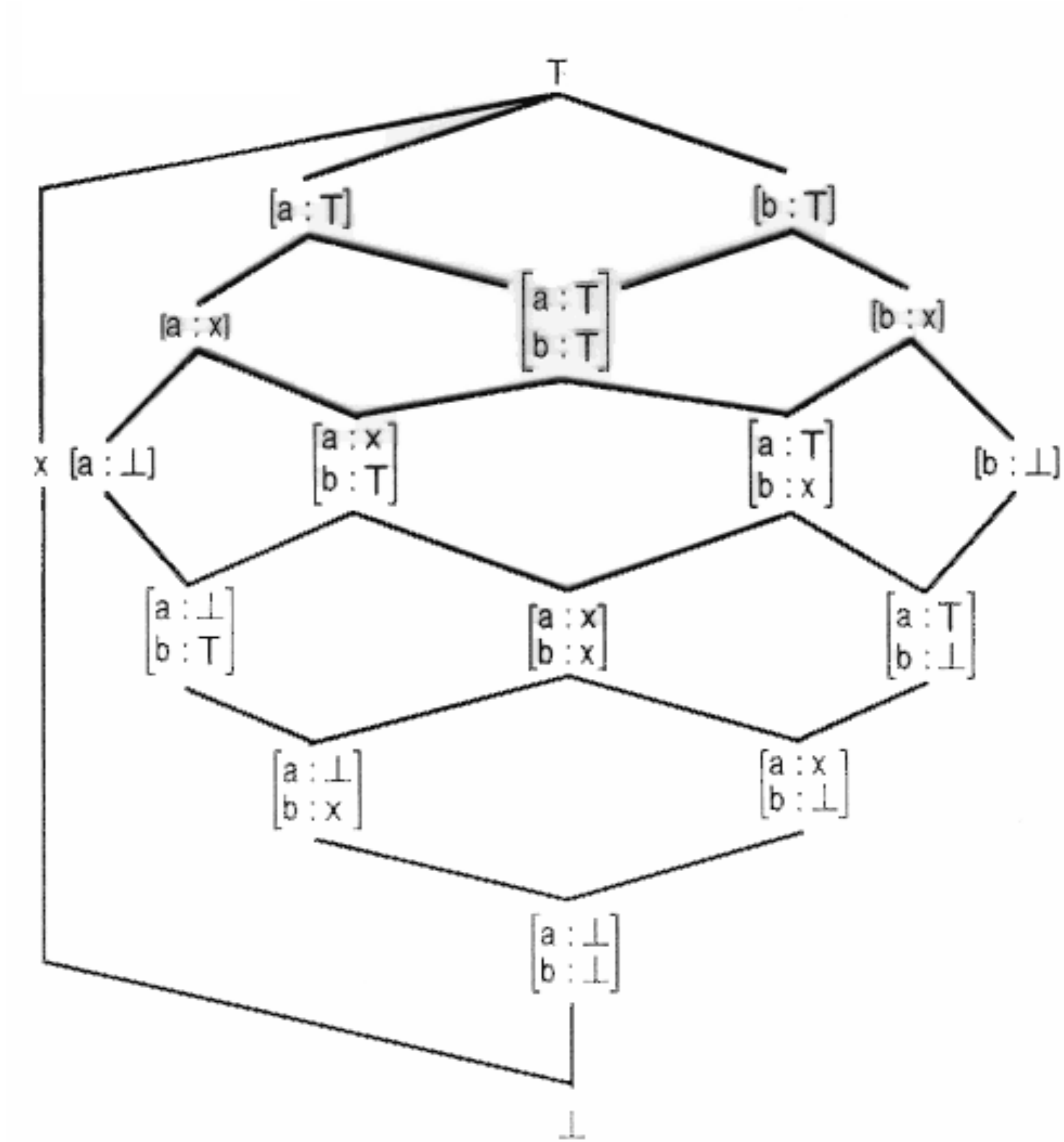
Subsumptionsverband

glb: unification
lub: generalization



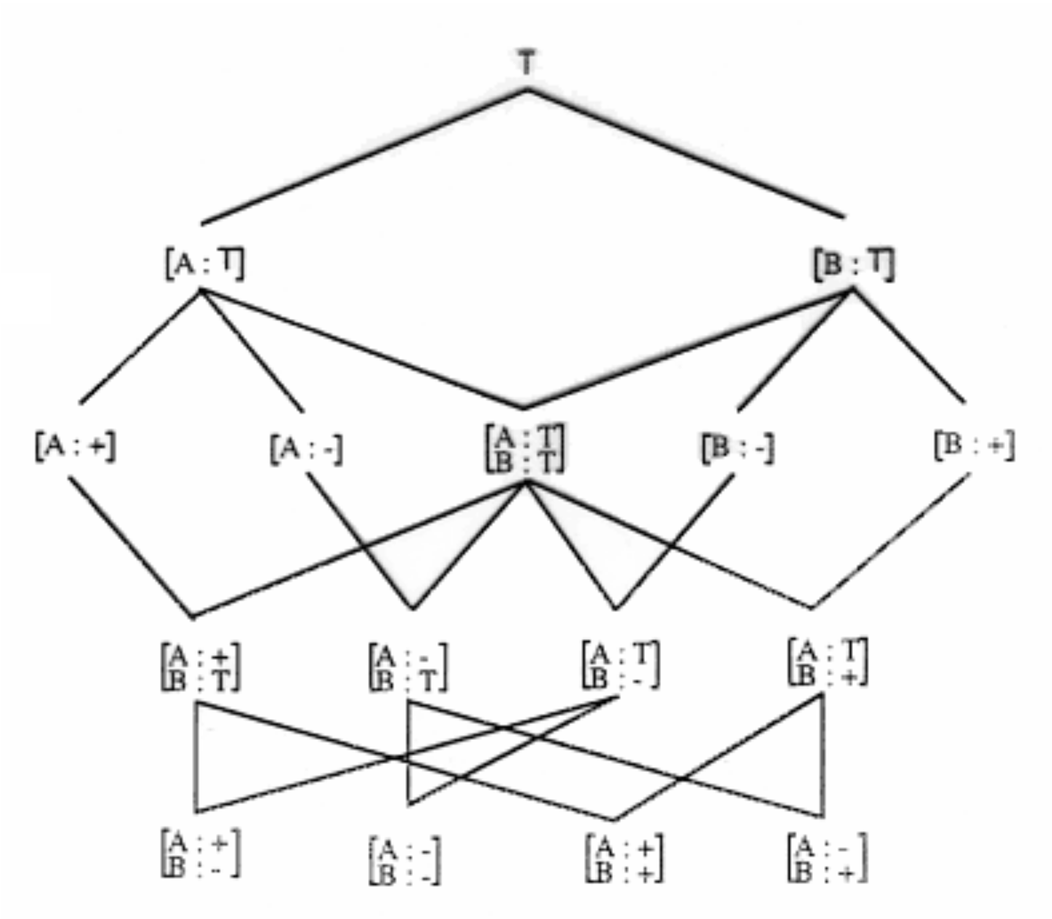
© 2011 Hans Uszkoreit

Subsumptionsverband



© 2011 Hans Uszkoreit

Subsumptionshierarchie



© 2011 Hans Uszkoreit

Subsumption

Subsumption

$t1 \geq t2$ iff t2 contains at least all the information contained in

(t2 extends t1, $t2 \leq t1$)

© 2011 Hans Uszkoreit

Subsumption II

$$\top \geq \text{nom}$$

$$\top \geq \bot$$

$$[\text{case}: \top] \geq [\text{case}: \text{nom}]$$

$$\text{nom} \geq \text{nom}$$

$$\text{nom} \ngeq \text{acc}$$

$$[\text{tense}: \text{pres}] \ngeq \begin{bmatrix} \text{tense}: \top \\ \text{agreement}: \top \end{bmatrix}$$

$$[\text{tense}: \text{pres}] \geq \begin{bmatrix} \text{tense}: \text{pres} \\ \text{agreement}: \top \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} \text{subject}: [\text{case}: \top] \\ \text{tense}: \text{pres} \end{bmatrix} \geq \begin{bmatrix} \text{subject}: [\text{case}: \text{nom}] \\ \text{tense}: \text{pres} \\ \text{agreement}: \top \end{bmatrix}$$

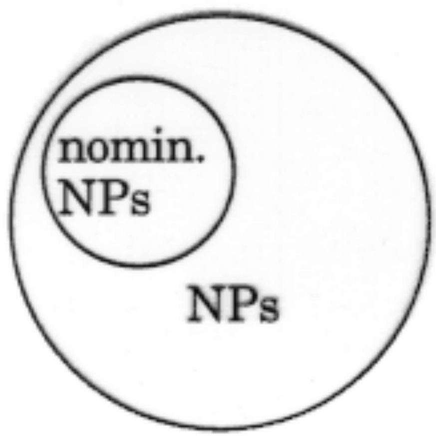
© 2011 Hans Uszkoreit

Subsumption

<u>**Semantik der Subsumption:**</u> $t_1 \sqsubseteq t_2 \leftrightarrow [\![t_1]\!] \supseteq [\![t_2]\!]$

<u>Beispiele:</u>

$$\begin{bmatrix} \text{cat: n} \\ \text{bar: 2} \end{bmatrix} \sqsubseteq \begin{bmatrix} \text{cat: n} \\ \text{bar: 2} \\ \text{case: nom} \end{bmatrix}$$



© 2011 Hans Uszkoreit

Subsumption

$$\begin{bmatrix} \text{cat: v} \\ \text{bar: 0} \\ \text{subject: } [\text{sem} : \top] \\ \text{object: } [\text{sem} : \top] \end{bmatrix} \sqsubseteq \begin{bmatrix} \text{cat: v} \\ \text{bar: 0} \\ \text{subject: } [\text{sem} : {}^{\langle 1 \rangle} \top] \\ \text{object: } [\text{sem} : {}^{\langle 1 \rangle} \top] \end{bmatrix}$$

© 2011 Hans Uszkoreit

Unifikation

Idee:

Unifikation ist die Operation, die die Informationen zweier Merkmalsstrukturen vereint.

Notation:

$t_1 \sqcup t_2$

$t_1 \wedge t_2$

$[t_1 \;\; t_2]$

Definition:

Ein Typ t_0 ist die Unifikation zweier Typen t_1 und t_2, gdw. t_0 der allgemeinste Typ ist, der sowohl von t_1 als auch von t_2 subsumiert wird.

oder:

Ein Term t_0 ist die Unifikation zweier Terme t_1 und t_2, gdw. t_0 sowohl von t_1 als auch von t_2 subsumiert wird und wenn t_0 alle anderen Terme t_i subsumiert die auch von t_1 und t_2 subsumiert werden.

© 2011 Hans Uszkoreit

Eigenschaften der Unifikation

Atome

$(a_1 \sqcup a_2) = \bot$ gdw. $a_1 \neq a_2$

top and bottom

$(t \sqcup \top) = t$

$(t \sqcup \bot) = \bot$

Kommutativität:

$(t_1 \sqcup t_2) = (t_2 \sqcup t_1)$

Assoziativität:

$((t_1 \sqcup t_2) \sqcup t_3) = (t_1 \sqcup (t_2 \sqcup t_3))$

Idempotenz:

$(t \sqcup t) = t$

© 2011 Hans Uszkoreit

Unifikation

Unifikation mit $\top$

$\top \sqcup t = t$

Unifikation zweier Atome

$\alpha \sqcup \alpha = \alpha$

$\alpha \sqcup \beta$ = FAIL oder $\perp$ gdw. $\alpha \neq \beta$

© 2011 Hans Uszkoreit

Unifikation mit T

Unifikation eines Atoms mit einem komplexen Merkmalsterm

$\alpha \sqcup \{a_1 : v_1, a_2 : v_2, \ldots , a_n : v_n\} =$ **FAIL oder** $\perp$

Unifikation zweier komplexer Merkmalsterme t_1 und t_2

$t_1 = \{\langle a_1, v_1\rangle, \langle a_2, v_2\rangle, \ldots , \langle a_n, v_n\rangle\}$

$t_2 = \{\langle a_{n+1}, v_{n+1}\rangle, \langle a_{n+2}, v_{n+2}\rangle, \ldots , \langle a_{n+m}, v_{n+m}\rangle\}$

$t_0 = t_1 \cup t_2$

weil:

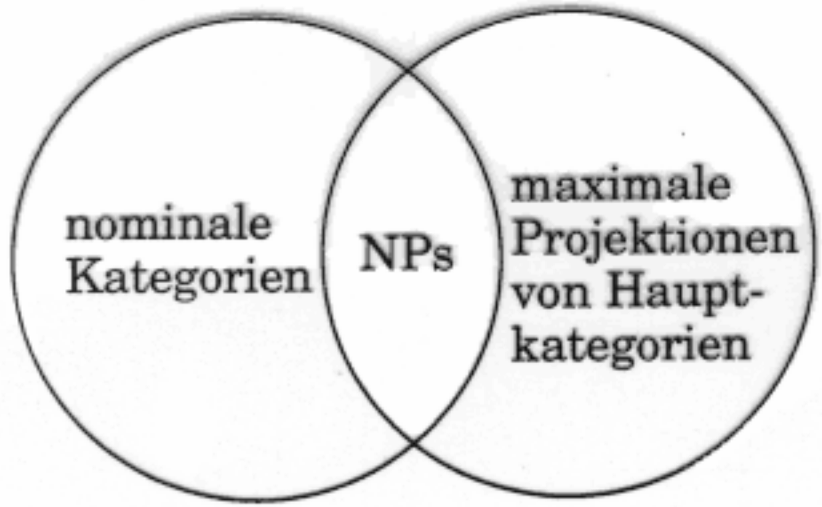
$$\begin{bmatrix} a_1 : v_1 \\ a_1 : v_2 \end{bmatrix} = [a_1 : (v_1 \sqcup v_2)]$$

© 2011 Hans Uszkoreit

Semantik der Unifikation I

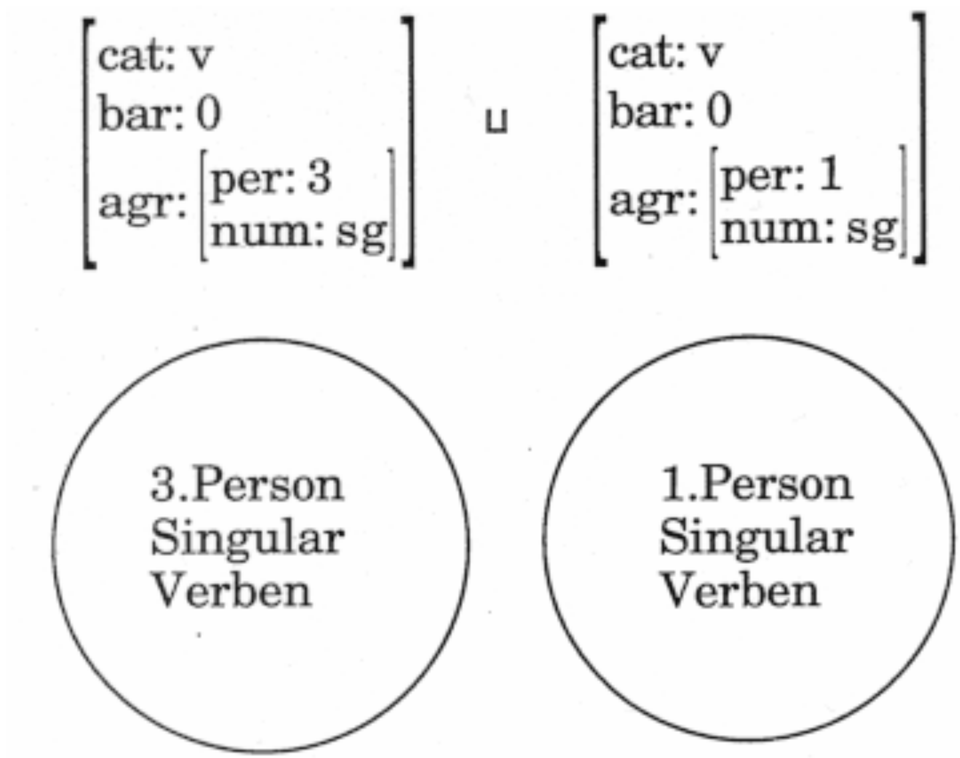
$$[\![t_1 \sqcup t_2]\!] = [\![t_1]\!] \cap [\![t_2]\!]$$

Beispiele: $[\text{cat: n}] \sqcup [\text{bar: 2}]$



© 2011 Hans Uszkoreit

Semantik der Unifikation II



© 2011 Hans Uszkoreit

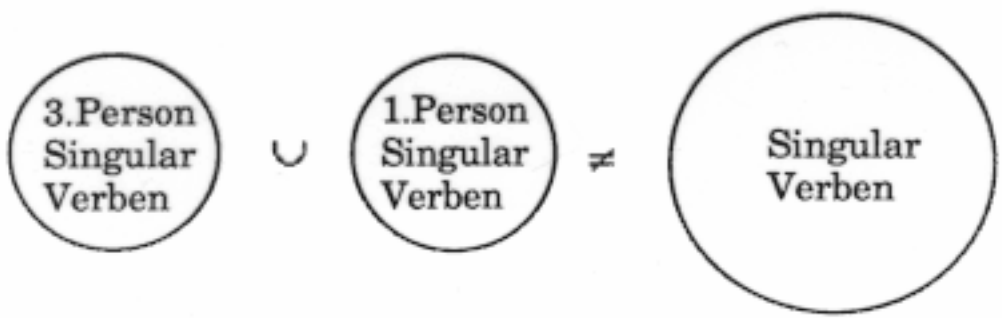
Semantik der Generalisierung

$$[\![t_1 \sqcap t_2]\!] = [\![t_1]\!] \cup [\![t_2]\!]$$

Beispiel: $\begin{bmatrix} \text{cat: v} \\ \text{bar: 0} \\ \text{agr: } \begin{bmatrix} \text{per: 3} \\ \text{num: sg} \end{bmatrix} \end{bmatrix} \sqcup \begin{bmatrix} \text{cat: v} \\ \text{bar: 0} \\ \text{agr: } \begin{bmatrix} \text{per: 1} \\ \text{num: sg} \end{bmatrix} \end{bmatrix}$

Generalisierung ohne Disjunktion: $\begin{bmatrix} \text{cat: v} \\ \text{bar: 0} \\ \text{agr: } \begin{bmatrix} \text{num: sg} \end{bmatrix} \end{bmatrix}$

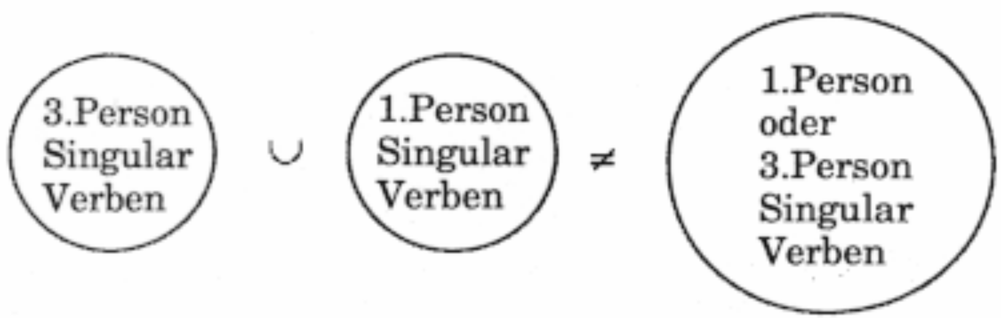
aber:



© 2011 Hans Uszkoreit

Generalisierung

Generalisierung als Disjunktion: $\begin{bmatrix} \text{cat: v} \\ \text{bar: 0} \\ \text{agr: } \begin{bmatrix} \text{per: } \begin{Bmatrix} 1 \\ 3 \end{Bmatrix} \\ \text{num: sg} \end{bmatrix} \end{bmatrix}$



© 2011 Hans Uszkoreit

atoms

$(a_1 \sqcap a_2) = \top$ iff $a_1 \neq a_2$ (with a flat atom lattice and without disjunction)

with disjunction:

$$(a_1 \sqcap a_2) = \begin{Bmatrix} a_1 \\ a_2 \end{Bmatrix}$$

top and bottom

$(t \sqcap \top) = \top$

$(t \sqcap \bot) = t$

commutativety:

$(t_1 \sqcap t_2) = (t_2 \sqcap t_1)$

associativety:

$((t_1 \sqcap t_2) \sqcap t_3) = (t_1 \sqcap (t_2 \sqcap t_3))$

idempotence:

$(t \sqcap t) = t$

© 2011 Hans Uszkoreit

Idea:

Negation is the operation that expresses the complement of the information encoded in a feature structure.

Notation:

$\neg t$

Definition:

A type t_1 is the negation of a term t_2, iff t_1 is the generalization of all terms whose unification with t_2 is inconsistent.

© 2011 Hans Uszkoreit

Negation II

Some Equivalences Involving Negation:

$$\neg\neg t = t$$

$\neg\bot = \top$ $\qquad$ $\neg\top - \bot$

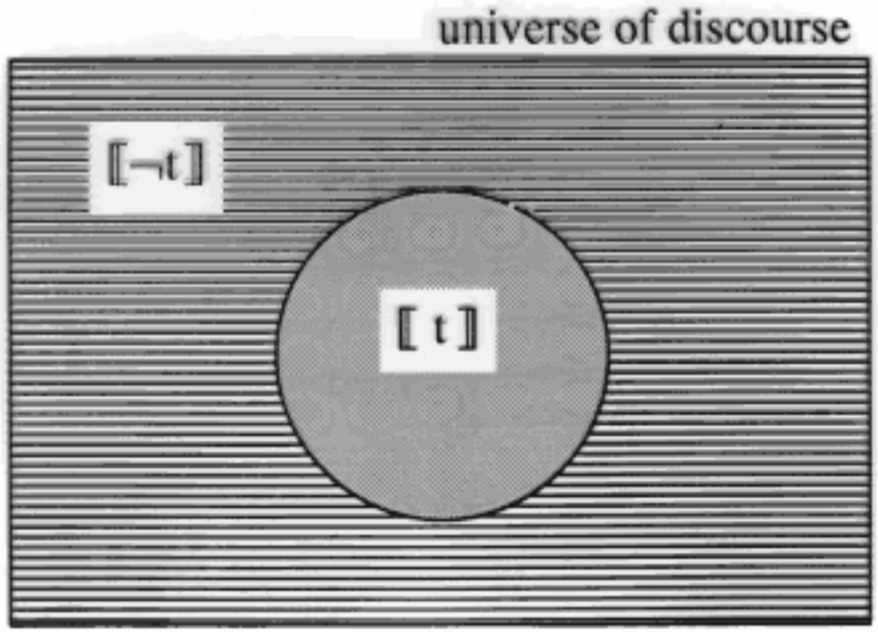
$t \sqcup \neg t = \bot$ $\qquad$ $t \sqcap \neg t = \top$

$\neg(t_1 \sqcup t_2) = \neg t_1 \sqcap \neg t_2$ $\qquad$ $\neg(t_1 \sqcap t_2) = \neg t_1 \sqcup \neg t_2$

© 2011 Hans Uszkoreit

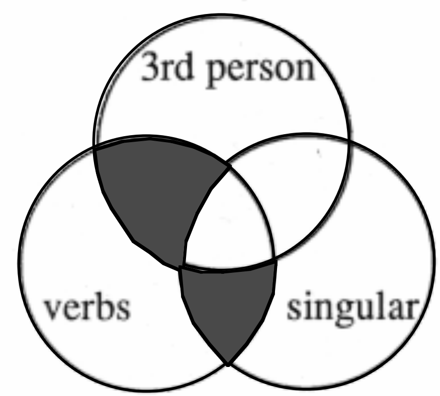
Semantik der Negation

$$[\![\neg t]\!] = \overline{[\![t]\!]}$$



example:

$$\begin{bmatrix} \text{cat: V} \\ \text{agr: } \neg\begin{bmatrix} \text{per: 3} \\ \text{num: sg} \end{bmatrix} \end{bmatrix}$$



© 2011 Hans Uszkoreit

Idea:

Implication is the operation that allows the statement of conditional feature terms

Notation:

$t_1 \rightarrow t_2$

$t_1 \supset t_2$

Definition:

The type $t_1 \rightarrow t_2$ is the least informative terms whose unification with t_1 is subsumed by t_2.

© 2011 Hans Uszkoreit

Implikation - Beispiel

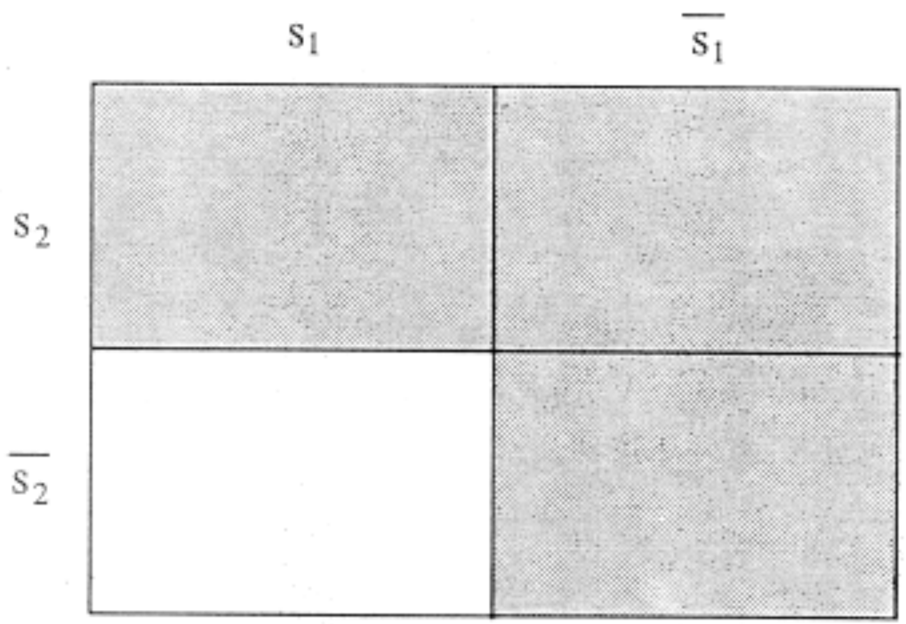
$$\begin{bmatrix} \text{cat: V} \\ \text{finite: +} \end{bmatrix} \rightarrow [\text{tense: T}]$$

© 2011 Hans Uszkoreit

Semantik der Implikation

$$[\![t_1 \rightarrow t_2]\!] = \overline{[\![t_1]\!]} \cup [\![t_2]\!]$$

$s_1 = [\![t_1]\!]$
$s_2 = [\![t_2]\!]$



© 2011 Hans Uszkoreit