
Seminar

Ontologien

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

Wintersemester 2009/2010

Organisatorisches

Einordnung

Diplom-Studienplan Informatik: Profil Intelligente Systeme

- Wissensverarbeitung
- Sprachverarbeitung
- (Bildverarbeitung)

Master-Studiengänge

- Informatik: Schwerpunkt ISR, Vertiefungsmodul
- Wirtschafts-Informatik: Spezialisierung Computational Logistics, Wahlpflicht Informatik
 - Modul Wissensverarbeitung 1 (WV 1)
 - zusammen mit Vorlesung Wissensrepräsentation

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, an Beispielen erläutern
 - der Textinhalte
- Diskutieren
 - der Textinhalte, der Vortragsinhalte

... Der Studienführer (Diplom)

Seminare ... dienen der Erörterung ausgewählter wissenschaftlicher Probleme im Hauptstudium. Die Studierenden werden in der Arbeit nach wissenschaftlichen Grundsätzen und der Darstellung wissenschaftlicher Inhalte geschult. Sie erarbeiten selbständig die benötigte Literatur, gestalten einen Seminartermin durch Vortrag und Diskussion und liefern dazu eine schriftliche Zusammenfassung. Dabei ist die Zusammenarbeit in Kleingruppen von 2-3 Studierenden erlaubt. Eine Teilnahmebestätigung erhält, wer diese Leistungen erbringt und sich regelmäßig aktiv an den Diskussionen im Seminar beteiligt. Für einen Seminarschein ist darüber hinaus die Anfertigung einer Seminararbeit erforderlich. Zur Überprüfung der regelmäßigen Beteiligung kann eine Anwesenheitsliste geführt werden.

Ablauf

Heute

- Einführungsvortrag
- Termin und Vortragsverteilung

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 ?

Vortragsvorbereitung

rechtzeitig vor dem Seminartermin

- Lesen des Aufsatzes
- Rücksprache mit den Seminarleiterinnen
 - zum Inhalt des Aufsatzes
 - zur Auswahl des zu präsentierenden Anteils
 - zum Aufbau des Vortrags
- Klärung technischer Anforderungen und Kompatibilität

im Vortrag

- Übersicht zum Vortrag
- Was ist die bearbeitete Fragestellung / das Problem?
- Was ist der Beitrag / die Lösung?
- Welche Qualitäten / Defizite hat das Resultat?

Inhaltliches

Semantic Web: Ausgangspunkt

Lit: T. Berners-Lee, J. Hendler, and O. Lassila: The semantic web. Scientific American, 2001. (<http://www.scientificamerican.com/>)

Syntaktisches WWW

- Sammelsurium an verlinkten Ressourcen
- Semantische Information bisher nur von Menschen erfassbar
 - Bsp.: Link mit Aufschrift „curriculum vitae“
 - Bsp.: Web-Page einer Universität: Nicht nur Seite mit Schlüsselwörtern wie „Geschäftszeit, Universität, Studienplan, Student“; sondern: Das Geschäftszimmer hat Montags, Donnerstags von 16-19 Uhr geöffnet und Frau so-und-so ist dort zu erreichen...
- Maschinen können Information nicht interpretieren / verstehen, daher auch komplexere Aufgaben, die das Erfassen der Bedeutung erfordern, nicht ausführen

Semantic Web: Vision

Erweiterung des WWW um semantische Information

- Maschinen werden zumindest in naher Zukunft nicht wirklich natürliche Sprache verstehen lernen können, aber ...
- ... sie können uns einen Teil der Verstehensleistung abnehmen, wenn wir ihnen das nötige Wissen durch semantische Annotation zur Verfügung stellen.
- Semantic Web = WWW (von heute) + semantische Annotation + KI

Bsp.-Anwendung

- Beauftrage einen Software-Agenten, möglichst günstig in einem Pizza-Onlineshop eine Pizza zu kaufen, die einen knusprigen Boden hat und als Belag entweder eine beliebige Käsesorte und Tomaten oder Parmesan und Anchovis, aber auf keinen Fall Salami.

Semantic Web: Beispiel

- Finde einen geeigneten Online-Shop und vollführe die Transaktion durch Angabe der vom Onlineshop geforderten Informationen
- Was muss der Agent „wissen“, „kennen“, „verstehen“?
 - Finden eines geeigneten Onlineshops
 - Was ist eine Pizza? Was ist ein Pizzaboden? Mozzarella ist eine Käsesorte!? Pizza mit Salami bedeutet Pizza mit Fleisch ...
 - Was heißt möglichst günstig?
- Wie ist die Gesamtarchitektur zu gestalten?
- Wie erreicht man das nötige „Verstehen von Inhalten“ im Netz?
 - Nutze Ontologien (im informatischen Sinne), um die Bedeutung der semantischen Annotationen zu spezifizieren

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

Ontologien: Erläuterung

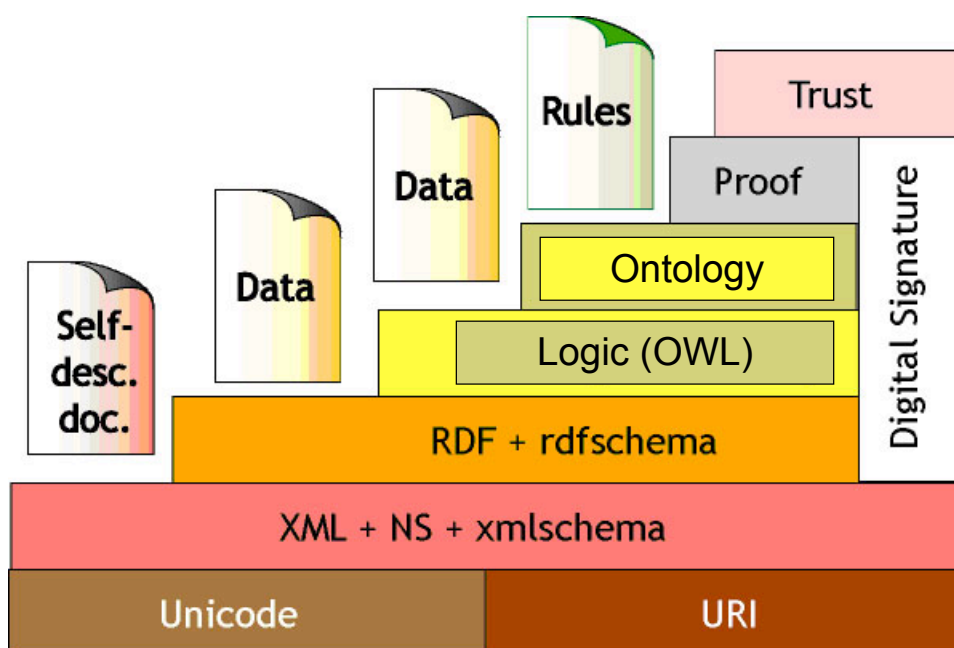
Informatischer Ontologiebegriff (sprachabhängig)

- Formale Beschreibung eines Anwendungsbereichs zum Zwecke des Gebrauchs durch verschiedene Anwendungen - verfasst in einer Sprache, die zum (automatischen) Schließen benutzt werden kann

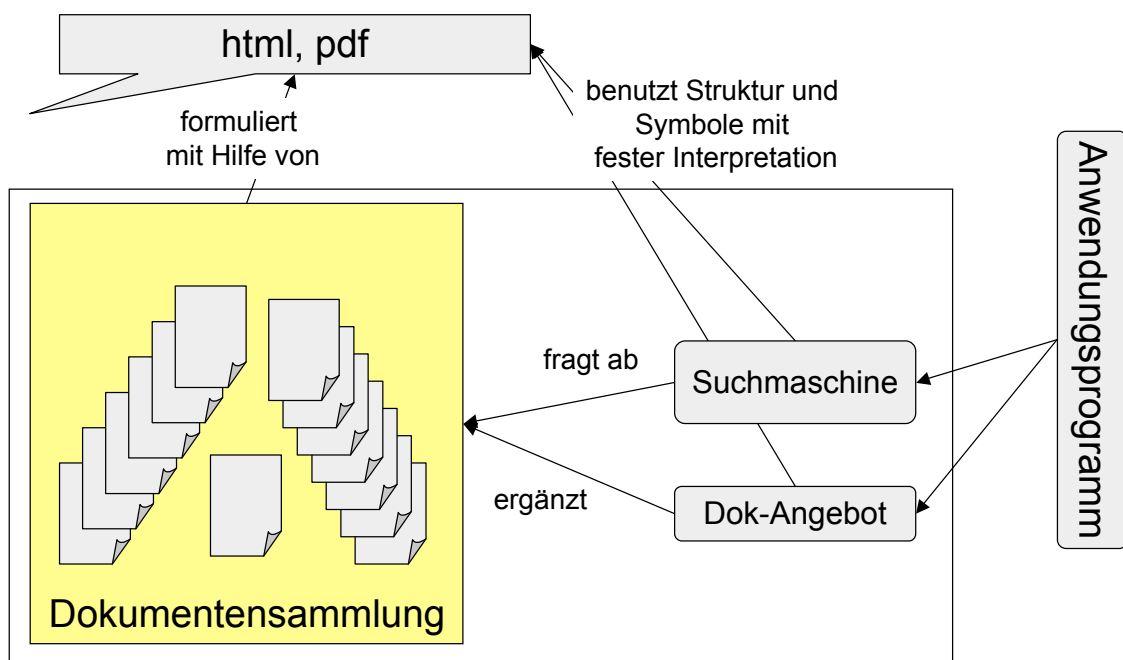
Komponenten von Ontologien

- Terme zur Bezeichnung der relevanten Objekte, Konzepte in einer Domäne und ihrer Beziehungen
- Beschreibung der Bedeutung der Terme in der einen oder anderen Form
- Eventuell Mittel zur Beschreibung von Hintergrund-/Weltwissen

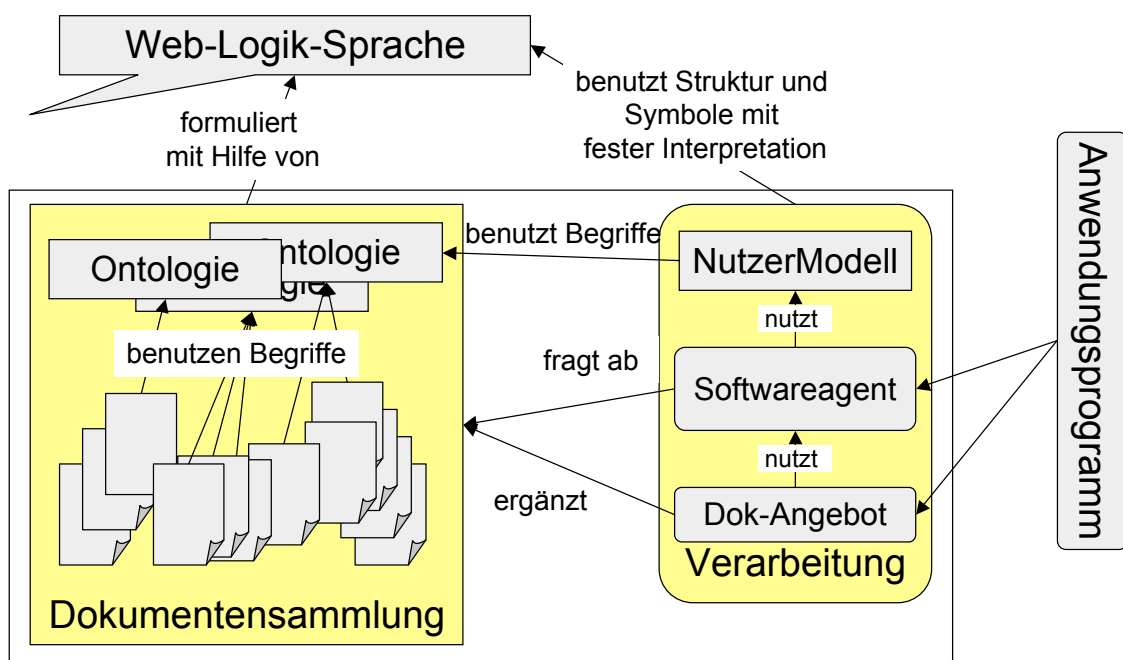
Semantic-Web-Stack



Syntactic-Web-Perspektive



Semantic-Web-Perspektive



Ontologien – ein Spektrum

Ontologie in der Philosophie

Die Lehre des Seienden

- Verschiedene Typen: materielle Objekte vs. Universalien; konkrete vs. abstrakte

Ontologische Selbstverständlichkeiten

- Alles existiert.
- Alles ist mit sich selbst identisch.
- Nichts ist mit anderem identisch.

Nicht-Existenz

- Die Position, dass etwas nicht existiert, ist stets schwerer zu formulieren und zu begründen, als die Position, dass so etwas existiert.

Ontologie in der Philosophie

z.B. Willard Van Orman Quine

- Nominalismus-Position zur Beziehung zwischen Bedeutung einer Theorie / Repräsentation und Existenz
- Theorien / Repräsentationen gehen ontologische Verpflichtungen (ontological commitments) ein
- z.B. *On what there is*
 - 'To be is to be the value of a bound variable'
 - 'A theory is committed to those and only those entities to which the bound variables of the theory must be capable of referring in order that the affirmations made in the theory be true.'
- *On the individuation of attributes*
 - 'There is no entity without identity.'

Die grundlegende Fragestellung der Ontologie

disziplinspezifische Ausprägungen

- in der Philosophie: Was existiert?
- in der Linguistik: Worüber sprechen wir?
- in der Informatik: Was wird repräsentiert?
- in der Psychologie: Was sind die Basiskategorien unseres Denkens?

Beispiele

Davidson: Reifizierte Situationen

- John buttered a toast with a knife at midnight in the bathroom
- butter_with_at_in(john, toast, knife, midnight, bathroom)
- butter(e) & agent(e, john) & instrument(e, knife) & time(e, midnight) & location(e, bathroom)

Vergleich: Reifizierte Grade

- Das Haus ist so hoch wie / hoeher als das Seil lang ist.
- hoehe(haus) = laenge(seil)
- hoehe(haus) > laenge(seil)

(Domain-)Ontologies in Knowledge Representation

- are **content theories** about the sorts of objects, properties of objects, and relations between objects that are possible in a specified domain of knowledge
- captures the intrinsic **conceptual structure** of the domain
- generally appear as a **taxonomic tree** of conceptualizations
- identify specific **classes** of objects and **relations** in some domain
- provide **terms** (combined with predicate calculus and propositional attitude terms yield knowledge representation language)
- forms the **heart** of any system of **knowledge representation** for the domain
- enable **knowledge sharing**

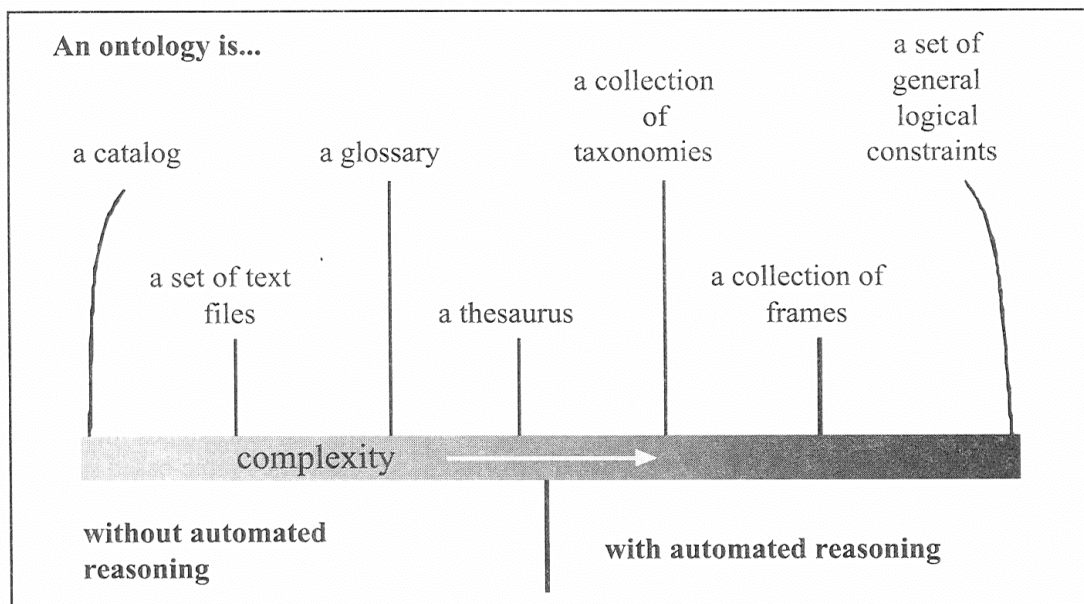
ontology in the AI community

- Is a **logical theory** accounting for the intended meaning of a formal vocabulary. The intended models of a logical language using such a vocabulary are constrained.
- is a **representation vocabulary** (emphasize on set of terms form representing specific facts in an instance of the domain) (without ontology there cannot be a vocabulary for representing knowledge)

ontology in the AI community

- an **engineering artifact**, constituted by a specific vocabulary used to describe a certain reality, plus a set of explicit assumptions regarding the intended meaning of the vocabulary words.
 - In the simplest case, describes a hierarchy of concepts related by subsumption relationships
 - In more sophisticated cases, suitable axioms are added in order to express other relationships between concepts and to constrain (express) their intended interpretation.

Smith & Welty (2001)



'lightweight ontologies'

- appear as **taxonomic structures** (subsumption) of primitive and composite terms together with associated definitions
- are used to represent semantic relationships among the terms used by a specific community
- meant to **support terminological services** (inferences based on relationships among terms – usually just taxonomic relationships)
- not meant to explain or fix the intended meanings
- the **intended meaning** of primitive terms is more or less **known in advance** by all members of the community
- can be built semi-automatically

'axiomatic ontologies'

- rigorous **logical axiomatisations**
 - explicit representations of ontological commitments underlying the use of terms in specific contexts
 - account for
 - the **semantic relationships between terms**
 - the **formal structure of the domain** to be represented
- ultimately devoted to **facilitate mutual understanding and inter-operability** among people and machines, including reasons for non-interoperability
 - facilitate meaning negotiation among agents
 - clarify and model the negotiation process itself, and in general the structure of interaction
- require more painful human labour

ontology in computer / information science

- of our world: **list** (of) everything that exists (McCarthy)
- a **catalogue** of everything that makes up that world, how it's put together, and how it works (Sowa)
- a **specification of a conceptualization** (Gruber)
- is a **body of knowledge** describing some domain (emphasize on a general set of facts to be shared)
- **declarative representations**
 - which should have as much generality as possible to ensure reusability
 - but would at the same time correspond to the things they are supposed to represent

Use of ontology for/of an IS

- at development time: ontology **library supplies building blocks**: generic / top-level ontology supplies tool (fundamental ontological distinction)
- at run time: query ontology; cooperating ontologies; **enabling communication** between (software) agents (**common language**)
- for database / knowledge base: **information integration**
- for user interface: user can query and browse ontology (to understand vocabulary); adopt **natural language term to be mapped to a concept**

Ontology / an ontology / ontologies

- in many cases
 - present their own methodological and architectural peculiarities (highly interdisciplinary; formulating a clear and rigorous vocabulary)
- in some cases
 - just a fancy name denoting the result of familiar activities like conceptual analysis and domain modeling
- an exotic name for what they'd been doing all along – knowledge engineering

Sprachen

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

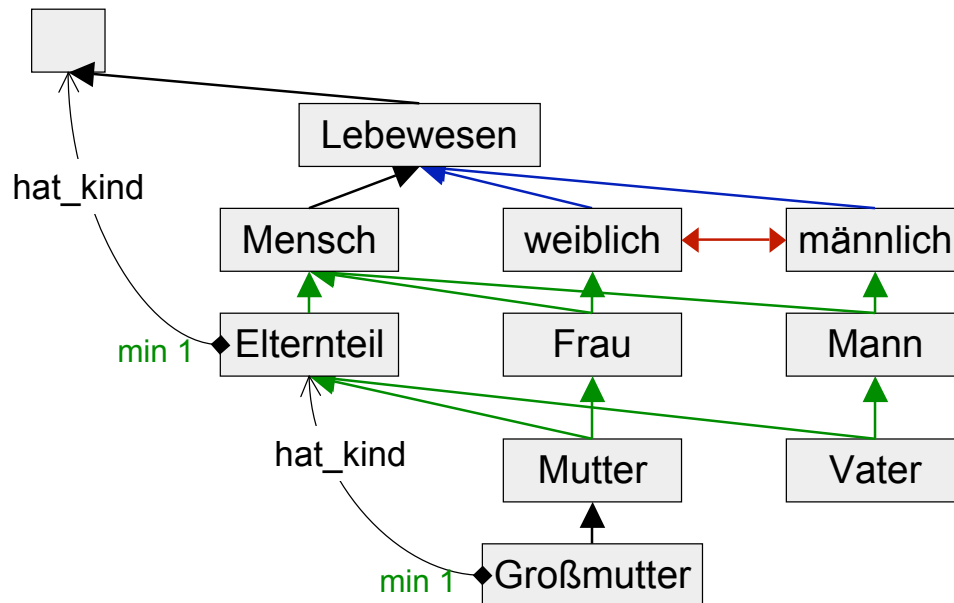
Objekte

- können unter Konzepte fallen
- können in Relation zueinander stehen

Relationen (Rollen)

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

Beispiel: Konzeptsysteme (graphisch)



Beispiel: Konzeptsysteme (sprachlich)

- ,Lebewesen' ist ein Konzept.
- ,Mensch' ist Subkonzept von Lebewesen.
- ,weiblich' ist Subkonzept von ,Lebewesen'.
- ,Frau' steht für ,weiblicher Mensch'.
- ,männlich' steht für ,nicht-weibliches Lebewesen'.
- ,Mann' steht für ,männlicher Mensch'.
- ,hat_kind' ist eine Relation.
- ,Elternteil' steht für ,Mensch, der (mind.) ein Kind hat'.
- ,Mutter' steht für ,weiblicher Elternteil'.
- ,Vater' steht für ,männlicher Elternteil'.
- ,Großmutter' steht für ,Frau, die (mind.) ein Kind hat, das ein Elternteil ist'.

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)

Webontologien

Komponenten von Ontologien

- Terme zur Bezeichnung der relevanten Objekte, Konzepte in einer Domäne und ihrer Beziehungen
- Beschreibung der Bedeutung der Terme in der einen oder anderen Form
- Eventuell Mittel zur Beschreibung von Hintergrund-/weltwissen

Webontologiesprache: OWL

- Entstanden aus DAML-OIL (das Produkt aus dem in Europa entwickelten OIL und in Amerika entwickelten DAML-ONT ist)
- Als Standard von W3C vorgegeben
- Logikbasiert (Beschreibungslogik)
- Syntax ähnelt RDF (Resource Description language)
 - Kann als Ontologiebeschreibungssprache aufgefasst werden
 - Graphenbasiert; Format: (Subjekt Prädikat Objekt)

Ontologien: OWL

Webontologiesprache: OWL

- Entstanden aus DAML-OIL (das Produkt aus dem in Europa entwickelten OIL und in Amerika entwickelten DAML-ONT ist)
- Als Standard von W3C vorgegeben
- Logikbasiert
- $\text{OWL-Lite} \subset \text{OWL-DL} \subset \text{OWL-Full}$
- Syntax im RDF- (Resource Description Framework) bzw. XML-Format
 - Kann als Ontologiebeschreibungssprache aufgefasst werden
 - Graphenbasiert; Format: (Subjekt Prädikat Objekt)
- Begriffe (OWL \leftrightarrow DL)
 - Class \leftrightarrow concept
 - Property \leftrightarrow role
 - Individual \leftrightarrow individual

OWL: Beispiel 1

1. Beispiel aus pizza.owl

In XML-Syntax:

```
<owl:Class rdf:ID="CheeseyVegetableTopping">  
  <rdfs:subClassOf rdf:resource="#VegetableTopping"/>  
  <rdfs:subClassOf>  
    <owl:Class rdf:about="#CheeseTopping"/>  
  </rdfs:subClassOf>  
</owl:Class>
```

In DL-Syntax:

```
CheeseyVegetableTopping  $\sqsubseteq$  VegetableTopping,  
CheeseyVegetableTopping  $\sqsubseteq$  CheeseTopping
```

OWL: Beispiel 2

2. Beispiel aus pizza.owl (XML-Syntax)

```
<owl:Class rdf:ID="NonVegetarianPizza">
  <owl:disjointWith> <owl:Class rdf:ID="VegetarianPizza"/></owl:disjointWith>
  <owl:equivalentClass>
    <owl:Class>
      <owl:intersectionOf rdf:parseType="Collection">
        <owl:Class>
          <owl:complementOf>
            <owl:Class rdf:about="#VegetarianPizza"/>
          </owl:complementOf>
        </owl:Class>
        <owl:Class rdf:about="#Pizza"/>
      </owl:intersectionOf>
    </owl:Class>
  </owl:equivalentClass>
</owl:Class>
```

$\text{NonVegetarianPizza} \sqsubseteq \neg \text{VegetarianPizza}$,
 $\text{NonVegetarianPizza} \equiv \neg \text{VegetarianPizza} \sqcap \text{Pizza}$

OWL: Beispiel 3

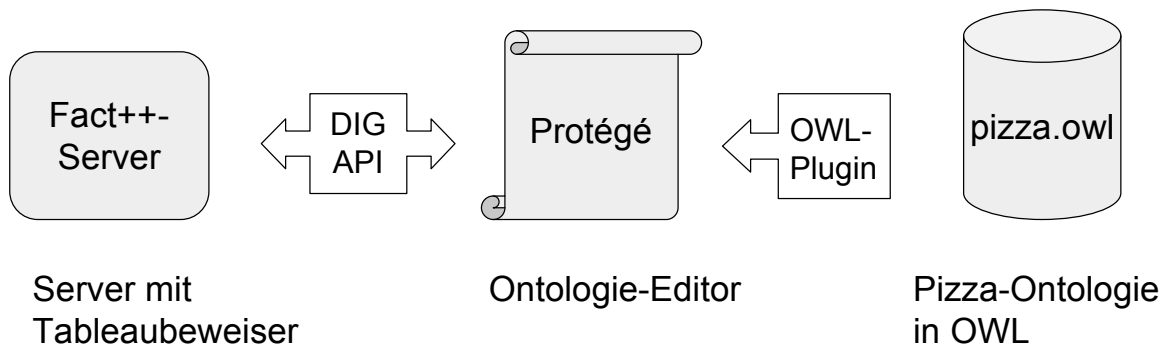
3. Beispiel aus pizza.owl (XML-Syntax)

```
<owl:Class rdf:ID="SpicyPizza">
  <owl:equivalentClass>
    <owl:Class>
      <owl:intersectionOf rdf:parseType="Collection">
        <owl:Class rdf:about="#Pizza"/>
        <owl:Restriction>
          <owl:someValuesFrom rdf:resource="#SpicyTopping"/>
          <owl:onProperty>
            <owl:ObjectProperty rdf:about="#hasTopping"/>
          </owl:onProperty>
        </owl:Restriction>
      </owl:intersectionOf>
    </owl:Class>
  </owl:equivalentClass>
</owl:Class>
```

$\text{SpicyPizza} \equiv \text{Pizza} \sqcap \exists \text{hasTopping} \text{SpicyTopping}$

Protege, OWL und Reasoning-Services

DIG: DL Implementation Group
XML-basiertes Interface zu
DL-Beweisern



Protégé

Protégés Architektur ist framebasiert

- Nutzung des OWL-Plugins, um OWL-Ontologien zu editieren
- Darstellung der Klassenhierarchie, der Eigenschaftshierarchie und der Individuen

Das in der Ontologie enthaltene Wissen ist in verschiedenen Bedingungen enthalten

- notwendige und hinreichende Bedingungen (für Klassen)
- Angabe der disjunkten Klassen (disjoint-Panel)
- Eigenschaften von Rollen
 - Domäne und Wertebereich
 - Transitivität, Symmetrie etc.

Literatur, Vorträge

Sprachen, Formalismen, Editoren

Sprachen

Logikbasiert (DL)

- Baader, Franz, Ian Horrocks & Ulrike Sattler (2004). Description Logics. In Steffen Staab & Rudi Studer (eds.) *Handbook on Ontologies, International Handbooks on Information Systems* (pp. 3-28). Springer.
- formaler: Baader, Franz & Carsten Lutz (2006). Description Logic. In Patrick Blackburn, Johan van Benthem & Frank Wolter (eds.) *The Handbook of Modal Logic*. Elsevier.

Weborientiert (OWL)

- Antoniou, G. & F. van Harmelen (2004). Web Ontology Language: OWL. In S. Staab & Rudi Studer (eds.) *Handbook on Ontologies* (pp. 67–92). Springer.

Protege (framebasiert)

- Noy, Natalya Fridman, Ray W. Ferguson & Mark A. Musen (2000). The Knowledge Model of Protege-2000: Combining Interoperability and Flexibility. In *12th International Conference on Knowledge Engineering and Knowledge Management (EKAW'2000)* (pp. 69-82). Lecture Notes in Computer Science, 1937; <http://citeseer.ist.psu.edu/noy01knowledge.html>
- Gennari, J., M. A. Musen, R. W. Ferguson, W. E. Grosso, M. Crubezy, H. Eriksson, N. F. Noy & S. W. Tu. (2002). *The Evolution of Protégé: An Environment for Knowledge-Based Systems Development*.

Nutzungsbeispiele

- Noy, Natalya F., Sherri de Coronado, Harold Solbrig, Gilberto Fragoso, Frank W. Hartel & Mark A. Musen (2008). Representing the NCI Thesaurus in OWL DL: Modeling tools help modeling languages. *Applied Ontology* 3. 173-190. 10.3233/AO-2008-0051
- Noy, Natalya F. & Daniel L. Rubin (2008). Translating the Foundational Model of Anatomy into OWL. *Web Semantics: Science, Services and Agents on the World Wide Web* 6(2). 133-136.

Viele Ontologien

Viele Ontologien

Ontologie-Bibliothek

- Viljanen, Kim, Jouni Tuominen & Eero Hyvönen (2009).
Ontology Libraries for Production Use: The Finnish Ontology
Library Service ONKI. In *ESWC* (pp. 781–795).

Heterogene Ontologien in der Agentenkoordination

- van Diggelen, Jurriaan, Robbert-Jan Beun, Frank Dignum,
Rogier M. van Eijk & John-Jules Meyer (2007). Ontology
negotiation in heterogeneous multi-agent systems: The
ANEMONE system. *Applied Ontology* 2. 267-303.

Ontologie-Integration (logikorientiert)

- Schorlemmer, Marco & Yannis Kalfoglou (2008). Institutionalising ontology-based semantic integration. *Applied Ontology* 3. 131-150. 10.3233/AO-2008-0041
- ergänzend vielleicht (Def. Institution): Kutz, Oliver, Dominik Lücke, Till Mossakowski & Immanuel Normann (2008). The OWL in the CASL - Designing Ontologies Across Logics. In *OWL: Experiences and Directions, 5th International Workshop (OWLED-08), Karlsruhe, Germany, October 26-27, 2008, co-located with ISWC-08*.

Methoden, Evaluation, Refactoring, Top-Level Ontologie(n)

Ontologie-Refactoring basierend auf Meta-Eigenschaften: OntoClean

- Welty, C. & N. Guarino (2001). Supporting ontological analysis of taxonomic relationships. *Data and Knowledge Engineering* 39(1). 51–74.
- Ergänzend: Guarino, Nicola & Christopher A. Welty (2004). An Overview of OntoClean. In *Handbook on Ontologies* (pp. 151–172).
- Ergänzend: Guarino, N. & C. Welty (2002). Evaluating Ontological Decisions with OntoClean. *Communications of the ACM* 45(2). 61–65.

OntoClean

Tool für die ‚Ontologie-Säuberung‘

- Völker, J., D. Vrandečić, Y. Sure & A. Hotho (2008). AEON - An approach to the automatic evaluation of ontologies. *Applied Ontology* 3 (1-2). 41-62.

Beispieleinsatz

- Kawazoe, Ai, Lihua Jin, Mika Shigematsu, Daisuke Bekki, Roberto Barrero, Kiyosu Taniguchi & Nigel Collier (2009). The development of a schema for semantic annotation: Gain brought by a formal ontological method. *Applied Ontology* 4. 01.05.2020. 10.3233/AO-2009-0062

Grundlegendes

Grundlegende ontologische Unterscheidungen, fundamentale Relationen

- Gangemi, A., N. Guarino, C. Masolo & A. Oltramari (2001). Understanding top-level ontological distinctions. In *Proc. of IJCAI 2001 workshop on Ontologies and Information Sharing*.

Top-Level-Ontologie DOLCE

- Borgo, S. & C. Masolo (2009). Foundational choices in DOLCE. In S. Staab & R. Studer (eds.) *Handbook on Ontologies (Second Edition)* (pp. 361-382). Springer Verlag.
- Ergänzend: Gangemi, A., N. Guarino, C. Masolo, A. Oltramari & L. Schneider (2002). Sweetening Ontologies with DOLCE. In *Proceedings of EKAW 2002*. Siguenza, Spain.

Ontologien im Einsatz

Ontologien im Einsatz

Für die Softwarespezifikation

- Oberle, Daniel, Steffen Lamparter, S. Grimm, D. Vrandečić, S. Staab & A. Gangemi (2006). Towards ontologies for formalizing modularization and communication in large software systems. *Applied Ontology 1*. 163-202. (nutzt DOLCE)

Für die Modellierung der Agentenkoordination

- Bermúdez, Jesús, Alfredo Goñi, Arantza Illarramendi & Simone Santini (2007). Is an OWL ontology adequate for foreign software agents communication? *Applied Ontology 2*. 351-372. (nutzt DL, OWL (wird eingeführt))

Für Web-Services

- Roman, Dumitru, Uwe Keller, Holger Lausen, Jos de Bruijn, Rubén Lara, Michael Stollberg, Axel Polleres, Cristina Feier, Cristoph Bussler & Dieter Fensel (2006). Web Service Modeling Ontology. *Applied Ontology 1*. 77-106.

Ontologien im Einsatz

Für das Wissensmanagement

- Uren, V., P. Cimiano, J. Iria, S. Handschuh, M. Vargas-Vera, E. Motta & F. Ciravegna (2006). Semantic Annotation for Knowledge Management: Requirements and a Survey of the State of the Art. *Journal of Web Semantics: Science, Services and Agents on the World Wide Web*.

Für Datenbankenkombinationen

- Puroo, Sandeep & Veda C. Storey (2006). A multi-layered ontology for comparing relationship semantics in conceptual models of databases. *Applied Ontology 1*. 117-139.

Ontologien im Einsatz

Für das Dokumentenretrieval

- Frosterus, Matias & Eero Hyvönen (2009). Bridging the Search Gap between the Web of Pages and Web of Data by Combining Ontological Document Expansion with Text Search. In *Proceedings of the International Conferences on Digital Libraries and the Semantic Web 2009 (ICSD2009)*, Trento, Italy, September, 2009.

Für die Disambiguierung

- Kauppinen, Tomi, Riikka Henriksson, Reetta Sinkkilä, Robin Lindroos, Jari Väättäin & Eero Hyvönen (2008). Ontology-based Disambiguation of Spatiotemporal Locations. In *Proceedings of the 1st international workshop on Identity and Reference on the Semantic Web (IRSW2008)*, 5th European Semantic Web Conference 2008 (ESWC 2008), CEUR Workshop Proceedings.

Für die Strukturierung von Informationsangeboten

- Eero Hyvönen, Olli Alm and Heini Kuittinen (2007). Using an Ontology of Historical Events in Semantic Portals for Cultural Heritage. In *Proceedings of the Cultural Heritage on the Semantic Web Workshop at the 6th International Semantic Web Conference (ISWC 2007)*, Busan, Korea,