

# Einführung in die KI

Prof. Dr. sc. Hans-Dieter Burkhard  
Vorlesung Winter-Semester 2003/04

## Wissensrepräsentation 2 (Fortsetzung):

Strukturierung  
Regelsysteme  
Frames, Skripts  
Beschreibungssysteme

## Strukturierung

- Begriffshierarchien, -netze
- Beschreibungssysteme
- Skripts
- Natürliche Sprache
- Graphische Repräsentation

## 3.2 Terminologische Repräsentation

Bedeutung von Begriffen/Konzepten

- kognitive Repräsentation?

Die alte Rathaustür

- Verknüpfung mit anderen Konzepten
- Rekonstruktion von Bedeutungen

## Terminologische Repräsentation

- Experimente bzgl. Antworten: „Zugriffszeiten“

Ein Kanarienvogel ist ein Kanarienvogel.

## Terminologische Repräsentation

- Experimente bzgl. Antworten: „Zugriffszeiten“

Ein Kanarienvogel ist ein Vogel.

## Terminologische Repräsentation

- Experimente bzgl. Antworten: „Zugriffszeiten“

Ein Kanarienvogel ist ein Tier.

# Terminologische Repräsentation

## Bedeutung von Begriffen/Konzepten

Die alte Rathaustür

– Verknüpfung mit anderen Begriffen

- Experimente bzgl. Antworten: „Zugriffszeiten“

Ein Kanarienvogel ist ein Kanarienvogel.	1.00 sec
Ein Kanarienvogel ist ein Vogel.	1.17 sec
Ein Kanarienvogel ist ein Tier.	1.25 sec
Ein Kanarienvogel kann singen.	1.31 sec
Ein Kanarienvogel kann fliegen.	1.38 sec
Ein Kanarienvogel hat eine Haut.	1.47 sec

- (Re-)Konstruktion von „Wissen“

Inferenzmechanismen

# Terminologische Repräsentation

– Experimente bzgl. Antworten: „Zugriffszeiten“

Ein Kanarienvogel ist kein Tisch.

# Terminologische Repräsentation

Kanarienvogel

## Bedeutung von Begriffen/Konzepten

– Lexikon, Hypertextsysteme, ...

Netzartige Verknüpfung mit anderen Begriffen

–Objekte

–Beziehungen

- is-a Element einer Menge (Instanz)
- ako (a kind of) Teilmenge (Sub-Klasse)
- has-part Bestandteile (Aggregation)
- ...

Maschinelle Auswertbarkeit

# Potentiale für Inferenz

Hans besitzt ein Fahrrad.  
Ein Fahrrad hat Lenkstange.  
Hans besitzt eine Lenkstange.

Schlußregel (common sense):

besitzt(X,Y).

has-a(Y,Z).

→ besitzt(X,Z).

## Vererbungsregeln

Fahrräder sind Fahrzeuge.

Fahrzeuge haben Räder.

Fahrräder haben Räder.

ako(X,Y). „Teilmenge“

p(Y).

→ p(X).

is-a(X,Y). „Element“

p(Y).

→ p(X).

## Potentiale für Inferenz

- Behandlung von Ausnahmen (Nicht-Monotonie)

- Default-Werte für Oberbegriffe

- Vererbung der Default-Werte auf Unterbegriffe,  
*nur falls kein neuer Wert angegeben wird*

aka(X,Y).

p(Y).

→ q(X) , falls Ausnahme(X)  
p(X), sonst

Hühner sind Vögel.

Vögel können fliegen

Haushühner können nicht fliegen.

**Priorität des Spezielleren.**

Auswertungsstrategie z.B. „Überschreiben“

## Semantische Netze

### Graph-Darstellung

- Knoten: Objekte

- beschriftete Kanten: Relationen

Ursprung: Repräsentation von Wortbedeutungen  
(QUILLIAN, 1966).

### Inferenz-Verfahren:

- Spreading Activation, intersection search (Breitensuche)
- Graph-Matching
- Ähnlichkeit von Graphen

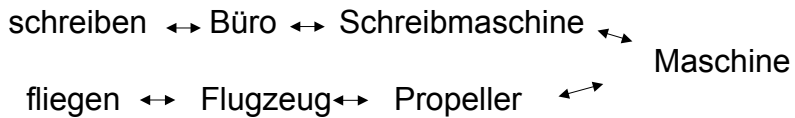
# Semantische Netze

Anwendung z.B. Begriffsbestimmung („Maschine“)

## Unterscheidung

- Ich kann Maschine schreiben.
- Meine Maschine fliegt 11.00 Uhr.

Genauere Bestimmung für „Maschine“ im Kontext mittels Hintergrundwissen (Semantisches Netz)



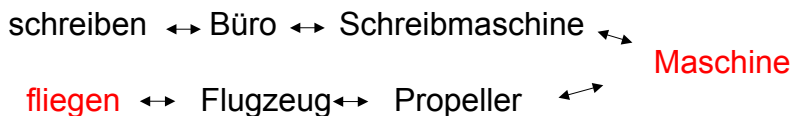
# Semantische Netze

Anwendung z.B. Begriffsbestimmung („Maschine“)

## Unterscheidung

- Ich kann Maschine schreiben.
- **Meine Maschine fliegt 11.00 Uhr.**

Genauere Bestimmung für „Maschine“ im Kontext mittels Hintergrundwissen (Semantisches Netz)



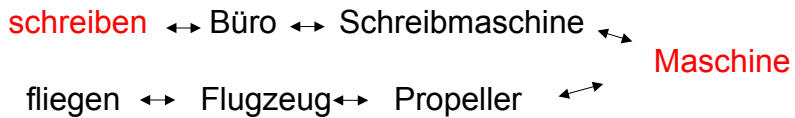
# Semantische Netze

Anwendung z.B. Begriffsbestimmung („Maschine“)

Unterscheidung

- Ich kann Maschine schreiben.
- Meine Maschine fliegt 11.00 Uhr.

Genauere Bestimmung für „Maschine“ im Kontext  
mittels Hintergrundwissen (Semantisches Netz)



# Semantische Netze

Graphmatching

Fakt:

Eine graue Katze liegt auf dem Blechdach.

Frage:

Welche Farbe hat das Objekt, das auf dem Blechdach liegt?

Graph-Ähnlichkeit

Fakt:

Eine graue Katze namens Mausi liegt auf dem Blechdach.

Frage:

Welche Farbe hat das Objekt, das auf dem Blechdach liegt ?





## Conceptual Dependency Theory (Schank)

„Hans kauft ein Fahrrad von Fritz“

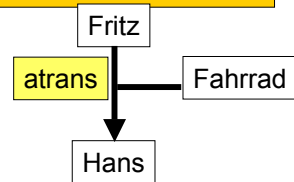
„Das Fahrrad wurde von Fritz an Hans verkauft“

„Hans klaut ein Fahrrad von Fritz“

„Hans bekommt ein Fahrrad von Fritz geschenkt“

„Fritz hat ein Fahrrad von Fritz bekommen“

...



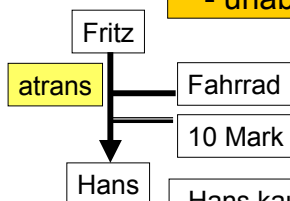
## Conceptual Dependency Theory (Schank)

Handlungskonzept repräsentiert konkretere Konzepte

**atrans** (abstrakte Beziehung-ändern, z.B. Eigentum)

steht für kaufen, verkaufen, verlieren, schenken, ...

Netzartige Darstellung der Beziehungen  
- unabhängig von sprachlicher Repräsentation

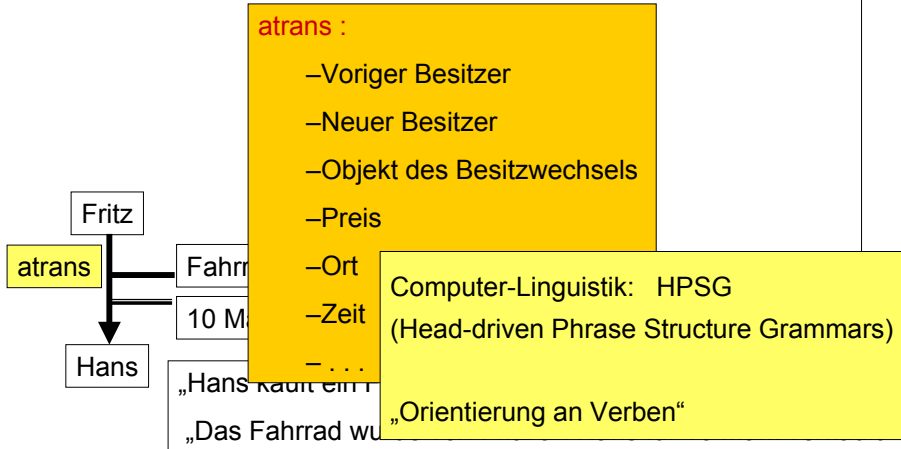


„Hans kauft ein Fahrrad von Fritz für 10 Mark“

„Das Fahrrad wurde von Fritz an Hans für 10 Mark verkauft“

# Conceptual Dependency Theory (Schank)

Typische Konfigurationen für Handlungskonzepte darstellen

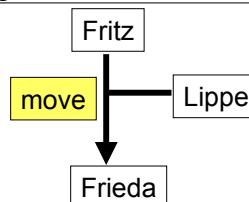


# Conceptual Dependency Theory (Schank)

Erweiterte Netzartige Darstellungen mit Konzepten für

- Raum
- Zeit
- Instrumente
- Naturkräfte
- menschl. Gedächtnis  
(Kurzzeitgedächtnis, Langzeitgedächtnis, Verarbeitung)

Zentraler Gesichtspunkt:  
Reduktion auf Primitive



# Framebasierte Systeme

Frame = (Begriffs-)Rahmen für Musterbeschreibungen

Erwartungsgesteuerte Verarbeitung durch

- gleichartige Beschreibungsmuster (Schema)
- vorgegebene Werte („Erwartung“: default-Wert, Vererbung)
- Konkretisierung bei Bedarf (Überschreiben)

analog zu semantischen Netzen/Bäumen

Beschreibungsform: analog zu Objekten

- Objekte + Relationen
- Vorgabe gleichartiger Beschreibungsmuster

# Framebasierte Systeme

Strukturierung:

Frame = Liste von „Slots“

Slot = Slot-Name, Slot-Wert (Filler) (Attribut-Werte-Paar)

Slot-Wert = Liste von „Fazetten“ (facets, Aspekte)

Fazette = Fazetten-Name, Fazetten-Wert (Attribut-Werte-Paar)

Beziehungen:

Verweise auf andere Frames (als Slot-Werte, Fazetten-Werte)

- vertikal (Hierarchie)
- horizontal

## Wertangaben in Framebasierten Systemen

–konkrete Werte

**\$value** (individueller Wert)

**\$default** (Standardwert)

–Verweise auf andere Frames, d.h. Beziehungen, z.B.

• **instance-of, is-a**

• **ako, supersets, subsets**

• **part-of, has-part**

• Parallelverweise (Verheiratet mit ...)

–(Slot-)Bedingungen (Wertebereiche, Constraints)

**\$require**

## Wertangaben in Framebasierten Systemen

–Prozeduren (Dämonen)

• **\$if-needed**

Berechnungen, Lese-Prozeduren

z.B. Alter aus Geburtsdatum und aktueller Zeit

• **\$if-added, \$if-removed**

Aktionen, Schreib-Prozeduren

in Verbindung mit Änderungen eines Slotwertes

ggf. unter Beachtung von (Slot-)Bedingungen

z.B. bei Änderung des Familienstandes auch Steuerklasse

auch verkettete Aktionen („Methoden-Aufrufe“)

## Inferenz in Framebasierten Systemen

- Abfrage, Aktualisierung
- sukzessive Bearbeitung von Slotwerten durch Dämonen (z.B. Lagerhaltung, Medizin. Diagnose)

### Konflikte bei Wertbestimmung:

- Frame intern: **\$value**, **\$if-needed**, **\$default**
- Frame extern: Vererbungshierarchie

- Reihenfolge der Auswertung festlegen
- Erster gefundener Wert als Resultat
  - „Horizontale Strategie“: stufenweise interne Auswertung
  - „Vertikale Strategie“: stufenweise **\$value**  
stufenweise **\$if-needed**  
stufenweise **\$default**

## Semantische Netze/Frames

(Visuell überschaubare) strukturierte Wissensdarstellung

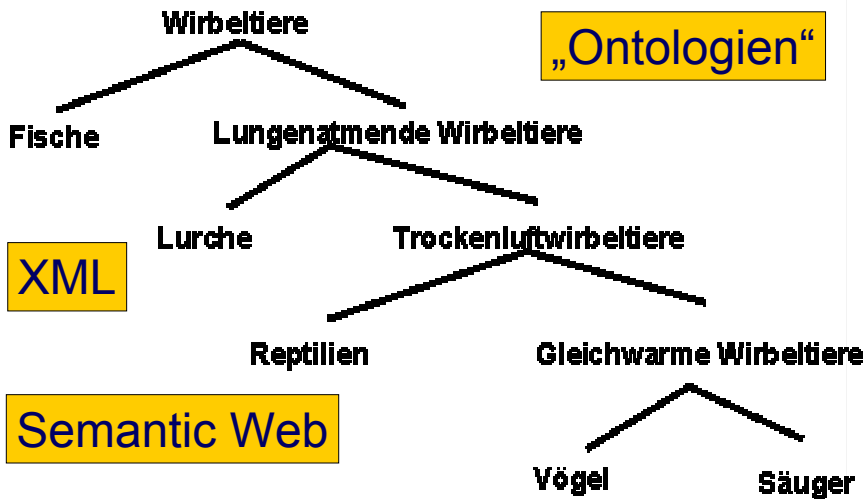
- Zugriffe gemäß Beziehungen
- Vererbung, Transitivität
- transitive Beziehungen (günstiger als Logik bzw. Regeln)

Graph-Verfahren aber komplex

Implementierung:

- Graphen, Bäume, ...

## Bäume: Hierarchien



## Naive Semantische Netze/Frames: Probleme

### Wissensausschnitt

Nähe zu natürlichen Begriffen:

- keine klare Semantik (Tisch - Holz - Heizmaterial)  
(verschwommene Begriffe, logische Widersprüche)

Speziell Problematisch: negative Information

- Interpretation bei „Fehlschlag“?

### Konsistenz, Konsistenzprüfung

Neuere Systeme: an Logik/Mengenlehre orientierte Semantik,  
mit Konsistenzprüfung, Subsumptionstest, Klassifikation

## Beschreibungssysteme

Beschreibungssysteme, Klassifizierungssysteme,  
Beschreibungslogiken, Terminologische Systeme,  
Terminologische Logiken, Begriffssprachen,  
Termsubsumptionssprachen, KL-ONE-basierte Sprachen, ...

Ziel: Präziser Formalismus basierend auf Logik/Mengenlehre

- Objekte: Elemente (Individuen)
- Konzepte: einstellige Prädikate (Mengen)
- Rollen: zweistellige Prädikate (Relationen)

$r(x,y)$  : in bezug auf  $x$  hat  $y$  die Rolle  $r$

$y$  ist „Rollenfüller“, z.B. „Nachbar von  $x$ “

## Beschreibungssysteme: Beispiel

Objekte: Anton, Eva, Herr Meier, grünes Fahrrad, Maudi

Konzepte: Menschen, Fahrräder, Katzen, Lebewesen

Rollen: fahren, streicheln, besitzen

Konzeptbildung (aus Konzepten und Rollen):

Radfahrer: Menschen, die ein Fahrrad besitzen

Hausbewohner: Menschen und Katzen



## Beschreibungssysteme: Beispiel

Beziehungen zwischen Konzepten (Subsumption):

Radfahrer sind Menschen

Katzen sind Lebewesen

Menschen sind Lebewesen

Beschreibung von Objekten (Description):

Mausi ist eine Katze

Herr Meier ist ein Radfahrer

Folgerungen (Beziehungen/Beschreibungen):

Hausbewohner sind Lebewesen

Herr Meier ist ein Hausbewohner

## Beschreibungssysteme: Syntax

Zeichen für

Objekte: Alphabet  $O = o_1, o_2, o_3, \dots$

Konzepte: Alphabet  $C = c_1, c_2, c_3, \dots$

Rollen: Alphabet  $R = r_1, r_2, r_3, \dots$

Konzept-Konstante:  $\perp, \dots$

Operatoren:  $\forall, \exists, \neg, *, +, :$

Definitionen/Vergleiche:  $m, \cup$

Technische Zeichen:  $(, )$

## Syntax T-Box (Terminologie)

Konzeptbildung („Terme“):

$c ::=$	$c_i$	Konzeptsymbole
	$\perp, \top$	Konzeptkonstante: „nichts“, „alles“
	$c * c'$	Konjunktion von Konzepten
	$c + c'$	Disjunktion von Konzepten
	$\neg c$	Negation von Konzepten
	$\forall r:c$	Wertrestriktion („value restriction“)
	$\exists r:c$	Existentielle Restriktion („existential restriction“)

## Syntax T-Box (Terminologie)

Formeln („Ausdrücke“)

- für Konzepte:
  - $c \sqsubseteq c'$  partielle Definition (Subsumption)
  - $c \sqcup c'$  vollständige Definition  
(durch Subsumption definierbar)
- für Rollen
  - $r \sqsubseteq r'$  partielle Definition (Subsumption)
  - $r \sqcup r'$  vollständige Definition  
(durch Subsumption definierbar)

## T-Box (Terminologische Box)

Axiome zur Beschreibung von Konzepten und ihren Beziehungen erfolgen in der T-Box

Rad m Fahrzeug  
Fahrzeug m Ding  
Radfahrer m Menschen \*  $\exists$  besitzen:Rad  
Fußgänger  $\cup$  Menschen \*  $\neg \exists$  besitzen:Auto  
Student m Menschen \*  $\forall$  besitzen: Kleingeld

## Syntax: A-Box (Assertionale Box)

Zusätzliche Konzeptbildung („Terme“):

$c ::= \dots$   
|  $r:o$  („fills construct“)

zusätzliche Formeln („Ausdrücke“)

$o::c$  Beschreibung

Axiome zur Beschreibung von Objekten und ihren Beziehungen in der A-Box (Assertionale Box)

besitzen:Auto\_mit\_Kennzeichen\_BB2804  
Alboin::Student

## Semantik T-Box und A-Box

Mengentheoretisches Modell:

- Universum  $U$  (bzw. dessen Potenz-Menge  $2^U$ )
- Interpretation Wert

(eindeutige Namen)

Wert:  $O \rightarrow U$  mit  $\text{Wert}(x) = \text{Wert}(y) \Rightarrow x=y$

Wert:  $C \rightarrow 2^U$

Wert:  $R \rightarrow 2^{U \times U}$

in funktionaler Schreibweise:

$\text{Wert}(r)(x) := \{ y \mid (x,y) \in \text{Wert}(r) \}$

„Rollenfüller bzgl.  $x$ “

## Semantik T-Box und A-Box

Wert( $\perp$ ) =  $\emptyset$

„nichts“

Wert( $\top$ ) =  $U$

„alles“

Wert( $c * c'$ ) =  $\text{Wert}(c) \cap \text{Wert}(c')$

„Konjunktion“

Wert( $c + c'$ ) =  $\text{Wert}(c) \cup \text{Wert}(c')$

„Disjunktion“

Wert( $\neg c$ ) =  $U - \text{Wert}(c)$

„Negation“

Wert( $r:o$ ) =  $\{ x \mid (x,o) \in \text{Wert}(r) \}$

„fills construct“

Wert( $\forall r:c$ ) =  $\{ x \mid \text{Wert}(r)(x) \subseteq c \}$

=  $\{ x \mid \forall y: (x,y) \in \text{Wert}(r) \Rightarrow y \in c \}$

„Wertrestriktion“

Wert( $\exists r:c$ ) =  $\{ x \mid \text{Wert}(r)(x) \cap c \neq \emptyset \}$

=  $\{ x \mid \exists y: (x,y) \in \text{Wert}(r) \wedge y \in c \}$

„Existentielle Restriktion“

## Semantik für Formeln

Gegeben: Modell  $M = [U, \text{Wert}]$

Gültigkeit von Formeln

$c \text{ m } c'$  gilt gdw.  $\text{Wert}(c) \subseteq \text{Wert}(c')$

$c \cup c'$  gilt gdw.  $\text{Wert}(c) = \text{Wert}(c')$

$r \text{ m } r'$  gilt gdw.  $\text{Wert}(r) \subseteq \text{Wert}(r')$

$r \cup r'$  gilt gdw.  $\text{Wert}(r) = \text{Wert}(r')$

$o::c$  gilt gdw.  $\text{Wert}(o) \in \text{Wert}(c)$

Folgerungen:

Formel  $F$  folgt aus Axiomen-Menge  $X$  (T-Box, A-Box)

falls gilt: Jedes Modell für  $X$  ist Modell für  $F$ .

## Beschreibungssysteme: Anwendung

Subsumptionstest (classifier):

Gilt  $c \text{ m } c' \in \text{FI}(X)$  ?

Zugehörigkeitstest (recognizer):

Gilt  $o::c \in \text{FI}(X)$  ?

Ausschnitt der Logik:

Probleme sind entscheidbar, aber komplex.

Implementierte Systeme mit unterschiedlichen  
Funktionalitäten und Laufzeiten, z.B.

KL-ONE (der **Klassiker**), NIKL, KRYPTON, KR-L, KR-S,  
SB-ONE, KRIS, CLASSIC, BACK, LOOM

## 3.3 Skripts

Allgemeines kognitives Vorgehen:

- Wir merken uns/teilen mit

- allgemeine Situation

Kinobesuch

- „was war ungewöhnlich“

Der Ton fehlte

- Wir wissen/rekonstruieren

- „was hätte passieren müssen“

Licht geht aus

Film beginnt

Titelmusik

## Skripts („Drehbücher“)

- Erwartungen bzgl. Beschreibung von Ereignissen
- Scripts beschreiben einen zeitlichen Verlauf.

(vgl. Frames als Erwartungs-„Rahmen“ für Objekte).

- Es wird ein „üblicher Ablauf“ (Alltagswissen) zugrunde gelegt, der bzgl. bestimmter Werte variieren kann.

Anwendung: Analyse von Abläufen

Skripts auch als *vorgefertigte Handlungsfolgen/vorgefertigte Pläne*

- evtl. mit Bedingungen
- meist parametrisierbar

## Skripts

Schematische Beschreibung konkreter Abläufe

- was ist vorgegeben (i.a. nicht variabel)
- was muss konkret beschrieben werden (variabel)
- was ist von Interesse („nicht selbstverständlich“)

Für einen konkreten Fall mitzuteilende Fakten:

- Voraussetzungen (Anfangsbedingungen),
- Ergebnisse,
- Requisiten,
- Rollen,
- Orte, Zeiten, ...
- Ablauf mit Varianten.

Zusätzlich:

- was ist unnormal/abweichend (und darum mitzuteilen)

## Auswertung von Scripts

Anhand von Scripts die wesentlichen Aktionen, Rollen usw.  
z.B. in einem Text erfassen

„ich kam hungrig aus der Mensa“

Anhand der konkreten Situation ist zu erfassen/präzisieren:

- Auswahl des geeigneten Scripts:
  - Schlüsselwörter, Kontexte
  - Semantische Beziehungen
- Parametrisierung (Ergänzung fehlender Angaben) :
  - konkrete Personen den Rollen zuweisen,
  - konkrete Gegenstände den Requisiten zuweisen.
  - Zeit, Ort usw.
- Abweichungen näher beschreiben.

# Skripts und Frames

## Beschreibung von Objekten und Ereignissen

- Skripts als Dämone von Frames
- Frames als Parameter von Skripts

### Verwandte Bereiche:

- OO, UML, ...
- XML, ...
- (aktive) Datenbanken,
- Linguistik