

Ontologien

Heiko Peter

Institut für Informatik, FSU Jena

24. Juli 2006



Übersicht

Ontologien

Heiko Peter

Motivation

Was ist eine
Ontologie?

Die Ontologie aus
philosophischer Sicht
Ontologien aus Sicht
der Informatik

Komponenten
einer
Ontologie

Kategorisierung
von
Ontologien

Literatur

1 Motivation

2 Was ist eine Ontologie?

- Die Ontologie aus philosophischer Sicht
- Ontologien aus Sicht der Informatik

3 Komponenten einer Ontologie

4 Kategorisierung von Ontologien



Motivation (I)

Ontologien

Heiko Peter

Motivation

Was ist eine
Ontologie?

Die Ontologie aus
philosophischer Sicht
Ontologien aus Sicht
der Informatik

Komponenten
einer
Ontologie

Kategorisierung
von
Ontologien

Literatur

„Turm zu Babel“-Problem:



- **Verschiedene Entwickler von Softwaresystemen verwenden eigene Begriffe und Konzepte in ihren Schemata.**
 - ↪ (Datenbank-)Schemata enthalten identische Bezeichnungen aber mit verschiedenen Bedeutungen.
 - ↪ Gleichbedeutende Begriffe werden durch verschiedene Bezeichnungen repräsentiert.



Motivation (I)

Ontologien

Heiko Peter

Motivation

Was ist eine
Ontologie?

Die Ontologie aus
philosophischer Sicht
Ontologien aus Sicht
der Informatik

Komponenten
einer
Ontologie

Kategorisierung
von
Ontologien

Literatur

„Turm zu Babel“-Problem:



- **Verschiedene Entwickler von Softwaresystemen verwenden eigene Begriffe und Konzepte in ihren Schemata.**
 - ↪ (Datenbank-)Schemata enthalten identische Bezeichnungen aber mit verschiedenen Bedeutungen.
 - ↪ Gleichbedeutende Begriffe werden durch verschiedene Bezeichnungen repräsentiert.
- ⇒ **Es ist nicht ohne weiteres ein Informations- und Datenaustausch zwischen den Systemen möglich.**



Motivation (II)

Ontologien

Heiko Peter

Motivation

Was ist eine Ontologie?

Die Ontologie aus
philosophischer Sicht
Ontologien aus Sicht
der Informatik

Komponenten einer Ontologie

Kategorisierung von Ontologien

Literatur

1. Lösungsvorschlag:

- Man übersetzt direkt ein Schema in ein anderes Schema.
- Nachteil dieser Lösung: Bei n Schemata sind $O(n^2)$ Übersetzer notwendig.



Motivation (II)

Ontologien

Heiko Peter

Motivation

Was ist eine Ontologie?

Die Ontologie aus philosophischer Sicht
Ontologien aus Sicht der Informatik

Komponenten einer Ontologie

Kategorisierung von Ontologien

Literatur

1. Lösungsvorschlag:

- Man übersetzt direkt ein Schema in ein anderes Schema.
- Nachteil dieser Lösung: Bei n Schemata sind $O(n^2)$ Übersetzer notwendig.

2. Lösungsvorschlag:

- Man verwendet eine gemeinsame Taxonomie von Konzepten (*Interlingua*) und
- übersetzt jedes Schema in die gemeinsam vereinbarte *Interlingua*.
- Vorteil dieser Lösung: Bei n Schemata sind $O(n)$ Übersetzer notwendig.



Motivation (III)

Ontologien

Heiko Peter

Motivation

Was ist eine Ontologie?

Die Ontologie aus
philosophischer Sicht
Ontologien aus Sicht
der Informatik

Komponenten einer Ontologie

Kategorisierung von Ontologien

Literatur

- Informatiker führten für eine solche gemeinsame Taxonomie den Begriff **Ontologie** ein.
- Hier bedeutet eine Ontologie also
 - ein Wörterbuch von Begriffen,
 - die in einer kanonischen Syntax formuliert sind und
 - den jeweils eine allgemein akzeptierte Definition zugeordnet ist.
- Das „Turm zu Babel“-Problem tritt im verstärktem Maße im WWW auf und muss auf dem Weg zum Semantic Web angegangen werden.



Die Ontologie in der Philosophie (I)

Ontologien

Heiko Peter

Motivation

Was ist eine Ontologie?

Die Ontologie aus philosophischer Sicht
Ontologien aus Sicht der Informatik

Komponenten einer Ontologie

Kategorisierung von Ontologien

Literatur

- Der Begriff Ontologie stammt ursprünglich aus der Philosophie.
- Sie ist eine „eine philosophische Grunddisziplin der allgemeinen Metaphysik oder Lehre vom Sein.“ [Bro98]
- Die Ontologie lässt sich in eine *formale* und *materiale* Ontologie unterteilen.
- „Die materiale Ontologie handelt vom organischen Aufbau der Welt als Gegenstand allgemeiner Klassifizierungen.“ [Bro98]
- Die materiale Ontologie ordnet die Elemente des Seins – aufgrund bestimmter Merkmale – nach Einzelperscheinungen, Gruppen, Arten und Gattungen.



Die Ontologie in der Philosophie (II)

Ontologien

Heiko Peter

Motivation

Was ist eine
Ontologie?

Die Ontologie aus
philosophischer Sicht

Ontologien aus Sicht
der Informatik

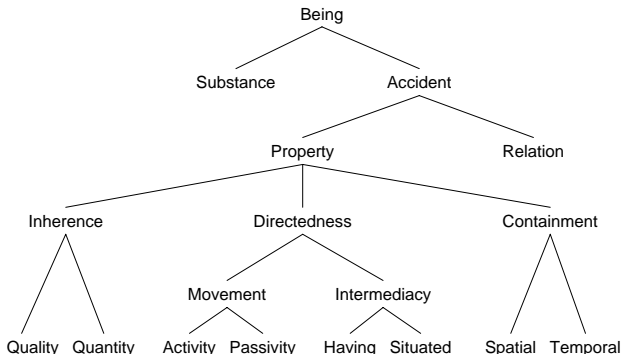
Komponenten
einer
Ontologie

Kategorisierung
von
Ontologien

Literatur

Der griechische Philosoph Aristoteles stellte zehn fundamentale Kategorien für die Klassifizierung von Dingen auf:

Substanz, Relation, Qualität, Quantität, Tun, Leiden, Haben, Lage, Ort und Zeit.





Ontologien in der Informatik

Ontologien

Heiko Peter

Motivation

Was ist eine Ontologie?

Die Ontologie aus
philosophischer Sicht

**Ontologien aus Sicht
der Informatik**

Komponenten einer Ontologie

Kategorisierung von Ontologien

Literatur

- Es gibt viele unterschiedliche Definitionen.
- „An ontology is an explicit specification of an conceptualization.“ [Gru93]



Ontologien in der Informatik

Ontologien

Heiko Peter

Motivation

Was ist eine Ontologie?

Die Ontologie aus
philosophischer Sicht

Ontologien aus Sicht
der Informatik

Komponenten einer Ontologie

Kategorisierung von Ontologien

Literatur

- Es gibt viele unterschiedliche Definitionen.
- „An ontology is an explicit specification of an conceptualization.“ [Gru93]
explizite Spezifikation:
 - Konzepttyp und Constraints sind explizit definiert
 - Voraussetzung für die Maschinenverarbeitbarkeit



Ontologien in der Informatik

Ontologien

Heiko Peter

Motivation

Was ist eine Ontologie?

Die Ontologie aus
philosophischer Sicht

Ontologien aus Sicht
der Informatik

Komponenten einer Ontologie

Kategorisierung von Ontologien

Literatur

- Es gibt viele unterschiedliche Definitionen.
- „An ontology is an explicit specification of an conceptualization.“ [Gru93]

explizite Spezifikation:

- Konzepttyp und Constraints sind explizit definiert
- Voraussetzung für die Maschinenverarbeitbarkeit

gemeinsame Konzeptualisierung:

- gemeinsames Verständnis eines Anwendungsbereichs
- von einer Gruppe von Menschen getragen



Ontologien in der Informatik

Ontologien

Heiko Peter

Motivation

Was ist eine Ontologie?

Die Ontologie aus philosophischer Sicht
Ontologien aus Sicht der Informatik

Komponenten einer Ontologie

Kategorisierung von Ontologien

Literatur

- Es gibt viele unterschiedliche Definitionen.
- „An ontology is an explicit specification of an conceptualization.“ [Gru93]
explizite Spezifikation:
 - Konzepttyp und Constraints sind explizit definiert
 - Voraussetzung für die Maschinenverarbeitbarkeitgemeinsame Konzeptualisierung:
 - gemeinsames Verständnis eines Anwendungsbereichs
 - von einer Gruppe von Menschen getragen
- „... an ontology refers to an **engineering artefact**, 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.“ [Gua98]



Konzeptualisierungen (I)

Ontologien

Heiko Peter

Motivation

Was ist eine
Ontologie?

Die Ontologie aus
philosophischer Sicht
Ontologien aus Sicht
der Informatik

Komponenten
einer
Ontologie

Kategorisierung
von
Ontologien

Literatur

- Eine **Konzeptualisierung** ist eine abstrakte und vereinfachte Sicht auf die zu repräsentierende Welt.
- Sie umfasst die Objekte und Beziehungen zwischen Objekten einer (möglichen) Welt.
- Die Menge der Objekte, über die Wissen ausgedrückt werden soll, nennt man **Diskurswelt** (*universe of discourse*).
- Die Menge der (berücksichtigten) Relationen bezeichnet man als **relationale Basismenge**.
- Formal ist eine Konzeptualisierung K ein Paar

$$K = (D, R)$$

das aus einer Diskurswelt D sowie aus der relationalen Basismenge R besteht. [GN88]



Konzeptualisierungen (II)

Ontologien

Heiko Peter

Motivation

Was ist eine
Ontologie?

Die Ontologie aus
philosophischer Sicht

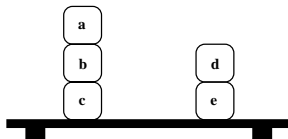
Ontologien aus Sicht
der Informatik

Komponenten
einer
Ontologie

Kategorisierung
von
Ontologien

Literatur

Beispiel: *Blocks World*



- Die Diskurswelt bestehe aus den 5 Blöcken:

$$D = \{a, b, c, d, e\}$$

- Die Relation *on* besteht zwischen zwei Blöcken
gdw. ein Block unmittelbar auf dem anderen steht:

$$on = \{\langle a, b \rangle, \langle b, c \rangle, \langle d, e \rangle\}$$



Konzeptualisierungen (III)

Ontologien

Heiko Peter

Motivation

Was ist eine Ontologie?

Die Ontologie aus philosophischer Sicht

Ontologien aus Sicht der Informatik

Komponenten einer Ontologie

Kategorisierung von Ontologien

Literatur

Beispiel: *Blocks World* (Fortsetzung)

- Die Relation *clear* gilt für einen Block *B* gdw. kein anderer Block auf *B* steht:

$$clear = \{a, d\}$$

- Die Relation *table* gilt für einen Block gdw. der Block auf dem Tisch steht:

$$table = \{c, e\}$$

- Für die gegebene Blocks World ergibt sich somit folgende formale Konzeptualisierung *K*:

$$K = (D, \{on, clear, table\})$$



Konzeptualisierungen (IV)

Ontologien

Heiko Peter

Motivation

Was ist eine Ontologie?

Die Ontologie aus philosophischer Sicht

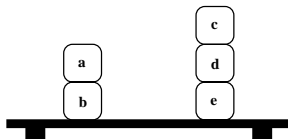
Ontologien aus Sicht der Informatik

Komponenten einer Ontologie

Kategorisierung von Ontologien

Literatur

Problem: extensionale Beschreibung von R



- Aus der geänderten Welt resultiert eine veränderte Konzeptualisierung.
- Die definierten extensionalen Relationen reflektieren eine Situation (in der Welt) aber nicht die intendierte Bedeutung der Relationen.
- Es sollten aber die intensionalen (**konzeptuellen**) Relationen beschrieben werden.



Konzeptualisierungen (V)

Ontologien

Heiko Peter

Motivation

Was ist eine
Ontologie?

Die Ontologie aus
philosophischer Sicht
Ontologien aus Sicht
der Informatik

Komponenten
einer
Ontologie

Kategorisierung
von
Ontologien

Literatur

Lösung:

- Konzeptuelle Relationen sind auf einem Diskursraum (D, W) definiert, wobei
 - D die Diskurswelt und
 - W eine maximale Menge von Situationen einer solchen Diskurswelt (auch *mögliche Welten* genannt) ist.
- Eine n -stellige konzeptuelle Relation p^n auf einem Diskursraum (D, W) ist eine totale Funktion $p^n : W \rightarrow 2^{D^n}$.
- Eine **Konzeptualisierung** K ist ein Tripel

$$K = (D, W, \mathfrak{R})$$

wobei \mathfrak{R} eine Menge von konzeptuellen Relationen auf (D, W) ist. [Gua98]



Arten von Modellierungssprachen

Ontologien

Heiko Peter

Motivation

Was ist eine
Ontologie?

Die Ontologie aus
philosophischer Sicht
Ontologien aus Sicht
der Informatik

Komponenten
einer
Ontologie

Kategorisierung
von
Ontologien

Literatur

Ontologien können auf verschiedene Arten formuliert werden:

informal

natürlichsprachliche Beschreibung

semi-informal

Beschreibung in eingeschränkter und strukturierter Form einer natürlichen Sprache

semi-formal

Beschreibung in einer künstlichen und formal definierten Sprache

formal

Beschreibung mit äußerst genau definierten Begriffen mit formaler Semantik in einer vollständigen und korrekten Sprache



Komponenten einer Ontologie: **Klassen**

Ontologien

Heiko Peter

Motivation

Was ist eine Ontologie?

Die Ontologie aus philosophischer Sicht
Ontologien aus Sicht der Informatik

Komponenten einer Ontologie

Kategorisierung von Ontologien

Literatur

- Klassen repräsentieren Konzepte einer Domäne.
- Klassen fassen eine Menge von Eigenschaften in Form von Attributen.
- Klassen sind häufig in Taxonomien angeordnet.



Komponenten einer Ontologie: **Klassen**

Ontologien

Heiko Peter

Motivation

Was ist eine Ontologie?

Die Ontologie aus philosophischer Sicht
Ontologien aus Sicht der Informatik

Komponenten einer Ontologie

Kategorisierung von Ontologien

Literatur

- Klassen repräsentieren Konzepte einer Domäne.
- Klassen fassen eine Menge von Eigenschaften in Form von Attributen.
- Klassen sind häufig in Taxonomien angeordnet.

Beispiel: Klasse *Student* und *Professor*

$$\forall x : (\text{Student}(x) \rightarrow \exists y : (\text{eingeschrieben}(x, y) \wedge \text{Kurs}(y)))$$

$$\forall x : (\text{Professor}(x) \rightarrow \exists y : (\text{unterrichtet}(x, y) \wedge \text{Kurs}(y)))$$



Komponenten einer Ontologie: **Relationen**

Ontologien

Heiko Peter

Motivation

Was ist eine Ontologie?

Die Ontologie aus philosophischer Sicht
Ontologien aus Sicht der Informatik

Komponenten einer Ontologie

Kategorisierung von Ontologien

Literatur

- Relationen repräsentieren Beziehungen zwischen Konzepten einer Domäne.
- Formal ist eine Relation R eine Teilmenge des Kreuzproduktes von n Mengen:

$$R \subseteq M_1 \times \dots \times M_n$$

- In Ontologien werden üblicherweise binäre Relationen verwendet.
- Binäre Relationen werden insbesondere zur Beschreibung von Klassenattributen verwendet.



Komponenten einer Ontologie: **Relationen**

Ontologien

Heiko Peter

Motivation

Was ist eine Ontologie?

Die Ontologie aus philosophischer Sicht
Ontologien aus Sicht der Informatik

Komponenten einer Ontologie

Kategorisierung von Ontologien

Literatur

- Relationen repräsentieren Beziehungen zwischen Konzepten einer Domäne.
- Formal ist eine Relation R eine Teilmenge des Kreuzproduktes von n Mengen:

$$R \subseteq M_1 \times \dots \times M_n$$

- In Ontologien werden üblicherweise binäre Relationen verwendet.
- Binäre Relationen werden insbesondere zur Beschreibung von Klassenattributen verwendet.

Beispiel: Relation *eingeschrieben*

$$\forall x, y : (\text{eingeschrieben}(x, y) \rightarrow \text{Student}(x) \wedge \text{Kurs}(y))$$



Komponenten einer Ontologie: **Funktionen**

Ontologien

Heiko Peter

Motivation

Was ist eine
Ontologie?

Die Ontologie aus
philosophischer Sicht
Ontologien aus Sicht
der Informatik

Komponenten
einer
Ontologie

Kategorisierung
von
Ontologien

Literatur

- Funktionen sind ein Spezialfall von Relationen.
- Funktionen besitzen die Eigenschaft, dass sie jedem Element des Definitionsbereichs genau ein Element aus dem Wertebereich zuordnen.

Beispiel: *quadratische* Funktion

$$\forall x, y : (y = \text{quad}(x) \rightarrow \text{Zahl}(x) \wedge \text{Positive_Zahl}(y))$$

$$\forall x : (\text{quad}(x) = x \cdot x)$$



Komponenten einer Ontologie: **formale Axiome**

Ontologien

Heiko Peter

Motivation

Was ist eine Ontologie?

Die Ontologie aus philosophischer Sicht
Ontologien aus Sicht der Informatik

Komponenten einer Ontologie

Kategorisierung von Ontologien

Literatur

- Formale Axiome dienen zur Modellierung von (prädikatenlogischen) Sätzen, die immer wahr sind.
- Sie werden verwendet, wenn das zu repräsentierende Wissen nicht durch die anderen Komponenten darstellbar ist.
- Mit formale Axiomen kann die Konsistenz der Ontologie überprüft werden.

Beispiel:

$$\forall x : (\text{Professor}(x) \rightarrow \neg \text{Student}(x))$$



Komponenten einer Ontologie: **Objekte**

Ontologien

Heiko Peter

Motivation

Was ist eine
Ontologie?

Die Ontologie aus
philosophischer Sicht
Ontologien aus Sicht
der Informatik

Komponenten
einer
Ontologie

Kategorisierung
von
Ontologien

Literatur

- Objekte werden verwendet, um Individuen in einer Ontologie zu repräsentieren.

Beispiel:

Student(Fritz)



Kategorisierung von Ontologien (I)

Ontologien

Heiko Peter

Motivation

Was ist eine Ontologie?

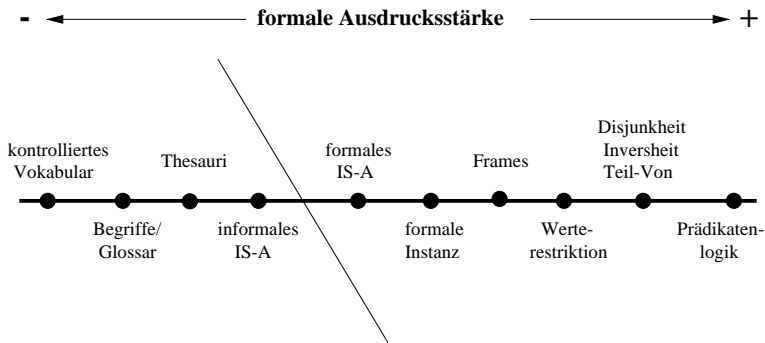
Die Ontologie aus philosophischer Sicht
Ontologien aus Sicht der Informatik

Komponenten einer Ontologie

Kategorisierung von Ontologien

Literatur

Ontologien können nach ihrem Spezifikationsgrad klassifiziert werden [LM01]:





Kategorisierung von Ontologien (II)

Ontologien

Heiko Peter

Motivation

Was ist eine Ontologie?

Die Ontologie aus philosophischer Sicht
Ontologien aus Sicht der Informatik

Komponenten einer Ontologie

Kategorisierung von Ontologien

Literatur

Kontrolliertes Vokabular: ist eine abgeschlossene Liste von Begriffen (z.B. Kataloge).

Glossar: ist eine endliche Liste von Begriffen und deren zugehörige Bedeutung. Die Bedeutung ist natürlichsprachlich verfasst.

Thesaurus: ist ein kontrolliertes Vokabular (oder auch Glossar), dessen Begriffe durch Beziehungen miteinander verbunden sind. Häufig werden folgende Beziehungen im Thesaurus verwendet:

- Äquivalenz (Synonyme),
- Taxonomie (Oberbegriffe, Unterbegriffe)
- Assoziationen (verwandte Begriffe)



Kategorisierung von Ontologien (III)

Ontologien

Heiko Peter

Motivation

Was ist eine Ontologie?

Die Ontologie aus philosophischer Sicht
Ontologien aus Sicht der Informatik

Komponenten einer Ontologie

Kategorisierung von Ontologien

Literatur

informale IS-A-Hierarchie: ist eine explizite Hierarchie von Klassen, wobei nicht konsequent die Unterklassenbeziehung zwischen den entsprechenden Begriffen gilt (Bsp. Yahoo's Begriffshierarchie).

formale IS-A-Hierarchie: ist eine explizite Hierarchie von Klassen, wobei die Unterklassenbeziehung zwischen Begriffen strikt eingehalten wird, d.h., die Transitivität und die Instanzeigenschaft der Unterklassenbeziehung werden beachtet.

formale Instanz: ist eine explizite Hierarchie, die neben der Unterklassenbeziehung auch die Instanzbeziehung erlaubt.



Kategorisierung von Ontologien (IV)

Ontologien

Heiko Peter

Motivation

Was ist eine Ontologie?

Die Ontologie aus
philosophischer Sicht
Ontologien aus Sicht
der Informatik

Komponenten einer Ontologie

Kategorisierung von Ontologien

Literatur

Frames: ermöglichen Klassen bestimmte Eigenschaften zuzuordnen. Zusätzlich können diese Eigenschaften vererbt werden.

Werterestriktionen: ermöglichen es, die Werte der Klasseneigenschaften zu beschränken.



Kategorisierung von Ontologien (V)

Ontologien

Heiko Peter

Motivation

Was ist eine
Ontologie?

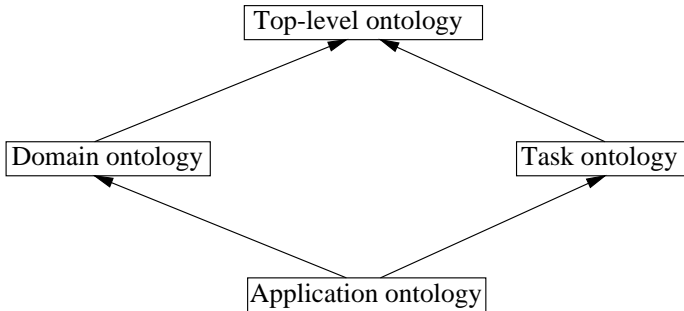
Die Ontologie aus
philosophischer Sicht
Ontologien aus Sicht
der Informatik

Komponenten
einer
Ontologie

Kategorisierung
von
Ontologien

Literatur

Ontologien können nach dem Allgemeingrad des repräsentierten Wissens klassifiziert werden [Gua98]:





Kategorisierung von Ontologien (VI)

Ontologien

Heiko Peter

Motivation

Was ist eine
Ontologie?

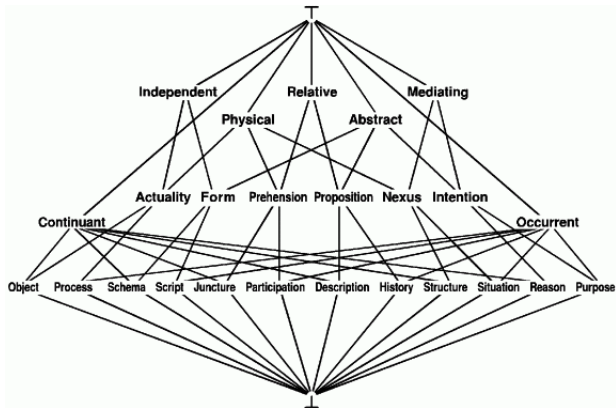
Die Ontologie aus
philosophischer Sicht
Ontologien aus Sicht
der Informatik

Komponenten
einer
Ontologie

Kategorisierung
von
Ontologien

Literatur

Top-level ontologies beschreiben sehr allgemeine Konzepte wie Raum, Zeit, Materie, Ereignis, Aktion,... Diese Konzepte sind unabhängig von einem bestimmten Problembereich.





Kategorisierung von Ontologien (VII)

Ontologien

Heiko Peter

Motivation

Was ist eine Ontologie?

Die Ontologie aus philosophischer Sicht

Ontologien aus Sicht der Informatik

Komponenten einer Ontologie

Kategorisierung von Ontologien

Literatur

- **Domain ontologies** beschreiben das Vokabular für ein generischen Problembereich (z.B. Medizin), indem sie die Konzepte der Top-level ontology weiter spezifizieren.
- **Task ontologies** beschreiben das Vokabular für eine generische Aufgabe oder Aktivität (z.B. Diagnostizieren), indem sie die Konzepte der Top-level ontology weiter spezifizieren.
- **Application ontologies** beinhalten die Definitionen, die zum Modellieren des Wissens für eine bestimmte Anwendung notwendig sind. Sie erweitern und spezialisieren oft das Vokabular einer Domain oder Task ontology.



Ontologien

Heiko Peter

Motivation

Was ist eine Ontologie?

Die Ontologie aus
philosophischer Sicht
Ontologien aus Sicht
der Informatik

Komponenten einer Ontologie

Kategorisierung von Ontologien

Literatur



Brockhaus – Die Enzyklopädie: in 24 Bänden, 1998.



Michael R. Genesereth and Nils J. Nilsson.
Logical Foundations of Artificial Intelligence.
Morgan Kaufmann, 1988.



Thomas R. Gruber.
A Translation Approach to Portable Ontology
Specifications.
Knowledge Acquisition, 5(2):199–220, 1993.



Nicola Guarino.
Formal Ontology and Information Systems.
In Nicola Guarino, editor, *Formal Ontology in
Information Systems – Proceedings of FOIS'98, Trento,
Italy*, pages 3–15. IOS Press, Amsterdam, 1998.



Ontologien

Heiko Peter

Motivation

Was ist eine Ontologie?

Die Ontologie aus
philosophischer Sicht
Ontologien aus Sicht
der Informatik

Komponenten einer Ontologie

Kategorisierung von Ontologien

Literatur



Ora Lassila and Deborah McGuinness.

The Role of Frame-Based Representation on the
Semantic Web, 2001.



Barry Smith.

Ontology.

In Luciano Floridi, editor, *The Blackwell Guide to the
Philosophy of Computing and Information (Blackwell
Philosophy Guides)*, chapter 11. Blackwell, Oxford, New
York, 2003.