Seminar

Beschreibungslogiken

Carola Eschenbach
Universität Hamburg, MIN-Fakultät, Dept. Informatik
AB Wissens- und Sprachverarbeitung (WSV)

Wintersemester 2007/2008

Einordnung in den Diplom-Studienplan

Profil Intelligente Systeme

- Wissensverarbeitung
- Sprachverarbeitung
- (Bildverarbeitung)

Logik

- Fortsetzung von LOS / Ergänzung von FGI3-Logik
- Detailstudie von Logik-Formalismen mit guten Verarbeitungseigenschaften

Aktuelle Anwendungen

- Semantic Web: Semantik-basierte Nutzbarkeit
  - Spezifikation von Ontologien / Terminologie
  - Integrierbarkeit unterschiedlicher Informationsquellen

Masterstudium Informatik, Pflichtmodul

FGI 3

Logik + Semantik der Programmierung + Beschreibungslogiken

Logik Beschreibungslogiken	Semantik der Programmierung
Carola Eschenbach	**Rüdiger Valk**
– WSV –	**– TGI –**

Prüfungen

Modul FGI 3

- Seminar Beschreibungslogiken: Vortrag + Seminararbeit
- mündliche Prüfung über den Stoff beider Vorlesungen

Prüfungen sind studienbegleitend konzipiert !

- während des Semesters lernen und fragen,
- am Semesterende prüfen,
- und nicht erst 2 Jahre später !

Termine: über das Prüfungsamt (Stine?) zu vergeben

- werden rechtzeitig bekannt gegeben

Sinn und Zweck: Lernziele von Seminaren

Fähigkeit zum

- selbständigen Erarbeiten eines neuen Themenbereiches
  - Ziele (Visionen, Hoffnungen, Versprechungen)
  - Methoden
  - Ergebnisse
- Lesen, Einordnen und Beurteilen wissenschaftlicher Texte
  - technisch
  - voraussetzungsreich
  - idiosynkratische Terminologie
- Wiedergeben, Zusammenfassen, Diskutieren
  - der Textinhalte

Ablauf

Heute

- Einführungsvortrag
- ggf. Termin und Vortragsverteilung

Freitag

- Expo: Ein Projekt zu einem Beschreibungslogikbeweiser stellt sich vor

nächste Woche

- Diskussion eines von allen gelesenen Aufsatzes

im restlichen Semester

- Vorträge einzelner zu ausgewählten Aufsätzen
- Diskussion von Aufsätzen, die alle gelesen haben

zum Abschluss

- Abschlussdiskussion: Wo stehen wir, wo die Wissenschaft ?

Ablauf (erster Vorschlag)

22. Okt 07	Einführung	CE
29. Okt 07	Semantic Web	Alle
5. Nov 07	Einordnung Beschreibungslogik	
12. Nov 07	Beschreibungslogik-Einführung	
19. Nov 07	OWL-Sprachfamilie (Semantic Web)	
26. Nov 07	DL-Lite-Familie (Datenbankanbindung)	
3. Dez 07	DL-Beweisverfahren, Tableau	
10. Dez 07	DL-Beweiser, ausdrucksstärkere DL	
17. Dez 07	DL-Reasoning mit T-Box	
7. Jan 08	DL-Beweiser, Optimierung	
14. Jan 08	Reasoning services: DL-Dienstleistungen	
21. Jan 08	Unterstützung für Ontologie-Erweiterung	
28. Jan 08	Reserve	
4. Feb 08	Abschluss	

Logik in der Informatik

Logik als Werkzeug

- Formale Theorien der Spezifikation und Korrektheit
  - Verifikation von Software & Hardware
  - Speziell: Parallelität und Nebenläufigkeit
- Grundlage von Berechnungen
  - Theorembeweisen/Deduktionssysteme: Reasoning Services
  - Logik-Programmierung: PROLOG

Logik als Beispiel einer formalen Sprache

zur Beschreibung / Repräsentation der Welt

- Künstliche Intelligenz, Wissensrepräsentation und Wissensverarbeitung, Bedeutung von Sprache und von Bildern
- Datenbanken, Formulierung und Prüfung von Integritätsbedingungen
- Informationssysteme und WWW: Semantic Web, Ontologien

Konzeptsysteme, Systeme von Beschreibungen

Konzepte

- können allgemeiner / spezifischer sein als andere Konzepte (Subsumption)
- können einander ausschließen (Exklusion)
- können atomar oder komplex beschrieben sein
- können Informationen über Relationen beinhalten

Objekte

- können unter Konzepte fallen
- können in Relation zueinander stehen

Relationen (Rollen)

- können allgemeiner / spezifischer sein als andere Relationen (Subsumption)

Ontologien für das ‘Semantic Web’

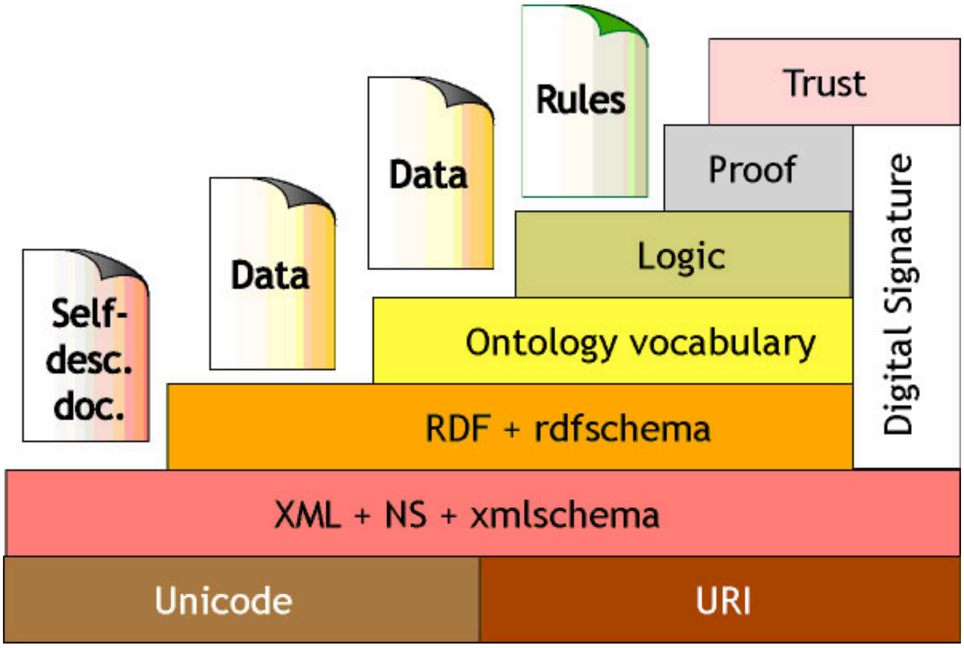
Semantic Web

- Vision der ‘Verständlichkeit’ von Web-Inhalten für Software-Agenten als Basis komplexer Leistungen
- Anreicherung von Web-Seiten um (Meta-)Information, die die Interpretation der Inhalte erlaubt
- Bedarf für formale Spezifikation der Sprache der Meta-Information

Ontologien

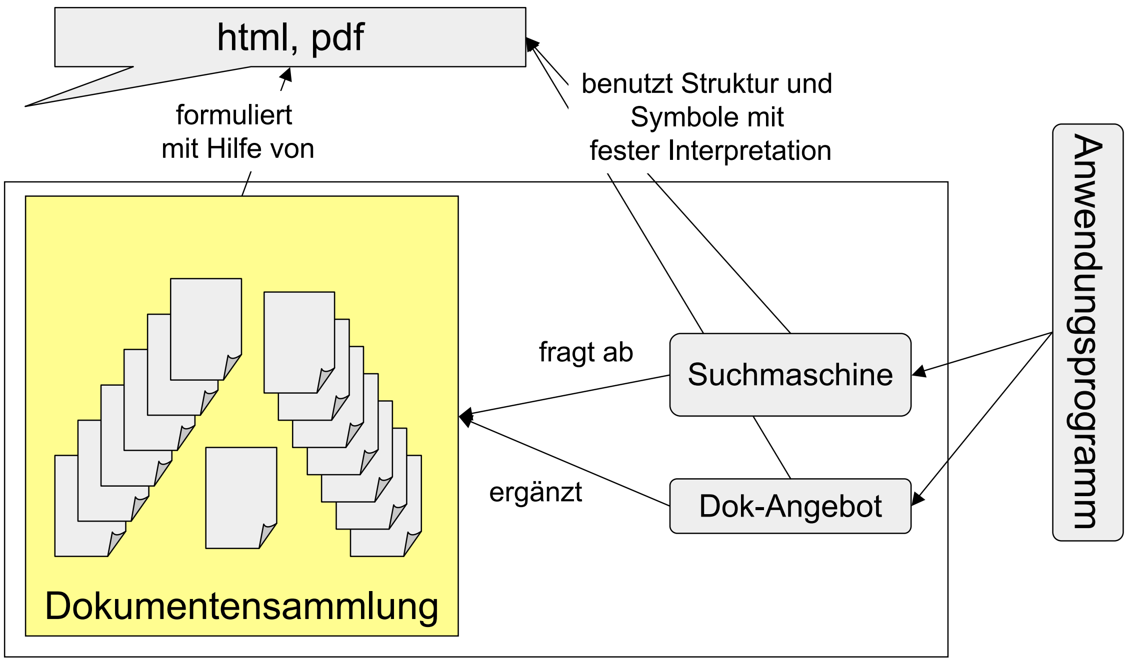
- formal spezifizierte Systeme von Konzepten und Relationen
- mit logischer Basis, die Beweisführungen unterstützt

Semantic-Web-Stack

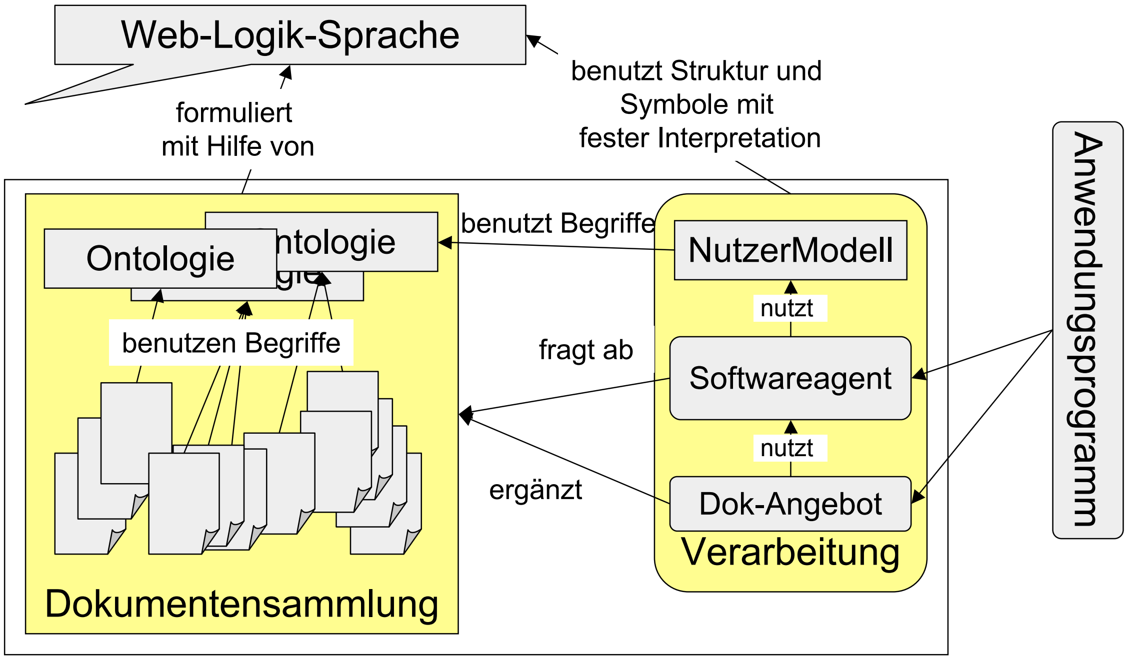


The Semantic Web Stack from a 2000 presentation by Tim Berners-Lee (http://www.w3.org/2000/Talks/1206-xml2k-tbl/):

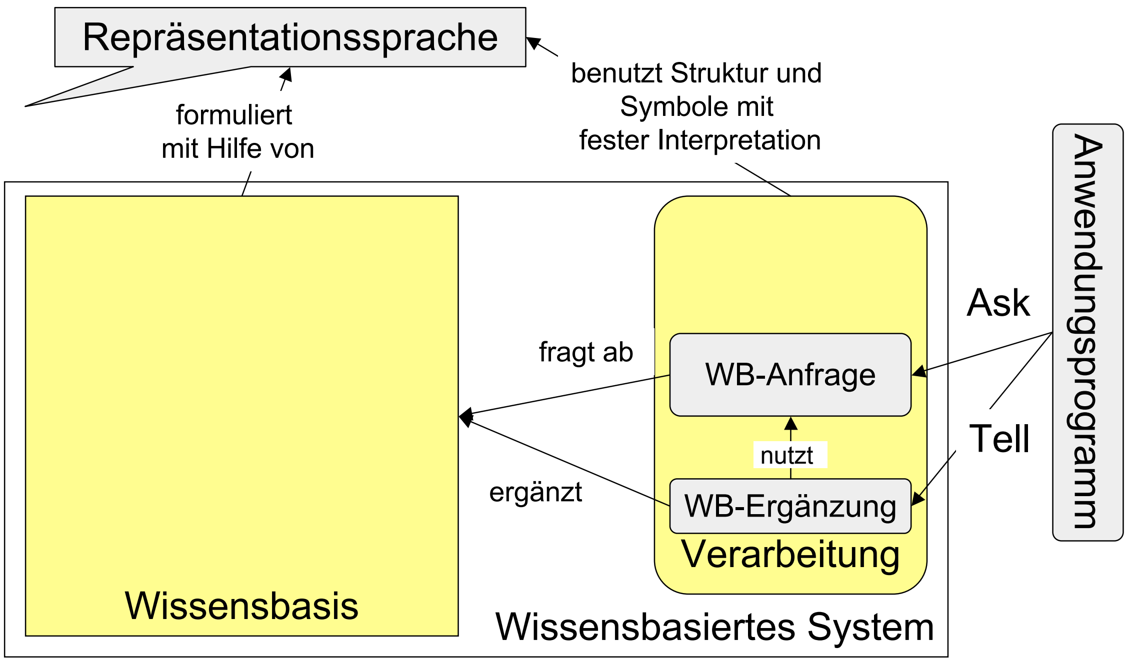
Syntactic-Web-Perspektive



Semantic-Web-Perspektive



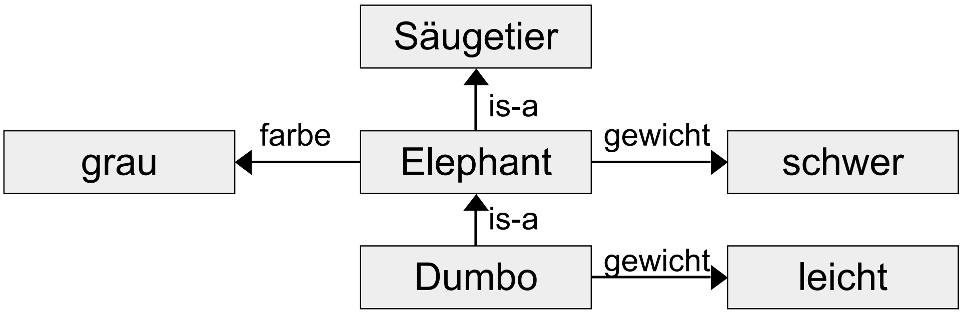
Wissensbasiertes System: Tell/Ask-Interface



Historischer Ursprung von Beschreibungslogiken

Semantische Netze

- Repräsentationen für Konzept-Wissen
- Graphen mit Knoten für Konzepte und Individuen und beschriftete Pfeilen für binäre Relationen
- Definiert über Bilder, keine klare Semantik, keine spezifizierten Verarbeitungsmechanismen



Beschreibungslogik-Ansatz

Im Kontrast zu semantischen Netzen

- Explizite modelltheoretische Semantik
  - der Name ‚Logik' will verdient sein
- Unterscheidung von
  - is-a zwischen Konzepten: Subsumption; und
  - is-a zwischen Objekten und Konzepten: Instanziierung
  - Diese beiden Relationen gehören zu den ausgezeichneten Relationen mit fester Interpretation
- Fokussierung von Verarbeitungsmöglichkeiten und Berechenbarkeitsfragen

Beschreibungslogiken

Andere Namen

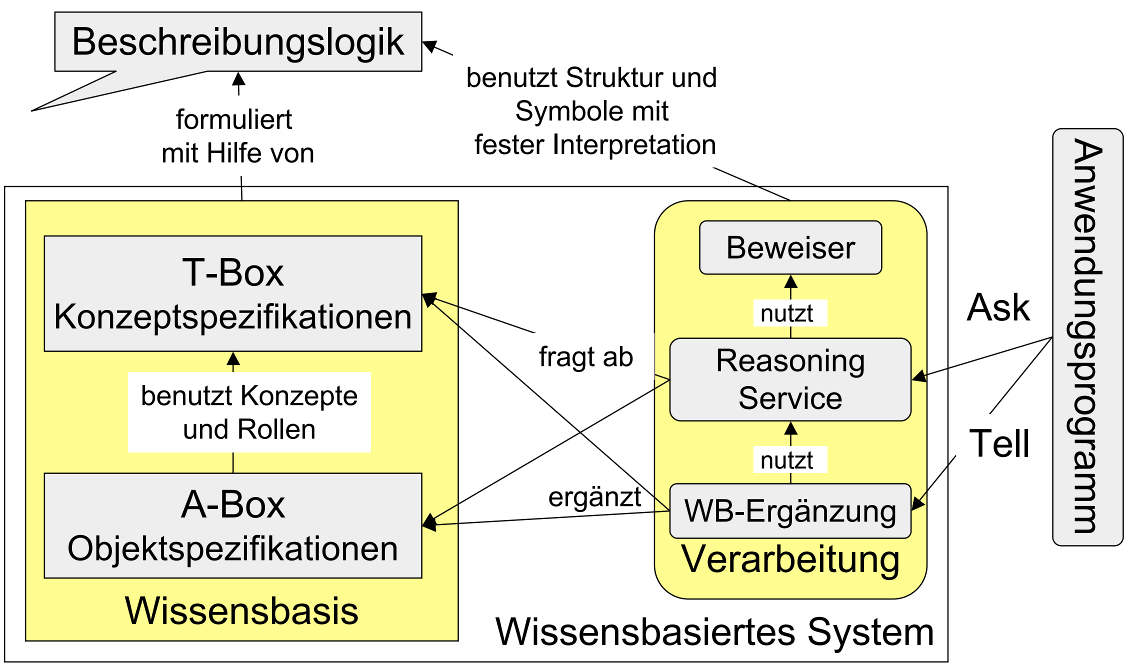
- Terminologische Logiken, KL-ONE-artige Sprachen
- Description logic, terminological logics, taxonomic logics, term subsumption systems, KL-ONE-like systems

Definition eines logischen Systems: Generelles Schema (s. LOS / FGI3-Logik)

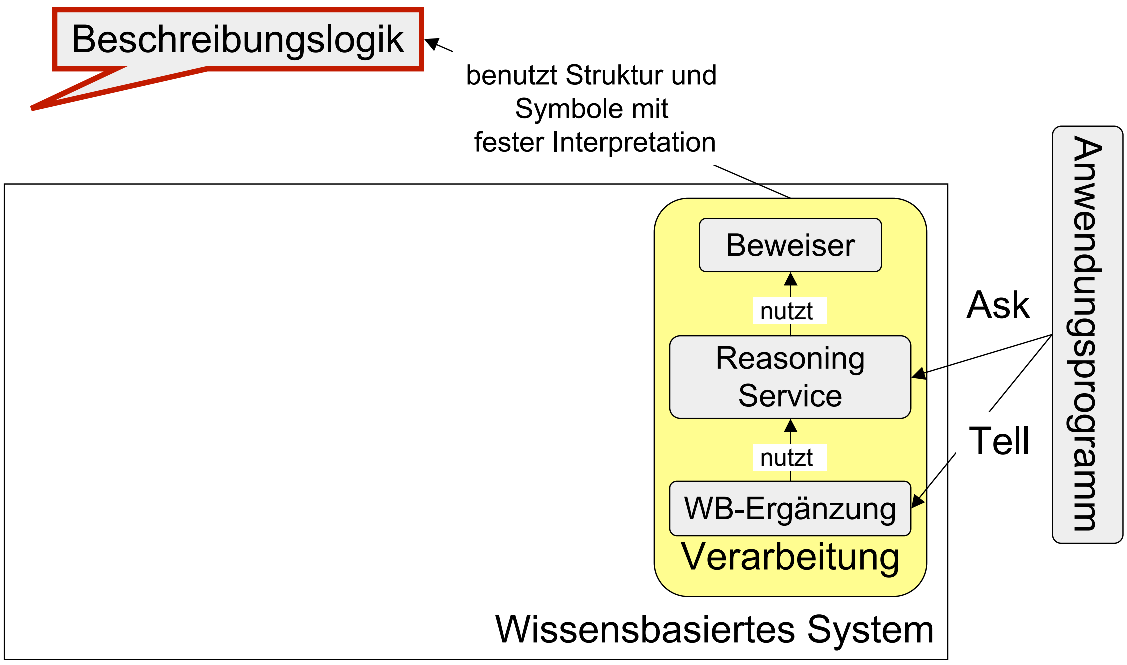
- eine formale Sprache (zur Repräsentation)
- Evaluations- / Interpretationsprinzipien
- semantische Kategorisierungen und Beziehungen
- Ableitungs-, Beweisverfahren

➢**Beschreibungslogiken bilden logische Systeme**

Wissensbasiertes System mit Beschreibungslogiken



Beschreibungslogiken für Wissensbasierte Systeme



Beschreibungslogik: Spezifikationen von Konzepten

Atomare Beschreibungen / freie Symbole

- Konzeptsymbole (einstellige Prädikate)
- Rollensymbole (binäre Relationen)
- Konstanten (Individuenbezeichnungen, nicht in allen Sprachen verfügbar)

Komplexe Beschreibungen

- basierend auf
  - (atomaren) Konzepten
  - (atomaren) Rollen
  - Konzeptbildungsoperatoren
  - Rollenbildungsoperatoren (nicht in allen Sprachen verfügbar)

Beschreibungslogiken: Varianten

Unterschiede zwischen verschiedenen Beschreibungslogiken

- Auswahl von Konzeptbildungsoperatoren
- Auswahl von Rollenbildungsoperatoren
- Konzeptbildungsoperatoren auf Basis von Konstanten

Auswirkungen

- Ausdrucksmächtigkeit und Verarbeitbarkeit
- Manchmal keine: Einschränkung von Formulierungsvarianten desselben Inhaltes
- Reine Konzeptsysteme vs. Konzeptsysteme + Weltausschnitt

Konzeptbildungsoperatoren (Concept constructors)

Standardnotation der Konstruktoren

$\top$	: das universelle Konzept
$\bot$	: das leere Konzept
$C \sqcap D$	: Durchschnitt, Bedingungskonjunktion
$C \sqcup D$	: Vereinigung, Bedingungsdisjunktion
$\neg A$	: Komplement, Negation nur atomarer Konzepte
$\neg C$	: Komplement, Negation nur beliebige Konzepte
$\forall R.C$	: Werterestriktion
$\exists R.\top$	: eingeschränkte Existenzrestriktion
$\exists R.D$	: freie Existenzrestriktion
$(\geq n\ R)$	: Anzahlrestriktion mindestens
$(\leq n\ R)$	: Anzahlrestriktion höchstens

$\mathcal{DL}$: Bedeutung / Interpretation: Formal

Interpretationen sind Paare $\mathfrak{I} = \langle \mathcal{D}, \mathcal{I} \rangle$

$\mathcal{D}$: nicht-leere Menge von Objekten (Domäne, Universum, Diskursbereich)

$\mathcal{I}$: Interpretation der frei verfügbaren Symbole, durch rekursive Definition erweitert auf alle Konzepte, Rollen und Individuenbezeichnungen

- Abbildung von Konzepten auf Teilmengen von $\mathcal{D}$
  - $\mathcal{I}(A) \subseteq \mathcal{D}$
- Abbildung von Rollen auf Teilmengen von $\mathcal{D}\times\mathcal{D}$
  - $\mathcal{I}(R) \subseteq \mathcal{D}\times\mathcal{D}$
- Abbildung von Individuenbezeichnungen auf ein Objekte in $\mathcal{D}$
  - $\mathcal{I}(c) \in \mathcal{D}$

Interpretation der Konstruktoren

Interpretationen sind Paare $\mathfrak{I} = \langle \mathcal{D}, \mathcal{I} \rangle$

$\mathcal{I}(\top) = \mathcal{D}$

$\mathcal{I}(\bot) = \emptyset$

$\mathcal{I}(C \sqcap D) = \mathcal{I}(C) \cap \mathcal{I}(D)$

$\mathcal{I}(C \sqcup D) = \mathcal{I}(C) \cup \mathcal{I}(D)$

$\mathcal{I}(\neg C) = \mathcal{D} \setminus \mathcal{I}(C)$

$\mathcal{I}(\forall R.C) = \{a \in \mathcal{D} \mid \forall b\, [(a, b) \in \mathcal{I}(R) \Rightarrow b \in \mathcal{I}(C)]\}$

$\mathcal{I}(\exists R.\top) = \{a \in \mathcal{D} \mid \exists b\, [(a, b) \in \mathcal{I}(R)]\}$

$\mathcal{I}(\exists R.D) = \{a \in \mathcal{D} \mid \exists b\, [(a, b) \in \mathcal{I}(R) \wedge b \in \mathcal{I}(D)]\}$

$\mathcal{I}((\geq n\ R)) = \{a \in \mathcal{D} \mid\ |\{b \in \mathcal{D} \mid (a, b) \in \mathcal{I}(R)\}| \geq n\}$

$\mathcal{I}((\leq n\ R)) = \{a \in \mathcal{D} \mid\ |\{b \in \mathcal{D} \mid (a, b) \in \mathcal{I}(R)\}| \leq n\}$

Rollenkonstruktoren mit Interpretation

$\mathcal{I}(U) = \mathcal{D} \times \mathcal{D}$

$\mathcal{I}(Id) = \{(a, a) \mid a \in \mathcal{D}\}$

$\mathcal{I}(R \sqcap S) = \mathcal{I}(R) \cap \mathcal{I}(S)$

$\mathcal{I}(R \sqcup S) = \mathcal{I}(R) \cup \mathcal{I}(S)$

$\mathcal{I}(\neg R) = \mathcal{D} \times \mathcal{D} \setminus \mathcal{I}(R)$

$\mathcal{I}(R^{-}) = \{(a, b) \in \mathcal{D} \times \mathcal{D} \mid (b, a) \in \mathcal{I}(R)\}$

$\mathcal{I}(R \circ S) = \{(a, b) \in \mathcal{D} \times \mathcal{D} \mid \exists c\, [(a, c) \in \mathcal{I}(R) \wedge (c, b) \in \mathcal{I}(S)]\}$

$\mathcal{I}(R^{+}) =$ Transitive Hülle von $\mathcal{I}(R)$

$\mathcal{I}(R^{*}) =$ Reflexive, transitive Hülle von $\mathcal{I}(R)$

$\mathcal{I}(R|_{C}) = \mathcal{I}(R) \cap \mathcal{D} \times \mathcal{I}(C)$

Einordnung bezüglich anderer Logiken

Beschreibungslogiken sind

- ausdrucksschwächer als Prädikatenlogik

$\mathcal{ALU}$ und Erweiterungen sind

- ausdrucksreicher als Aussagenlogik

Entscheidbarkeit

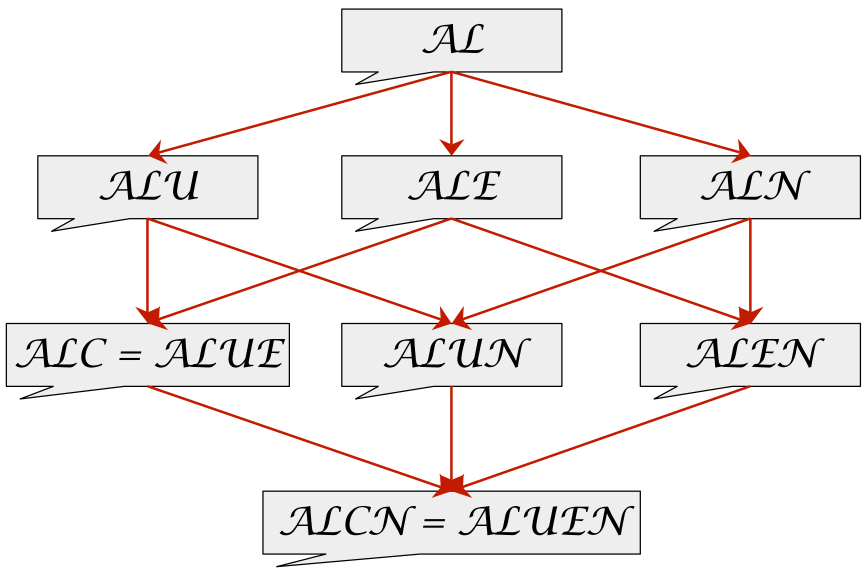
- Prädikatenlogik ist semi-entscheidbar
- Aussagenlogik ist entscheidbar
- Bei Beschreibungslogiken gibt es entscheidbare und semi-entscheidbare Varianten

  ➔ gesucht wird nach entscheidbaren Varianten mit geringer Komplexität

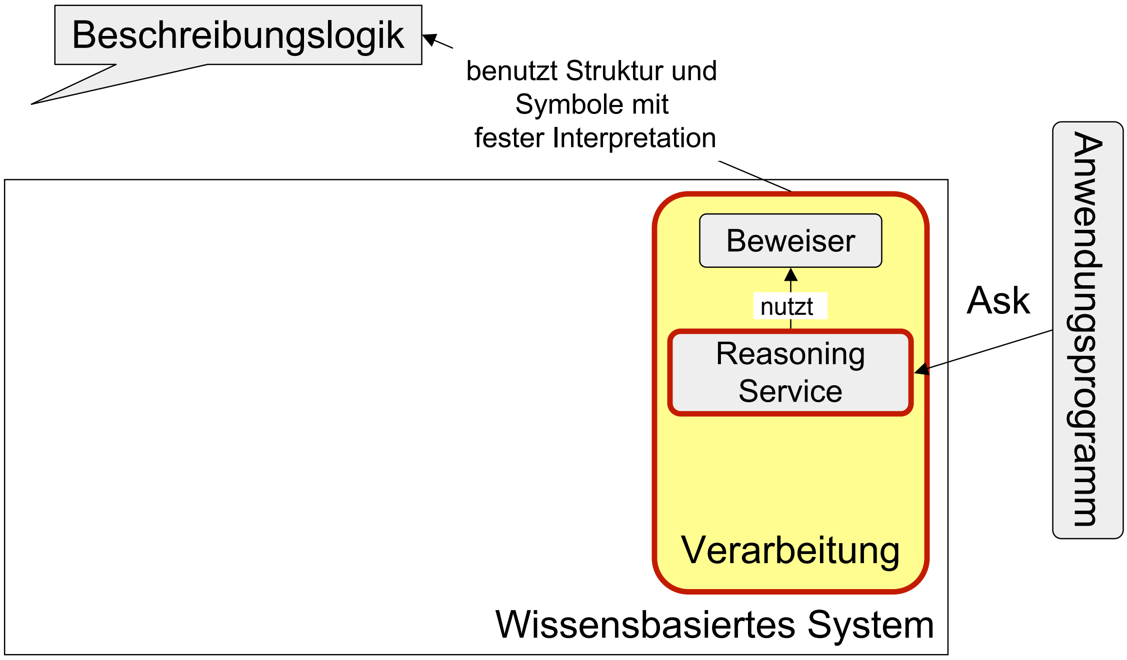
Die Basissprache $\mathcal{AL}$ und Erweiterungen

	$\mathcal{AL}$	$\mathcal{ALU}$	$\mathcal{ALE}$	$\mathcal{ALN}$	$\mathcal{ALC}$
$\top$	+	+	+	+	+
$\bot$	+	+	+	+	+
$C \sqcap D$	+	+	+	+	+
$C \sqcup D$	–	+	–	–	–
$\neg A$	+	+	+	+	+
$\neg C$	–	–	–	–	+
$\forall R.C$	+	+	+	+	+
$\exists R.\top$	+	+	+	+	+
$\exists R.D$	–	–	+	–	–
$(\geq n\ R)$	–	–	–	+	–
$(\leq n\ R)$	–	–	–	+	–

$\mathcal{AL}$-Sprachfamilie (Ausdrucksmächtigkeit)



Wissensbasiertes System ohne Wissensbasis



Konzept-Inferenzen

Definition

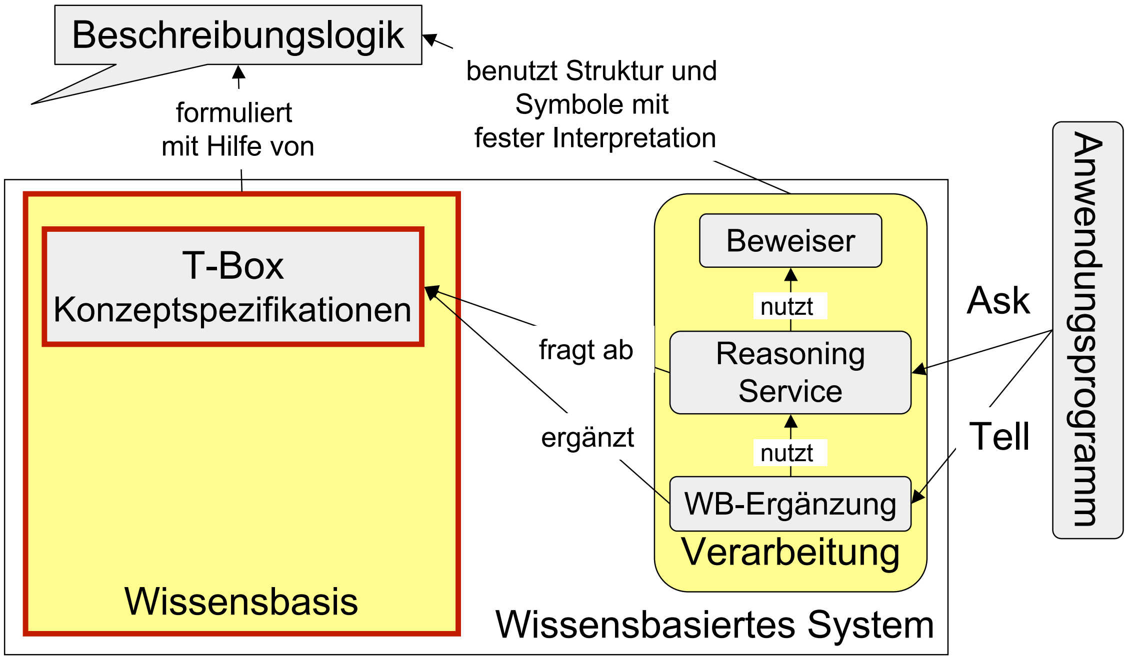
- Es seien C und D Konzepte.
- C ist genau dann konsistent, wenn es eine Interpretation gibt, die C auf eine nicht leere Menge abbildet.
- C subsummiert genau dann D, wenn in jeder Interpretation $\Im = <\mathcal{D}, \mathcal{I}>$ gilt, $\mathcal{I}(D) \subseteq \mathcal{I}(C)$.
- C und D sind genau dann äquivalent, wenn in jeder Interpretation $\Im = <\mathcal{D}, \mathcal{I}>$ gilt, $\mathcal{I}(D) = \mathcal{I}(C)$.
- C und D schließen genau dann einander aus, wenn in jeder Interpretation $\Im = <\mathcal{D}, \mathcal{I}>$ gilt, $\mathcal{I}(D) \cap \mathcal{I}(C) = \emptyset$.

Inferenzdienst

- Konsistenz eines (komplexen) Konzeptes
- Subsumption, Äquivalenz, Gegenseitiger Ausschluss zweier Konzepte

➔ „klassische Inferenzdienste“

Beschreibungslogik-T-Box



T-Box: Spezifikationen von Konzepten

Primitive Konzepte / Atomare Beschreibungen
- keine Definition vorhanden
- hinreichende Bedingungen nicht bekannt
- explizite Einordnung in Subsumptionshierarchie

Definierte Konzepte / Komplexe Beschreibungen
- Definition verfügbar
- notwendige und hinreichende Bedingungen
- basierend auf
  - (primitiven) Konzepten
  - Relationen / Rollen
  - Konzeptbildungsoperatoren
- implizite Einordnung in Subsumptionshierarchie

Inhalt der T-Box (Terminologie)

Es seien
C und D Konzeptbeschreibungen (atomar oder komplex)
R und S Rollenbeschreibungen (atomar oder komplex)

T-Box-Formeln (T-Box-Axiome)

- Formeln der Form $(C \sqsubseteq D)$ (Studierender $\sqsubseteq$ Mensch)
  - C ist ein Unterkonzept von D
  - D subsummiert C
- und / oder Formeln der Form $(C \doteq D)$ (Apfelsine $\doteq$ Orange)
  - C und D sind gleich, C ist durch D definiert
- ggf. auch Formeln der Form $(R \sqsubseteq S)$, $(R \doteq S)$

Weitere Beschränkungen z.B.

- C muss atomar sein, C darf nur einmal links vorkommen, keine Zyklen in der T-Box

$\mathcal{DL}$: Bedeutung / Interpretation: Formal (Forts.)

Interpretationen sind Paare $\mathfrak{I} = \langle \mathcal{D}, \mathcal{I} \rangle$

Fortsetzung von $\mathcal{I}$ für T-Box-Formeln

$\mathcal{I}((C \sqsubseteq D))$ = wahr genau dann, wenn $\mathcal{I}(C) \subseteq \mathcal{I}(D)$.

$\mathcal{I}((C \doteq D))$ = wahr genau dann, wenn $\mathcal{I}(C) = \mathcal{I}(D)$.

$\mathcal{I}((R \sqsubseteq S))$ = wahr genau dann, wenn $\mathcal{I}(R) \subseteq \mathcal{I}(S)$.

$\mathcal{I}((R \doteq S))$ = wahr genau dann, wenn $\mathcal{I}(R) = \mathcal{I}(S)$.

Wir schreiben dann auch

$\mathfrak{I} \models (C \sqsubseteq D)$ bzw. $\mathfrak{I} \models (C \doteq D)$ …

und sagen

$\mathfrak{I}$ ist ein Modell der Formel / macht die Formel wahr.

T-Box-Restriktionen (Beispiele)

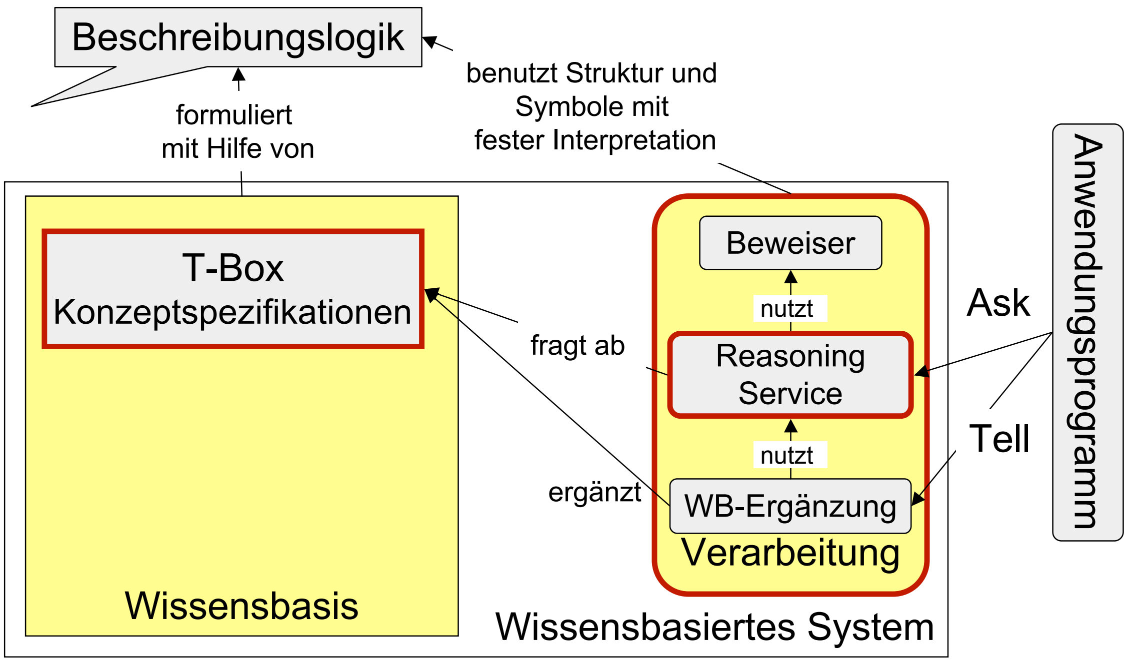
nur Definitionen $A \doteq C$

- keine *Spezialisierungen* wie $A \sqsubseteq C$ erlaubt
- Normalisierung: $A \doteq A' \sqcap C$

Zyklenfreiheit

- Beispiel für eine zyklische Definition: Ein Mensch ist ein Lebewesen mit menschlichen Eltern.
  $\text{Human} \doteq \text{Animal} \sqcap \forall \text{hasParent.Human}$
- Jede azyklische T-Box ist definitiorisch, d.h. bei einer gegebenen Interpretation der Basissymbole, ist genau eine Interpretation der definierten Konzepte möglich.
- Zyklische T-Boxen können, aber müssen nicht definitorisch sein.

Simpler T-Box-Reasoning-Services



T-Box-Inferenzen

Definition

- Sei $\mathcal{T}$ eine T-Box.
- Eine Interpretation $\mathfrak{I}$ macht genau dann $\mathcal{T}$ wahr, wenn $\mathfrak{I}$ jedes Element von $\mathcal{T}$ wahr macht ($\mathfrak{I} \vDash \mathcal{T}$).
- $\mathcal{T}$ ist genau dann konsistent, wenn es eine Interpretation $\mathfrak{I} = <\mathcal{D}, \mathcal{I}>$ mit nicht leerem $\mathcal{D}$ gibt, die $\mathcal{T}$ wahr macht.
- Eine T-Box-Formel F folgt genau dann aus $\mathcal{T}$, wenn jede Interpretation $\mathfrak{I}$, die $\mathcal{T}$ wahr macht, auch F wahr macht ($\mathcal{T} \vDash$ F).

Inferenzdienst

- Konsistenz einer T-Box
- Folgt F aus $\mathcal{T}$?
- Sind zwei T-Boxen äquivalent?

Konzept-Inferenzen bzgl. einer T-Box

Definition

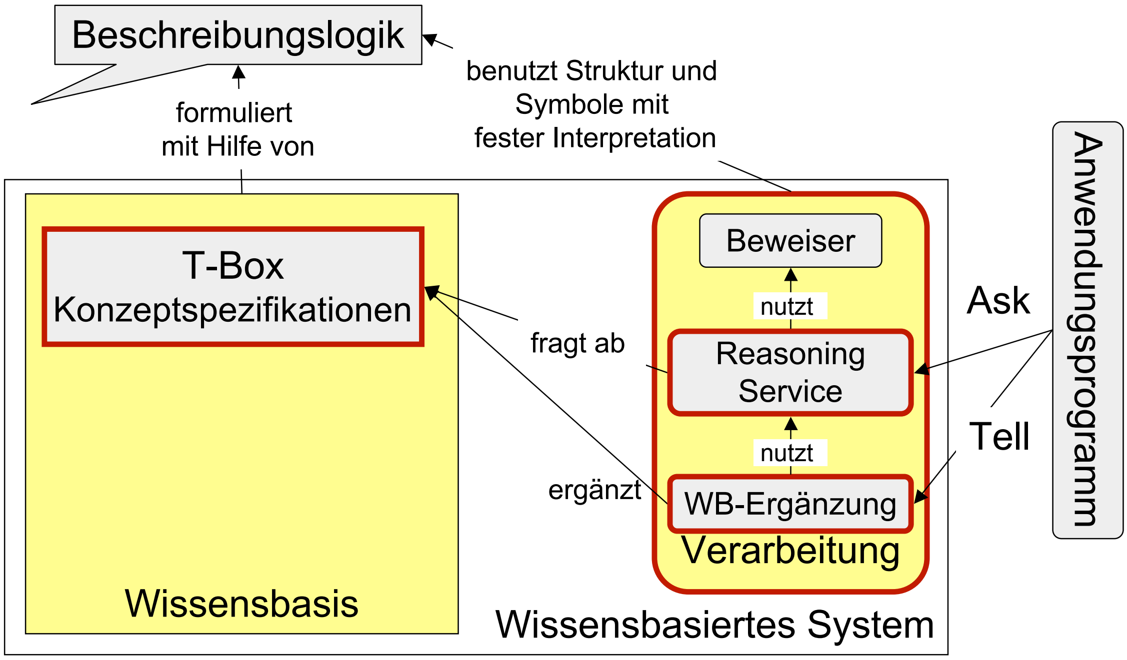
- Sei $\mathcal{T}$ eine T-Box und C ein Konzept.
- C ist genau dann konsistent bzgl. $\mathcal{T}$, wenn es eine Interpretation gibt, die $\mathcal{T}$ wahr macht und C auf eine nicht leere Menge abbildet.
- C subsummiert genau dann D bzgl. $\mathcal{T}$, wenn in jeder Interpretation $\mathfrak{I} = <\mathcal{D}, \mathcal{I}>$, die $\mathcal{T}$ wahr macht, gilt, $\mathcal{I}$(D) $\subseteq$ $\mathcal{I}$(C) .
- C und D sind genau dann äquivalent bzgl. $\mathcal{T}$, wenn in jeder Interpretation $\mathfrak{I} = <\mathcal{D}, \mathcal{I}>$, die $\mathcal{T}$ wahr macht, gilt, $\mathcal{I}$(D) = $\mathcal{I}$(C) .
- C und D schließen genau dann einander bzgl. $\mathcal{T}$ aus, wenn in jeder Interpretation $\mathfrak{I} = <\mathcal{D}, \mathcal{I}>$, die $\mathcal{T}$ wahr macht, gilt, $\mathcal{I}$(D) $\cap$ $\mathcal{I}$(C) = $\emptyset$.

Inferenzdienst

- Konsistenz eines Konzeptes bzgl. einer T-Box
- Subsumption, Äquivalenz, Gegenseitiger Ausschluss zweier Konzepte bzgl. einer T-Box

➔ „klassische Inferenzdienste“

T-Box-Aufbau



Inferenzdienste für einen Taxonomieaufbau

Einfügen von T-Box-Axiomen

- T-Box-Axiome spezifizieren eine nicht-strikte Ordnung (Subsumption, $\sqsubseteq$).
- $\doteq$ steht für den symmetrischen Anteil von $\sqsubseteq$
- Die Struktur der T-Box kann den Zugriff auf diese Ordnung unterstützen.
- Beispiel: Graphenstruktur (gerichtet, azyklisch), wobei
  - jeder Knoten einer Menge äquivalenter Konzeptbezeichnungen entspricht und
  - Kanten zu den direkten Vorgängern und Nachfolgern in der Subsumptionsordnung bestehen.
- Beim Einfügen eines Konzeptes müssen
  - die direkten Vorgänger und Nachfolger in der Subsumptionsordnung gefunden werden und
  - der Graph angepasst werden.

Ergänzung der Wissensbasis: Taxonomien und Klassifikation

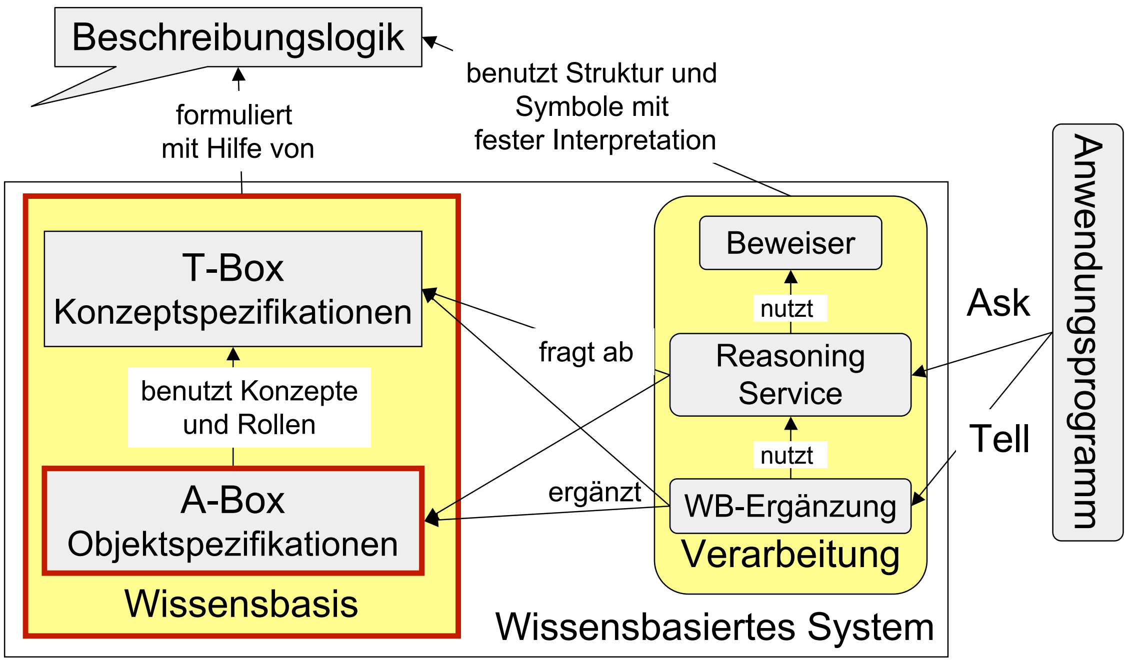
Taxonomie

- Subsumptionsstruktur (partielle Ordnung) von atomaren Konzepten, Gespeichert als zyklenfreier, gerichteter Graph
- Verbindungen nur zu den direkten Nachbarn

Klassifikation

- Bestimmung der Position eines neuen Konzeptes
  - 'unterhalb' aller subsumierenden Knoten
  - 'oberhalb' aller subsumierten Knoten
- Rahmenannahme
  - Der Graph wird sukzessive aufgebaut, beginnend mit dem einzigen Knoten für $\top$
  - Die relative Position der Knoten wird nur durch das Einfügen **neuer** Konzepte verändert. (keine Zyklen)

Beschreibungslogik-Wissensbasen: A-Box



Inhalt der A-Box (Assertionen , Weltmodell)

Es seien
C und D Konzeptbeschreibungen (atomar oder komplex)
R und S Rollenbeschreibungen (atomar oder komplex)
a und b Individuenbezeichnungen (atomar oder komplex)

A-Box-Formeln

- Formeln der Form C(a) (student(jens_waechter), ¬student(carola_eschenbach))
- R(a, b) (studiert(jens_waechter, informatik))

Erweiterungen z.B.

- (Boole'sche A-Box) Kombinationen von atomaren Formeln mit aussagenlogischen Junktoren

$\mathcal{DL}$: Bedeutung / Interpretation: Formal (Forts.)

Interpretationen sind Paare $\mathfrak{I} = <\mathcal{D}, \mathcal{I}>$

Fortsetzung von $\mathcal{I}$ für A-Box Formeln

$\mathcal{I}$(C(a)) = wahr genau dann, wenn $\mathcal{I}$(a) $\in$ $\mathcal{I}$(C)
$\mathcal{I}$(R(a, b)) = wahr genau dann, wenn ($\mathcal{I}$(a), $\mathcal{I}$(b)) $\in$ $\mathcal{I}$(R)

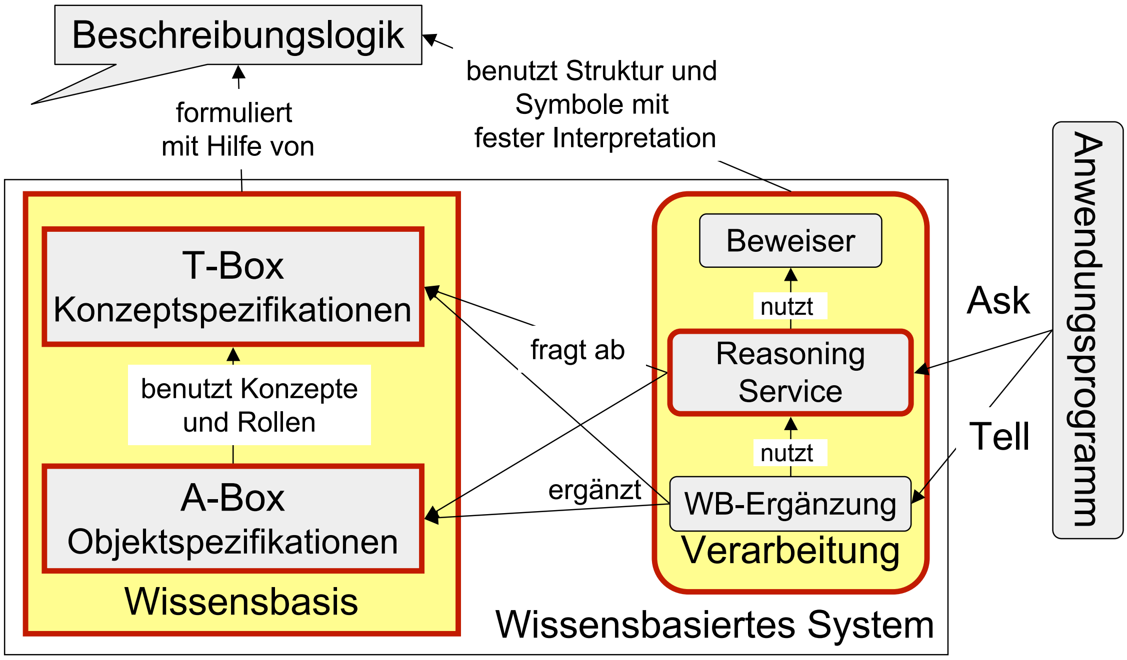
Wir schreiben dann auch

$\mathfrak{I} \models$ C(a) bzw. $\mathfrak{I} \models$ R(a, b)

und sagen

$\mathfrak{I}$ ist ein Modell der Formel / macht die Formel wahr.

A-Box-Reasoning-Services



Auswertungsaufgaben für die Wissensbasis

A-Box (basierend auf einer T-Box)

- Erfüllbarkeit / Konsistenz (gibt es ein Modell)
- Klassifikation: Unter welche Konzepte fällt ein Objekt?
- Retrieval: Welche Objekte fallen alle unter ein Konzept?

Literatur (1)

➔ Berners-Lee, Tim, James Hendler & Ora Lassila (2001). The semantic web. A new form of web content that is meaningful to computers will unleash a revolution of new possibilities. *Scientific American 284* (5). 34–43. http://www.sciam.com/print_version.cfm?articleID=00048144-10D2-1C70-84A9809EC588EF21

- [Chandrasekaran, B., J.R. Josephson & V.R. Benjamins (1999). What are Ontologies, and why do we need them? *IEEE Intelligent Systems* January/February 1999. 20–26. http://www.cs.umbc.edu/771/papers/chandrasekaranetal99.pdf]
- [Hendler, J. (2001). Agents and the Semantic Web. *IEEE Intelligent Systems Journal* 16(2). 30-37.]

zu Berners-Lee, T., J. Hendler & O. Lassila (2001)

"Lesefragen"

- Welche Leistungen soll das 'Semantic Web' erbringen? Welche Ergänzungen des 'Syntactic Web' sind dafür erforderlich? Was muss noch geleistet werden?
- Welcher spezifische Jargon (insb. Abkürzungen) wird verwendet? (beginnt eine Buchführung, das wird noch nützlich sein.)
- Welche Anforderungen muss die 'Sprache des Semantic Web' erfüllen?
- Welche Rolle sollen Ontologien im Semantic Web spielen?
- Wie sollen (Software-)Agenten das Semantic Web nutzen, wo wird Beweisführung oder Beweisprüfung erforderlich oder nützlich sein? Welche Rolle könnten Logik-Dienstleistungen im Semantic Web spielen.

Literatur (2)

- Baader, Franz (2003). Appendix 1. Description logic terminology. In F. Baader, D. Calvanese, D.L. McGuinness, D. Nardi & P. Patel-Schneider (eds.) *The Description Logic Handbook. Theory, Implementation and Application* (pp. 485–495). Cambridge UP: Cambridge, NY. (dlhb-appendix)
- Nardi, Daniele & Ronald J. Brachman (2003). An introduction to description logics. In F. Baader, D. Calvanese, D.L. McGuinness, D. Nardi & P. Patel-Schneider (eds.) *The Description Logic Handbook. Theory, Implementation and Application* (pp. 1–40). Cambridge UP: Cambridge, NY. (dlhb-01)
- Baader, Franz & Werner Nutt (2003). Basic description logics. F. Baader, D. Calvanese, D.L. McGuinness, D. Nardi & P. Patel-Schneider (eds.) *The Description Logic Handbook. Theory, Implementation and Application* (pp. 43–95). Cambridge UP: Cambridge, NY. (dlhb-02)

Example

T-Box

- Human $\doteq$ (Man $\sqcup$ Woman)
- IntelligentHuman $\doteq$ (Human $\sqcap$ Intelligent)
- Father $\doteq$(Man $\sqcap$ $\exists$hasChild.Human))
- happyFather $\doteq$ (Father $\sqcap$ ($\exists$hasChild.IntelligentHuman))

A-Box

- Father(harry)
- Father(peter)
- happyFather(steve)
- (Intelligent $\sqcap$ Woman)(susy)
- ($\forall$hasChild.happyFather)(mary)
- hasChild(mary, george)
- hasChild(mary, alan)
- hasChild(harry, susy)