

ABox

- Objektwissen (*assertional knowledge*):
Einführung von Instanzen, Angabe von Eigenschaften („Füllern“)
z.B.: BB_9 ist ein Basketball, BB_9 gehört Edward
- Zwei Arten von Zusicherungen (Assertionen):
 $a: C$ logische Semantik: $C(a)$
 $(a,b): r$ logische Semantik: $r(a,b)$
- ABox ist **endliche** Menge solcher Zusicherungen
- *Unique Names Assumption* (UNA):
Unterschiedliche Namen bezeichnen unterschiedliche Objekte
- Modell einer ABox+TBox: analog TBox

Beispiel-ABox

CHARLES: Man

EDWARD: Man

ANDREW: Man

DIANA: Mother-without-daughter

(ELIZABETH, CHARLES): has-child

(ELIZABETH, EDWARD): has-child

(ELIZABETH, ANDREW): has-child

(ELIZABETH, ANNE): has-child

(DIANA, WILLIAM): has-child

(CHARLES, WILLIAM): has-child

DIANA: Woman

ELIZABETH: Woman

ANNE: Woman

Beispiel-Anfragen: Intendierte Antworten

DIANA: Woman
 ELIZABETH: Woman
 ANNE: Woman
 CHARLES: Man
 EDWARD: Man
 ANDREW: Man
 DIANA: Mother-without-daughter
 (ELIZABETH, CHARLES): has-child
 (ELIZABETH, EDWARD): has-child
 (ELIZABETH, ANDREW): has-child
 (ELIZABETH, ANNE): has-child
 (DIANA, WILLIAM): has-child
 (CHARLES, WILLIAM): has-child

Male \doteq \sim Female
 Human \sqsubseteq Living_entity
 Woman \doteq Human \otimes Female
 Man \doteq Human \otimes Male
 Mother \doteq Woman \otimes \exists has-child.Human
 Father \doteq Man \otimes \exists has-child.Human
 Parent \doteq Father \oplus Mother
 Grandmother \doteq Woman \otimes \exists has-child.Parent
 Mother-without-daughter \doteq Mother \otimes \forall has-child.Male
 Mother-with-many-children \doteq Mother \otimes (≥ 3 has-child)

- Ist Elizabeth ein mother-wmc? \rightarrow ja! (vier Kinder bekannt)
- Ist Diana ein parent? \rightarrow ja! (über mother-wod)
- Ist grandmother eine mother? \rightarrow ja! (Subsumption)
- Ist William ein man? \rightarrow unsicher! (male!; human?)
(nicht notwendig **closed world assumption!**)

Exkurs: Die *closed world assumption* (CWA)

**Nimm an, alles ist falsch,
was nicht ausdrücklich als wahr bekannt ist!**

- Beispiel dafür: **not**-Prädikat in PROLOG
auch: Datenbanken, Alltagsschlüsse (s.u.)
- Führt logisch in die Nicht-Monotonie
(Hinzufügen neuer Fakten ändert Ableitbarkeit anderer Fakten)
- Prädikatenlogik hat die CWA *nicht*:
Für Formel α und „Fakt“ (Formel) β kann sowohl $\alpha \wedge \beta$ als auch $\alpha \wedge \neg \beta$ erfüllbar sein!

Anfragen an eine Wissensbasis in DL

- **Konsistenz** der Wissensbasis
 - Sind die in einer TBox definierten Konzepte erfüllbar?
z.B. $Man \otimes \forall(has-child \circ has-child^{-1}). \sim Man$
 - Ist die TBox insgesamt erfüllbar?
 - Ist eine gegebene ABox erfüllbar?
 - **Schlussfolgerungen**
 - Subsumiert Konzept X Konzept Y ?
z.B. $Mother$ subsumiert $Mother-without-Daughter$
 - Ist a Instanz eines bestimmten Konzepts X ?
z.B. $Charles: \exists has-child^{-1}. Mother$
 - Gibt es ein Konzept X , von dem a Instanz ist?
- ↪ Es gibt dafür polynomielle Algorithmen!

Grundlagen effizienter Implementierungen 1/4

Normalisierung der TBox

Ersetze alle Unterkonzept-Definitionen \sqsubseteq durch Äquivalenz \doteq

Technik

Führe neue (dummy-)Konzeptnamen A^* ein und ersetze:

$C \sqsubseteq C'$ durch $C \doteq A^* \otimes C'$

Bspl.: Ersetze $\text{Human} \sqsubseteq \text{Living_entity}$ durch $\text{Human} \doteq A^* \otimes \text{Living_entity}$

Satz

Ist \mathcal{I} Modell einer Terminologie \mathcal{T} , dann existiert ein Modell \mathcal{I}' der normalisierten Terminologie \mathcal{T}' (und umgekehrt), sodass für alle Konzeptnamen C aus \mathcal{T} gilt: $C_{\mathcal{I}} = C_{\mathcal{I}'}$

Beweisidee: Konstruiere $A^*_{\mathcal{I}'}$ geeignet mittels $C_{\mathcal{I}}$

Grundlagen effizienter Implementierungen 2/4

Auffalten (Expandieren) der TBox

Ersetze alle **nicht-elementaren** Konzepte schrittweise durch ihre Definitionen (vgl. Makro-Expansion)

Bspl.: Ersetze $\text{Mother} \doteq \text{Woman} \otimes \dots$ durch $\text{Mother} \doteq \text{Human} \otimes \text{Female} \otimes \dots$

Satz

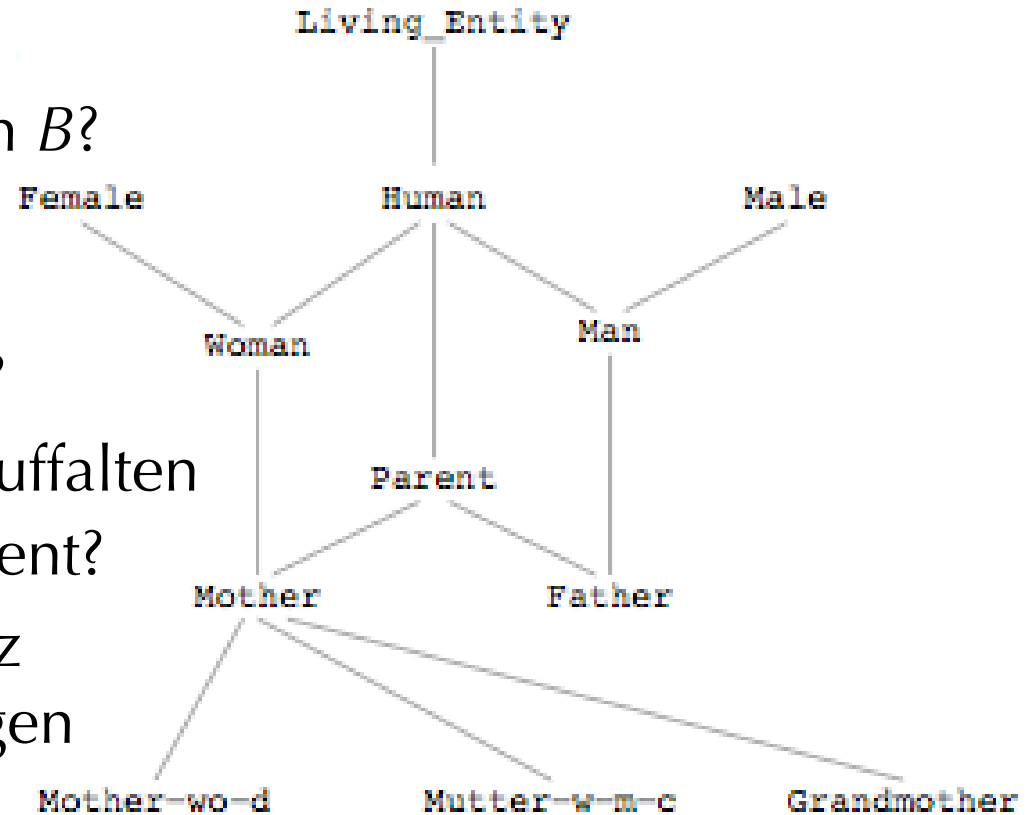
Zu jeder normalisierten TBox \mathcal{T} existiert eine äquivalente aufgefaltete TBox \mathcal{T}'

Beweisidee: Zyklensfreiheit der Definitionen in einer TBox

Grundlagen effizienter Implementierungen 3/4

Subsumtion als Inkonsistenz

- Ist in gegebener TBox \mathcal{T} Konzept A Unterkonzept von B ?
- Formulierung in Logik (wg. Modell von TBox): Folgt $\forall x.(A(x) \Rightarrow B(x))$ aus \mathcal{T} ?
- Nach Normalisierung und Auffalten von \mathcal{T} : Ist $A \otimes \sim B$ inkonsistent?
- Subsumtion und Inkonsistenz als äquivalente Fragestellungen
- Lege Subsumtionsrelation dauerhaft ab als Klassenhierarchie



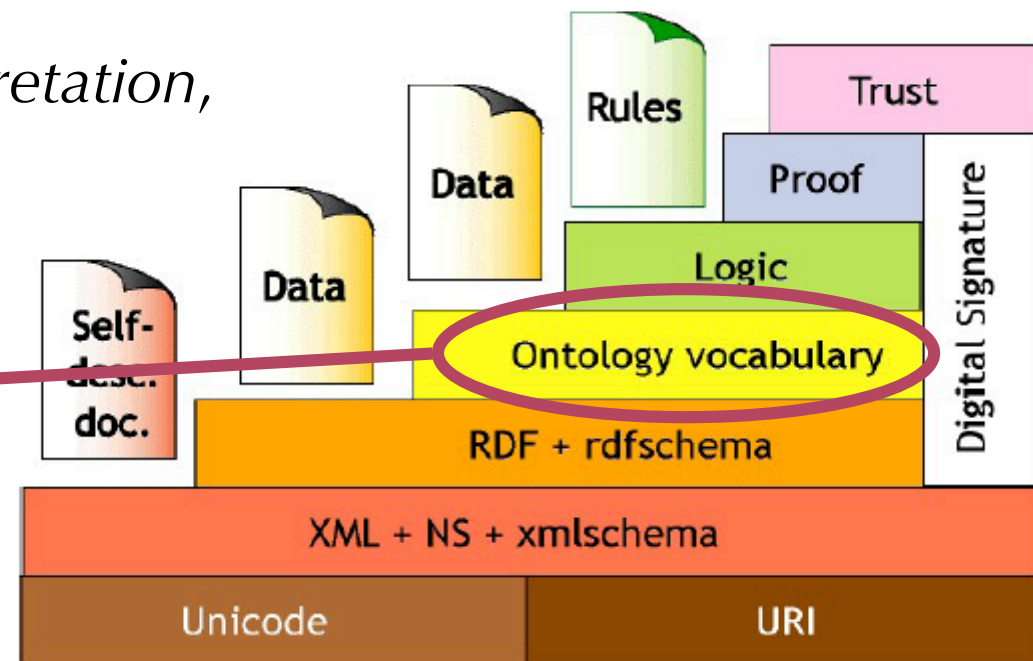
Anwendung von Beschreibungslogiken

Semantic Web

“Machines become capable of analyzing all the data on the Web - the content, links, and transactions between people and computers. A "Semantic Web" ... will come about through the implementation of a series of technical advancements and social agreements that are now beginning.”

T. Berners-Lee, *Weaving the Web*, 1999

- Nicht automatische *Interpretation*, durch Maschinen, sondern semantische *Annotation* durch Autoren
- Ontologien/ Beschreibungslogiken als Werkzeug dazu



Beispiel

In XML/HTML hat die Information ...

```
<course name="AI Intro">  
  <lecturer>J. Hertzberg</lecturer>  
</course>
```

... nichts zu tun mit der Information ...

```
<lecturer name="J. Hertzberg">  
  <teaches>AI Intro</teaches>  
</lecturer>
```

Im Semantic Web Repräsentation auf *semantischer* Ebene, daher:

- Möglichkeiten zur Inferenz (wie in Beschreibungslogiken)
- insbesondere: stelle „syntaktische“ Varianten derselben Information nur einmal dar

OWL *Web Ontology Language*

- W3C Standard (verabschiedet Feb. 2004)
- Setzt auf auf XML, RDF (*Resource Description Framework*), RDF Schema
- In drei aufwärts-kompatiblen Ausbaustufen: OWL Lite, OWL DL(!), OWL Full
- „*designed for use by applications that need to process the content of information instead of just presenting information to humans*“
- <http://www.w3.org/TR/owl-features>

OWL-Sprachbeispiel

Definition der Rolle `teaches` als invers zur Rolle `isTaughtBy`
(die beiden Argumente einer Rolle werden als *range* und *domain* bezeichnet)

```
<owl:ObjectProperty rdf:ID="teaches">  
  <rdfs:range rdf:resource="#course" />  
  <rdfs:domain rdf:resource= "#academicStaffMember" />  
  <owl:inverseOf rdf:resource="#isTaughtBy" />  
</owl:ObjectProperty>
```

Quelle: G. Antoniou, F. Van Harmelen: A Semantic Web Primer. MIT Press, 2004

3. Zeit, Raum & Ereignisse

„Naive Physik“

- Elementare Zusammenhänge aus Physik, Mathematik, Medizin, und „Alltagswissen“ spielen in sehr vielen Anwendungen eine Rolle
- Sie müssen nicht mathematisch/numerisch präzise modelliert werden – „naive“, qualitative Versionen reichen meist (Patrick Hayes: *The Naive Physics Manifesto*, 1978)
- Für einige Kategorien gibt es spezielle Repräsentations- und Schlussverfahren: Zeit, Raum, Ereignisse
- In vielen Fällen sind diese Zusammenhänge auch in anderen Wissenschaftsgebieten interessant (z.B. temporale Logik, *Die Bildung des Zeitbegriffs beim Kinde* (Piaget), Zeit als „Kategorie der Anschauung“ (Kant))
- Hier Konzentration auf Kategorie Zeit

„Atome“ der Zeitrepräsentation

Ist die elementare Zeiteinheit
der *Zeitpunkt* oder das *Zeitintervall*?

Beispiel

- Die Mensa öffnet am Vormittag. (*Zeitpunkt*)
- Vorlesung X liegt am Vormittag. (*Zeitintervall*)
- Vorlesung X liegt früher als Vorlesung Y. (*Zeitintervalle*)
- Während der Vorlesung Y schließt die Mensa.
(*Zeitpunkt* und *Zeitintervall*)

Zeitpunkte sind als Intervalle ausdrückbar (Intervall $[t,t]$ mit Anfang = Ende); Zeitintervalle sind über Punkte ausdrückbar (Paar von Punkten: Anfangs- und Endpunkt des Intervalls)

Zur Intervallformulierung des Mensabeispiels

V : Vormittag

O : Die Mensa öffnet („punktartiges“ Intervall)

M : Die Mensa hat geöffnet

S : Die Mensa schließt („punktartiges“ Intervall)

X : Vorlesung X läuft

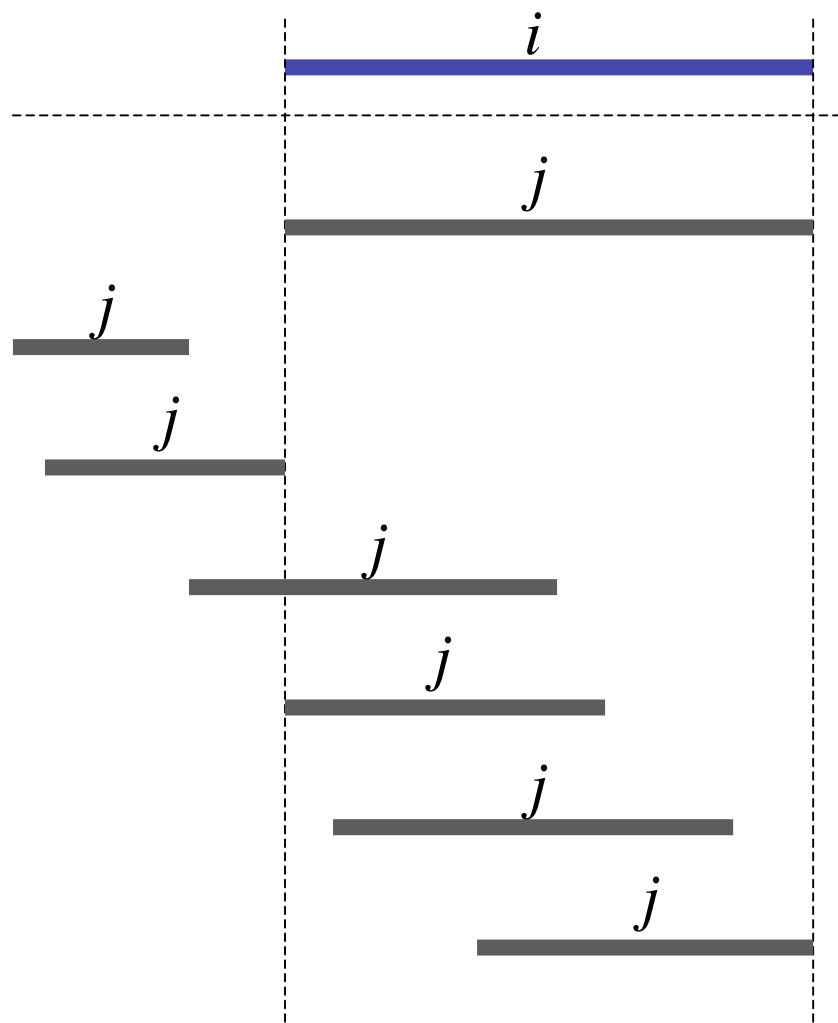
Y : Vorlesung Y läuft

Dann gilt offenbar

- O liegt „innerhalb“ von V , ebenso X
- X liegt „vor“ Y
- S liegt „innerhalb“ von Y
- O, M, S „schließen direkt an“ aneinander

Wieviele solche Relationen zwischen Zeitintervallen gibt es?

2x6+1 qualitative Relationen auf Zeitintervallen



„Natürliche“ Relationen und ihre **Konversen** (Notation: **rel**⁻)

$i \equiv j$ *equal*

$i > j, j < i$ *after, before*

$j m i, i m^- j$ *meets*

$j o i, i o^- j$ *overlaps*

$j s i, i s^- j$ *starts*

$j d i, i d^- j$ *during*

$j f i, i f^- j$ *finishes*

Notation

- 13 Basisrelationen

$$\mathcal{B} = \{ \equiv, <, >, m, m^-, o, o^-, s, s^-, d, d^-, f, f^- \}$$

- Disjunktionen von Basisrelationen notiere als Menge:
z.B. $I \{s, \equiv, d\} J$: I starts J , oder I equals J , oder I during J
- „Relation“ bezeichnet im Folgenden Menge von Basisrelationen
- Es gibt 2^{13} mögliche Relationen zwischen Intervallen einschließlich \mathcal{B} (leere Relation) und \emptyset (inkonsistent)

Mensabeispiel, Fortsetzung

Zur Erinnerung:

- O liegt „innerhalb“ von V , ebenso X
 - X liegt „vor“ Y
 - S liegt „innerhalb“ von Y
 - O, M, S „schließen direkt an“ aneinander
- $O \{s, d, f\} V,$
 $X \{s, d, f\} V$
 - $X \{<, m\} Y$
 - $S \{s, d, f\} Y$
 - $O \{m\} M, M \{m\} S$

- Die bildliche Darstellung der Verhältnisse ist uneindeutig wegen Mangels an Information (Wie liegt Y zu V ? S zu V ? O zu X ?)
- Numerische Information (Uhrzeiten, Dauern) sind nicht vorhanden – sollen es auch gar nicht sein!
- Intuitiv kann man z.B. schließen, dass S nicht innerhalb X liegt
- Kann man das über einen Kalkül ableiten?