University of Bielefeld

Merkmalsstrukturen

- Um viele ähnliche Informationen zusammenzufassen wird ein Generalisierungsmechanismus benötigt.

Templates: Durch einen Namen identifizierbare Merkmalsstrukturen. Templatenamen können an Stelle der MS in Merkmalen eingesetzt werden.

$$\text{Nomen} := \begin{bmatrix} syn: \begin{bmatrix} cat: \begin{bmatrix} nominal: & + \\ verbal: & - \end{bmatrix} \end{bmatrix} \end{bmatrix}$$

$$\text{Feminin} := [syn: [agr: [genus: \quad fem]]] \xrightarrow{\substack{Template- \\ einsetzung}} \text{Frau} := \begin{bmatrix} \text{FemNom} & \\ sem: & frau' \end{bmatrix}$$

$$\text{FemNomen} := [\text{Nomen} \quad \text{Feminin}]$$

- Templates sind eine Hilfe für die Erstellung und den Erhalt von Konsistenz. Sie werden im System expandiert:

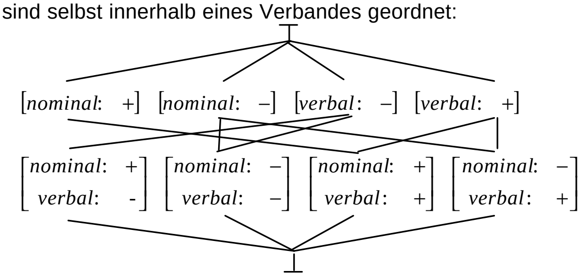
$$\text{Frau} := \begin{bmatrix} \text{FemNom} & \\ sem: & frau' \end{bmatrix} \xrightarrow{Expansion} \text{Frau} := \begin{bmatrix} syn: & \begin{bmatrix} cat: & \begin{bmatrix} nominal: & + \\ verbal: & - \end{bmatrix} \\ agr: & [genus: \quad fem] \end{bmatrix} \\ sem: & frau' \end{bmatrix}$$

University of Bielefeld

Merkmalsstrukturen

Typen: Systeminterne Templates für die Verwendung einer generalisierenden Strukturierung innerhalb des Systems.

- Typen sind selbst innerhalb eines Verbandes geordnet:



- Explizite Verbandrepräsentation kann die Unifikation typisierter MS wesentlich effizienter gestalten.
- Offene Typen definieren alle notwendigen Merkmal-Wert Paare.
- Geschlossene Typen definieren genau die notwendigen Merkmal-Wert-Paare.
- Typinferenz [Shieber, 1989]: Unifikation einer typisierten MS mit einem Typ bewirkt, dass die MS einen neuen (Sub)typ annimmt (kann bei Inkompatibilität auch $\perp$ sein).

University of Bielefeld

Merkmalsstrukturen

- Ziele:
  - Verhinderung ungrammatikalischer Konstruktionen.
  - Aufbau eines Strukturbaum als charakterisierende Strukturinformation.
- Weg:
  - Zuordnung von MS für Lexikoneinträge und für Regeln.
- Beispiel:
  - Wortform der als Artikel hat sechs Lesarten; Unterspezifikation reduziert diese auf vier:

Num=Sing, Genus=mask, Casus=Nom, Parad.=stark
Num=Sing, Genus=fem, Casus=Gen, Parad.=stark
Num=Sing, Genus=fem, Casus=Dativ , Parad.=stark
Num=Pl, Genus=mask, Casus=Gen, Parad.=stark
Num=Pl, Genus=fem, Casus=Gen, Parad.=stark
Num=Pl, Genus=neut, Casus=Gen, Parad.=stark

$$\begin{bmatrix} syn: \begin{bmatrix} cat: & Det \\ agr: & \begin{bmatrix} casus: & nom \\ genus: & mask \\ num: & sg \\ par: & stark \end{bmatrix} \end{bmatrix} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} syn: \begin{bmatrix} cat: & Det \\ agr: & \begin{bmatrix} casus: & gen \\ genus: & fem \\ num: & sg \\ par: & stark \end{bmatrix} \end{bmatrix} \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} syn: \begin{bmatrix} cat: & Det \\ agr: & \begin{bmatrix} casus: & dat \\ genus: & fem \\ num: & sg \\ par: & stark \end{bmatrix} \end{bmatrix} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} syn: \begin{bmatrix} cat: & Det \\ agr: & \begin{bmatrix} casus: & gen \\ num: & pl \\ par: & stark \end{bmatrix} \end{bmatrix} \end{bmatrix}$$

- Frage: Wie viele MS würden bei Disjunktion benötigt?

University of Bielefeld

Merkmalsstrukturen

$Regel: \mathrm{NP} \rightarrow \mathrm{Det\ Adj\ N}$

$$Annotation: \begin{bmatrix} x0: & [syn: & [agr: & \langle 1 \rangle]] \\ x1: & [syn: & [agr: & \langle 1 \rangle]] \\ x2: & [syn: & [agr: & \langle 1 \rangle]] \\ x3: & [syn: & [agr: & \langle 1 \rangle]] \end{bmatrix}$$

- Statt auf Registern basierender Tests und Aktionen jetzt Annotation der PS-Regeln mit MS.
- Annotierung stellt Unifizierung der Agreement-MS durch Koreferenz sicher.
- Indizierung der Regelsymbole (von l nach r) durch x0…xn und Zuordnung von MS.
- Erzeugung einer neuen MS mit Merkmalen x0…xn und entsprechender Wertbelegung (s.o.).

➢ Am Merkmal x0 findet sich nun das Ergebnis der Regelanwendung.

$Regel: \mathrm{x0} \rightarrow \mathrm{x1\ x2\ x3}$

$$Annotation: \begin{bmatrix} x0: & \begin{bmatrix} syn: & \begin{bmatrix} cat: & NP \\ agr: & \langle 1 \rangle \end{bmatrix} \end{bmatrix} \\ x1: & \begin{bmatrix} syn: & \begin{bmatrix} cat: & Det \\ agr: & \langle 1 \rangle \end{bmatrix} \end{bmatrix} \\ x2: & \begin{bmatrix} syn: & \begin{bmatrix} cat: & Adj \\ agr: & \langle 1 \rangle \end{bmatrix} \end{bmatrix} \\ x3: & \begin{bmatrix} syn: & \begin{bmatrix} cat: & N \\ agr: & \langle 1 \rangle \end{bmatrix} \end{bmatrix} \end{bmatrix}$$

- Integration der Kategorieinformation in die MS.

➢ PS-Regel enthält nur noch Indizes, also Dominanz und Linearisierungsinformation.

University of Bielefeld

Merkmalsstrukturen

Vollständige Aufgabe des PS-Skeletts.

Einbezug der Dominanz- und der Linearisierungsinformation in die MS.

Im Beispiel Kodierung der
- Präzedenz im Merkmal *boundary*
- Dominanz im Merkmal *dtrs*, dabei wird zwischen Kopf (*head*) und restlichen Konstituenten (Komplementen) unterschieden.

$$
\left[\begin{array}{ll}
x0: & \left[\begin{array}{ll}
syn: & \left[\begin{array}{ll} cat: & NP \\ agr: & \langle 4 \rangle \end{array}\right] \\
boundary: & \left[\begin{array}{ll} left: & \langle 5 \rangle \\ right: & \langle 8 \rangle \end{array}\right] \\
dtrs: & \left[\begin{array}{ll} head-dtrs: & \langle 3 \rangle \\ comp-dtrs: & \left[\begin{array}{ll} first: & \langle 1 \rangle \\ rest: & \left[\begin{array}{ll} first: & <2> \\ rest: & NIL \end{array}\right] \end{array}\right] \end{array}\right]
\end{array}\right] \\
x1: \langle 1 \rangle & \left[\begin{array}{ll}
syn: & \left[\begin{array}{ll} cat: & Det \\ agr: & \langle 4 \rangle \end{array}\right] \\
boundary: & \left[\begin{array}{ll} left: & \langle 5 \rangle \\ right: & \langle 6 \rangle \end{array}\right]
\end{array}\right] \\
x2: \langle 2 \rangle & \left[\begin{array}{ll}
syn: & \left[\begin{array}{ll} cat: & Adj \\ agr: & \langle 4 \rangle \end{array}\right] \\
boundary: & \left[\begin{array}{ll} left: & \langle 6 \rangle \\ right: & \langle 7 \rangle \end{array}\right]
\end{array}\right] \\
x3: \langle 3 \rangle & \left[\begin{array}{ll}
syn: & \left[\begin{array}{ll} cat: & N \\ agr: & \langle 4 \rangle \end{array}\right] \\
boundary: & \left[\begin{array}{ll} left: & \langle 7 \rangle \\ right: & \langle 8 \rangle \end{array}\right]
\end{array}\right]
\end{array}\right]
$$

University of Bielefeld

Merkmalsstrukturen

- Verbreitete Notation zur Darstellung von MS-annotierten Regeln nach PATR [Karttunen, 1986]:
  - Bedingungen zwischen MS-Teilen wird durch Gleichungen dargestellt.
  - Ersetzung der Kategoriesymbole der PS-Regeln durch x0…xn.
  - Namen der Kategoriesymbole werden als Werte eines Merkmals xi |syn|cat der entsprechenden MS interpretiert.
  - Zuordnung von Pfadgleichungen zu Regeln:
    - Linke Seite ist Pfad beginnend mit xi.
    - Rechte ein Pfad oder atomarer Wert.

$$Regel: \mathrm{NP} \rightarrow \mathrm{Det\ Adj\ N}$$

$$
Annotation: \left[\begin{array}{lll}
x0: & [syn: & [agr: \ \langle 1 \rangle]] \\
x1: & [syn: & [agr: \ \langle 1 \rangle]] \\
x2: & [syn: & [agr: \ \langle 1 \rangle]] \\
x3: & [syn: & [agr: \ \langle 1 \rangle]]
\end{array}\right]
\xrightarrow{n.PATR}
\begin{array}{lcl}
(x0\ syn\ agr) & = & (x1\ syn\ agr) \\
(x1\ syn\ agr) & = & (x2\ syn\ agr) \\
(x2\ syn\ agr) & = & (x3\ syn\ agr)
\end{array}
$$

University of Bielefeld

Spezielle Themen der KI

Semantik:

Semantik von Merkmalsstrukturen

University of Bielefeld

Merkmalsstrukturen Semantik

Subsumption

Notation: t1$\sqsubseteq$t2

Definition: Eine Merkmalsstruktur t1 subsumiert eine Merkmalsstruktur t2 gdw. die Menge der von t2 beschriebenen Elemente eine Teilmenge der von t1 beschriebenen ist.

Semantik: $t_1 \sqsubseteq t_2$ gdw. $\|t_1\| \supseteq \|t_2\|$

Beispiele:

$$\begin{bmatrix} syn: & \begin{bmatrix} cat: & N \\ xyz: & 2 \end{bmatrix} \end{bmatrix} \sqsubseteq \begin{bmatrix} syn: & \begin{bmatrix} cat: & N \\ xyz: & 2 \\ agr: & \begin{bmatrix} casus: & nom \end{bmatrix} \end{bmatrix} \end{bmatrix} \xrightarrow{Denotation}$$

NPs im Nominativ

NPs

$$\begin{bmatrix} syn: & \begin{bmatrix} cat: & V \\ bar: & 0 \\ subject: & \begin{bmatrix} sem: & \top \end{bmatrix} \\ object: & \begin{bmatrix} sem: & \top \end{bmatrix} \end{bmatrix} \end{bmatrix} \sqsubseteq \begin{bmatrix} syn: & \begin{bmatrix} cat: & V \\ bar: & 0 \\ subject: & \begin{bmatrix} sem: & \boxed{1}\top \end{bmatrix} \\ object: & \begin{bmatrix} sem: & \boxed{1} \end{bmatrix} \end{bmatrix} \end{bmatrix} \xrightarrow{Denotation}$$

reflexive Verben

transitive Verben

$$\begin{bmatrix} syn: & \begin{bmatrix} cat: & N \\ bar: & 0 \\ agr: & \begin{bmatrix} casus: & nom \end{bmatrix} \end{bmatrix} \end{bmatrix} \begin{matrix} \not\sqsubseteq \\ \not\sqsupseteq \end{matrix} \begin{bmatrix} syn: & \begin{bmatrix} cat: & V \\ bar: & 0 \\ temp: & präsens \end{bmatrix} \end{bmatrix} \xrightarrow{Denotation}$$

Verben im Präsens

Nomen im Nominativ

University of Bielefeld

Merkmalsstrukturen Semantik

Unifikation

Notation: $t_1 \sqcup t_2$ oder $t_1 \wedge t_2$ oder $[t_1\, t_2]$

Definition: Ein Typ t0 ist die Unifikation zweier Typen t1 und t2, gdw. t0 der allgemeinste Typ ist, der sowohl von t1 als auch von t2 subsumiert wird.

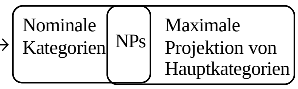
oder:

Ein Typ t0 ist die Unifikation zweier Typen t1 und t2, gdw. t0 sowohl von t1 als auch von t2 subsumier wird und wenn t0 alle anderen Typen ti subsumiert die auch von t1 und t2 subsumiert werden.

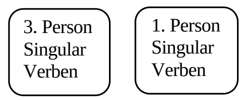
Semantik: $\|t_1 \sqcup t_2\| = \|t_1\| \cap \|t_2\|$

Beispiele:

$$[syn: [cat: N]] \sqcup [syn: [bar: 2]] = \left[syn: \begin{bmatrix} cat: & N \\ bar: & 2 \end{bmatrix}\right] \rightarrow$$



$$\begin{bmatrix} cat: & V \\ bar: & 0 \\ agr: & \begin{bmatrix} pers: & 3 \\ num: & sg \end{bmatrix} \end{bmatrix} \sqcup \begin{bmatrix} cat: & V \\ bar: & 0 \\ agr: & \begin{bmatrix} pers: & 1 \\ num: & sg \end{bmatrix} \end{bmatrix} = \perp \rightarrow$$

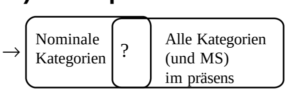


University of Bielefeld

Merkmalsstrukturen Semantik

- **Was bedeutet die Unifikation von MS, die (intuitiv) inkompatible Merkmale enthalten**?

$$[syn: [cat: N]] \sqcup [syn: [tempus: präsens]] = \left[syn: \begin{bmatrix} cat: & N \\ tempus: & präsens \end{bmatrix}\right] \rightarrow$$



- ➢ Es sind beliebige Merkmale zugelassen.
- ➢ Unifikation erlaubt auch linguistisch unsinnige Konstruktionen deren Ergebnis ungleich bottom ist.
- **Wie kann das verhindert werden?**
- ➢ Einschränkungen durch Typisierung ausdrücken!

Eigenschaften der Unifikation:

Atome :	$(a_1 \sqcup a_2)$	$\leftrightarrow$	$\perp$	gdw. $a_1 \neq a_2$
Top und bottom :	$(t \sqcup \top)$	$\leftrightarrow$	t	
	$(t \sqcup \perp)$	$\leftrightarrow$	$\perp$	
Kommutativ ität :	$(t_1 \sqcup t_2)$	$\leftrightarrow$	$(t_2 \sqcup t_1)$	
Assoziativ ität :	$((t_1 \sqcup t_2) \sqcup t_3)$	$\leftrightarrow$	$(t_1 \sqcup (t_2 \sqcup t_3))$	
Idempotenz :	$(t \sqcup t)$	$\leftrightarrow$	t	

University of Bielefeld

Merkmalsstrukturen Semantik

Generalisierung

Notation: $t_1 \sqcap t_2$ oder $t_1 \vee t_2$ oder $\{t_1 \quad t_2\}$

Definition: Ein Typ t0 ist die Generalisierung zweier Typen t1 und t2 gdw. t0 der speziellste Typ ist, der sowohl t1 als auch t2 subsumiert.

oder:

Ein Typ t0 ist die Generalisierung zweier Typen t1 und t2 gdw. t0 sowohl t1 als auch t2 subsumiert und wenn t0 gleichzeitig von allen anderen Typen ti subsumiert die ebenfalls t1 und t2 subsumieren.

Semantik: $\|t_1 \sqcap t_2\| = \|t_1\| \cup \|t_2\|$

$$\begin{bmatrix} cat: & V \\ bar: & 0 \\ agr: & [num: \; sg] \end{bmatrix} \sqcap \begin{bmatrix} cat: & V \\ bar: & 0 \\ agr: & [num: \; pl] \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} syn: & \begin{bmatrix} cat: & V \\ bar: & 0 \end{bmatrix} \end{bmatrix}$$

$$\boxed{\text{Singular Verben}} \cup \boxed{\text{Plural Verben}} = \boxed{\text{Verben}}$$

University of Bielefeld

Merkmalsstrukturen Semantik

Beispiel Generalisierung über Verben in der 1. und der 3. Person singular:

$$\begin{bmatrix} syn: & \begin{bmatrix} cat: & V \\ bar: & 0 \\ agr: & \begin{bmatrix} pers: & 1 \\ num: & sg \end{bmatrix} \end{bmatrix} \end{bmatrix} \sqcap \begin{bmatrix} syn: & \begin{bmatrix} cat: & V \\ bar: & 0 \\ agr: & \begin{bmatrix} pers: & 3 \\ num: & sg \end{bmatrix} \end{bmatrix} \end{bmatrix} \xrightarrow[\text{Disjunktion}]{\text{ohne}} \begin{bmatrix} syn: & \begin{bmatrix} cat: & V \\ bar: & 0 \\ agr: & [num: \; sg] \end{bmatrix} \end{bmatrix}$$

Ist dieses Ergebnis „korrekt“?

Betrachtung der Denotate der beschriebenen Mengen:

$$\boxed{\text{1.Person Singular Verben}} \cup \boxed{\text{3.Person Singular Verben}} \neq \boxed{\text{Singular Verben}}$$

$$\begin{bmatrix} syn: & \begin{bmatrix} cat: & V \\ bar: & 0 \\ agr: & \begin{bmatrix} pers: & 1 \\ num: & sg \end{bmatrix} \end{bmatrix} \end{bmatrix} \sqcap \begin{bmatrix} syn: & \begin{bmatrix} cat: & V \\ bar: & 0 \\ agr: & \begin{bmatrix} pers: & 3 \\ num: & sg \end{bmatrix} \end{bmatrix} \end{bmatrix} \xrightarrow[\text{Disjunktion}]{\text{mit}} \begin{bmatrix} syn: & \begin{bmatrix} cat: & V \\ bar: & 0 \\ agr: & \begin{bmatrix} pers: & \{1;3\} \\ num: & sg \end{bmatrix} \end{bmatrix} \end{bmatrix}$$

Generalisierung mit Disjunktion liefert das erwünschte oder erwartete Ergebnis:

$$\boxed{\text{1.Person Singular Verben}} \cup \boxed{\text{3.Person Singular Verben}} = \boxed{\text{1.Person oder 3.Person Singular Verben}}$$

University of Bielefeld

Merkmalsstrukturen Semantik

Eigenschaften der Generalisierung:

Atome :	$(a_1 \sqcap a_2)$	$\leftrightarrow$	gdw. $a_1 \neq a_2$
Top und bottom :	$(t \sqcap \top)$	$\leftrightarrow \top$	
	$(t \sqcap \bot)$	$\leftrightarrow t$	
Kommutativ ität :	$(t_1 \sqcap t_2)$	$\leftrightarrow$	$(t_2 \sqcap t_1)$
Assoziativ ität :	$((t_1 \sqcap t_2) \quad t_3)$	$\leftrightarrow$	$(t_1 \sqcap (t_2 \sqcap t_3))$
Idempotenz :	$(t \sqcap t)$	$\leftrightarrow t$	

- Zum Erhalt der Monotonie (wichtig für volle Deklarativität) müssen die Operationen (Unifikation und Generalisierung) distributiv sein:

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

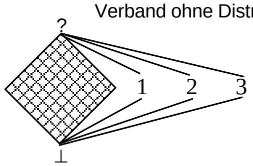
- Welchen Einfluss hat die Disjunktion dabei auf den Typenverband?

University of Bielefeld

Merkmalsstrukturen Semantik

- Ohne Disjunktion ist der Typenverband nicht distributiv. Seien drei atomare Typen 1, 2 und 3 wie im Verbbeispiel gegeben.

Verband ohne Distribution:

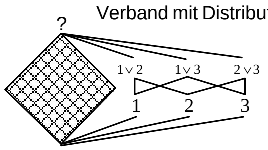


$links: (1 \sqcup 2) = \bot\ und\ \bot \sqcap 3 = 3 \Rightarrow (1 \sqcup 2) \sqcap 3 = 3$

$rechts: (1 \sqcap 3) = \top\ und (2 \sqcap 3) = \top \Rightarrow (1 \sqcap 3) \sqcup (1 \sqcap 2) = \top$

$da\ 3 \neq \top \Rightarrow (1 \sqcup 2) \sqcap 3 \neq (1 \sqcap 3) \sqcup (1 \sqcap 2)$

Verband mit Distribution:



$links: (1 \sqcup 2) = \bot\ und\ \bot \sqcap 3 = 3 \Rightarrow (1 \sqcup 2) \sqcap 3 = 3$

$rechts: (1 \sqcap 3) = 1 \vee 3\ und (2 \sqcap 3) = 2 \vee 3 \Rightarrow 1 \vee 3 \sqcup 2 \vee 3 = 3$

$\Rightarrow (1 \sqcup 2) \sqcap 3 = (1 \sqcap 3) \sqcup (1 \sqcap 2)$

➢ Dadurch folgt die Gültigkeit des Distributivgesetzes für den Typenverband mit Disjunktion!

University of Bielefeld

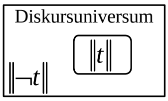
Merkmalsstrukturen Semantik

Negation

Notation: $\neg t$

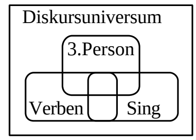
Definition: Ein Typ t1 ist die Negation eines Typs t2, gdw. t1 die Generalisierung aller Typen ist, deren Unifikation mit t2 inkonsistent ist.

Semantik: $\|\neg t\| = \overline{\|t\|}$



Beispiel: Verben die nicht in der 3. Person Singular sind:

$$\begin{bmatrix} syn: & \begin{bmatrix} cat: & V \\ agr: & \neg\begin{bmatrix} pers: & 3 \\ num: & sg \end{bmatrix} \end{bmatrix} \end{bmatrix}$$



Eigenschaften der Negation:

$\neg\neg t = t$

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

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

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

University of Bielefeld

Merkmalsstrukturen Semantik

Implikation

Notation: $t_1 \Rightarrow t_2$ oder $t_1 \supset t_2$

Definition: Der Typ $t_1 \rightarrow t_2$ ist der allgemeinste Typ, dessen Unifikation mit t_1 von t_2 subsumiert wir. Dabei besteht folgender Zusammenhang zwischen Implikation und Generalisierung: $t_1 \Rightarrow t_2 = \neg t_1 \sqcup t_2$.

Semantik: $\|t_1 \Rightarrow t_2\| = \overline{\|t_1\|} \cup \|t_2\|$

MS, welche in einem geschlossenen Typenverband die Menge aller Objekte mit Merkmal tense haben, außer sie sind keine Verben oder nicht finit:

$$\begin{bmatrix} cat: & V \\ finit: & + \end{bmatrix} \Rightarrow [tense: \top]$$

Implikation kann auch Prinzipien einer Grammatik implementieren. Operator -> aus der DCG Notation kann man auch als Implikation interpretieren:

$$[dtrs:_{headed-str} \; [\,]] \Rightarrow \begin{bmatrix} syn: & & [loc: & [head: & \langle 1 \rangle]] \\ dtrs: & [head.dtr: & [syn: & [loc: & [head: & <1>]]]] \end{bmatrix}$$

Merkmalsstrukturen
Semantik

- Zusammenfassung:
  - Linguistisches Wissen in Form von Merkmalsstrukturen (MS) darstellen.
  - MS sind *feature-value* Matrizen.
  - Es gibt binäre, einfache und komplexe features. Letztere sind ebenfalls MS.
  - MS können zur Repräsentation auf verschiedenen linguistischen Ebenen genutzt werden.
  - MS können schrittweise mit DCG Notation verbunden und aus anderen Repräsentationen überführt werden.
  - MS können als Graphen interpretiert werden.
  - Konotation erlaubt den Verweis von Werten auf andere Werte.
  - MS können einen Typenverband bilden.
  - Werteinschränkung (Definitionsmenge) und Disjunktion wichtig.
  - Für MS kann eine mengentheoretische Semantik angegeben werden.