Gregor Büchel

Ontologien und Topik – Systematische Aspekte einer Wissensrepräsentation

1. Einführung

Wissensmangement, hier zunächst in einem engeren Sinne verstanden als Verwaltung von Wissen aus einem bestimmten Themenbereich, z.B. Wissen aus der Versandorganisation eines Handelsunternehmens, Wissen aus der Lehre und Forschung der Mathematik, Wissen aus dem Straßenverkehr u.a.m., setzt geeignete Methoden, Verfahren und Prinzipien der Wissensrepräsentation voraus, um bereits erworbenes Wissen, das nach Möglichkeit in maschinenlesbarer Form vorliegt (z.B. als HTML-Dokument, als Datenbanktabelle usw.), mit maschinellen Methoden des Suchens und Findens zugänglich zu machen. Prototypisch für diese Problemstellung der Wissensrepräsentation ist das Problem der Strukturierung des zu einem Themenbereich im World Wide Web (=: WWW) verteilten Wissens. In der nachfolgenden Erörterung wird eine mögliche Wechselwirkung zwischen Fragestellungen der Ontologie[1] als einem Teilgebiet der Philosophie und Ontologien[2] als Untersuchungsgegenstand des Forschungsgebiets "Künstliche Intelligenz" behandelt. Im Anschluß an Kants "Tafel der Kategorien"[3] wird der Frage nachgegangen, ob Ontologien, die unter dem Anspruch stehen, ausgearbeitete Systematiken besonderer Themenbereiche zu sein, über die Funktionalität einer systematischen Topik verfügen. Zu untersuchen ist, in welchem Umfang eine systematische Topik "qualitätssichernde" Kriterien für die Wohlgeformtheit einer Ontologie bereitstellt. Am Beispiel von Kandidatenmengen für eine Begriffsmenge einer einzurichtenden Ontologie von Web-Seiten der Mathematik wird diese Untersuchung geführt.

2. Kann Philosophie zur Reduktion von Komplexität beitragen?

Folgt man der von Berners-Lee/Hendler/Lassila (2001) entworfenen Idee eines „Semantic Web“[4], um den maschinellen Zugriff auf die mehr als ca. 1 Mrd. Dokumente des WWW durch semantische Datenmodelle, die innerhalb des WWW implementiert werden, steuern zu können[5], so stellt sich allgemein die Frage: Kann die Philosophie in Betrachtung besonderer Bereiche des Daseins für die Strukturierung des Wissens über diese Daseinsbereiche beitragen? Oder etwas präziser formuliert: Kann die philosophische Disziplin der Ontologie als die Lehre „von den allgemeinsten Seinsbegriffen, Seinsbedeutungen und Seinsbestimmungen“ (Hoffmeister (1955) S.443) etwas zur Entwicklung von Ontologien, als Begriff[6] des Forschungsgebiets „Künstliche Intelligenz“ (=: KI) verstanden, für besondere Themenbereiche beisteuern?

Ohne an dieser Stelle auf das Spannungsfeld von Kritik der Metaphysik und Ontologie einzugehen, soll kurz auf einen wichtigen Vertreter (wenn nicht vielleicht der wichtigste Vertreter) der Ontologie im 20. Jh., nämlich Nikolai Hartmann, hingewiesen werden. Im Anschluß an die Erkenntniskritik von Kant und Hegel entwickelte er in einem vierbändigen Werk[7] eine „kritische Ontologie“. Die Gründe dieses Hinweises sind nicht die einzelnen Resultate seiner Untersuchung (z.B. die Betrach-

---

[1] Ontologie: "Die Lehre vom Sein als solchem, von den allgemeinsten Seinsbegriffen, Seinsbedeutungen und Seinsbestimmungen" (Hoffmeister (1955)).

[2] Ontologien: "Ontologies provide a way of capturing a shared understanding of terms that can be used by humans and programs to aid in information interchange" (OIL-Whitepaper (2000)).

[3] Kant (1966), B106. Die "Kritik der reinen Vernunft" (=: Kr.d.r.V.) wird in der Seitenzählung nach der 2. Auflage von 1787 (B) zitiert.

[4] Vgl. auch SemanticWeb.org (2002).

[5] Vgl. Sure (2002).

[6] Vgl. Uschold/Gruninger (1996), Horrocks (2000), OIL-Whitepaper (2000), Volz (2001), in Hinblick auf das Wissensmanagement vgl. auch Studer/Oppermann/Schnurr (2001).

[7] I. Band: „Zur Grundlegung der Ontologie“ (1935), (2. Aufl. 1948),
II. Band:„Möglichkeit und Wirklichkeit“ (1938),
III. Band: „Der Aufbau der realen Welt“ (1940), (2. Aufl. 1949),
IV. Band: „Philosophie der Natur“ [fertiggestellt 1943] (1950).

tung von Raum und Zeit in der „Philosophie der Natur“ (1950), in der trotz Fortschritte der Mathematik und der theoretischen Physik, die in Andeutungen erwähnt werden, immer noch der dreidimensionale euklidische Raum als prototypisches Raummodell verbleibt), sondern es ist sein methodischer Ansatz, „daß die Vielheit von Einheiten in einer systematischen Ordnung denkbar sein kann“ (Heidemann (1982), S.213). Somit gestattet Hartmanns ontologischer Ansatz die Frage nach der Möglichkeit der Philosophie, zur Reduktion von Komplexität beizutragen, positiv. Wenn nun die Vielheit von einzelnem Wissen aus einem bestimmten Themenbereich („Seinsbereich“[8]) „nicht beziehungslos wie ein beliebiges Aggregat je für sich seiender Monaden zu denken ist, so müssen die Beziehungsweisen als solche gesucht werden“[9]. Wie können nun diese „Beziehungsweisen als solche“ gefunden werden, die Kriterien bestimmen, daß eine Systematik von Wissen eines bestimmten Themenbereichs für eine große Menge von Einfügeoperationen von neu akquiriertem Wissen komparativ allgemein und strukturell stabil bleibt? Im Resümee über Hartmanns ontologisches Werk folgert Heidemann, daß, obwohl alle Systematik immer nur vorläufig sein kann, die Aufgabe eines (nicht nur philosophisch geprägten) Systemdenkens darin besteht, Systeme für Themenbereiche zu entwerfen, die „die Topik der Begriffe“ des jeweiligen Themenbereichs bestimmen, wobei eine Topik „gleichsam ein Koordinatensystem“ ist, in dem die den Begriffen korrespondierenden Probleme „ihren je eigenen Ort finden können“ (Heidemann (1982) S.215).

3. Kategorien und Topik

Für gewöhnlich werden Aristoteles Bücher der „Metaphysik“ als erste Ausarbeitung einer Ontologie in der Philosophiegeschichte genannt[10]. Bereits dort ist die Ausarbeitung einer Systematik des Seienden eng mit einem Kategoriensystem verknüpft[11]. Das aristotelische Kategoriensystem war Vorlage für Kants System der reinen Verstandesbegriffe, die er „nach dem Aristoteles **Kategorien**“ nannte (B 105). Kant ordnet die vier Kategoriengruppen der Quantität (Einheit, Vielheit, Allheit), der Qualität (Realität, Negation, Limitation), der Relation (Inhärenz und Subsistenz, Kausalität und Dependenz, Gemeinschaft (Wechselwirkung)) und der Modalität (Möglichkeit – Unmöglichkeit, Dasein – Nichtsein, Notwendigkeit – Zufälligkeit) in Form einer zweidimensionalen Struktur, der „Tafel der Kategorien“ an (B 106)[12]. Die Aufstellung der Kategorientafel erfüllt für Kant den Anspruch einer „systematischen Topik“, denn sie gestatte jedem Begriff des reinen Verstandes „die Stelle“ zu zuordnen, „dahin ein jeder Begriff eigentümlich gehört“ und zu jedem Begriff die Stelle zu finden, „die noch leer ist“ (B 109). Damit erfüllt die Kategorientafel die Bedingung einer „logischen Topik“, die gestattet, für jeden Begriff einen „logischen Ort“ (B 324) im System einer Wissenschaft zu bestimmen. Weiterhin garantiere die Kategorientafel, „den Plan zum Ganzen einer Wissenschaft, so fern sie auf Begriffen a priori beruht, vollständig zu entwerfen, und sie mathematisch nach bestimmten Prinzipien abzuteilen“ (B 109).

Im „Architektonik“- Hauptstück der „transzendentalen Methodenlehre“ der Kr.d.r.V. verlangt Kant, um zur Systematik einer Wissenschaft zu gelangen, daß eine Idee gegeben ist, die „den Zweck und die Form des Ganzen“ eines wissenschaftlichen Systems bestimmt sowie den Bezug der Teile des

---

[8] Heidemann (1982) S.213.

[9] Heidemann a.a.O..

[10] Vgl. Kunzmann/Burkard/Wiedmann (1992) S.13, vgl. auch Volz (2001). Zu diskutieren wäre, ob der Beginn der Ontologie als eigenständige philosophische Disziplin, die von anderen Bereichen der Metaphysik abgegrenzt ist (z.B. von der philosophischen Kosmologie oder der philosophischen Psychologie), später zu datieren wäre, z.B. auf Christian Wolffs Schrift „Philosophia prima sive ontologia“ (1730) (vgl. Hoffmeister (1955) S. 443).

[11] Zum aristotelischen Kategoriensystem vgl. Aristoteles: „Kategorien“ (Aristoteles (1986)), insbesondere dort die Einleitung von Klaus Oehler. Vgl. auch Aristoteles: „Metaphysik“ (Aristoteles (1995)). Zu den Belegstellen der Kategoriennennungen in der „Metaphysik“ (z.B. Met. 1017 a 25, Met. 1026 a 36, usw.) vgl. die „Tabelle der Kategorienaufzählungen im Corpus Aristotelicum“ in Aristoteles (1986) S.352-355.

[12] Zur Frage, ob Kant mit dieser Form der Anordnung begriffskombinatorische Operationen ermöglichen wollte, vgl. Gottfried Martin: „Arithmetik und Kombinatorik bei Kant“ (Martin (1972)).

wissenschaftlichen Systems untereinander regelt (B 860). Ist die Verbindung dieser Idee mit der Mannigfaltigkeit der Teile, die in einem (möglicherweise räumlich bestimmten) Schema angeordnet werden, empirisch gegeben, spricht Kant von einer „technischen Einheit" des Systems. Ist dagegen die Verbindung dieser Idee mit dem Schema für Wissenschaften, die nur aus Begriffen a priori bestehen, durch die Kategorientafel ausschließlich gegeben („Plan zum Ganzen einer Wissenschaft" s.o.), nennt Kant dies die „architektonische Einheit" des Systems. Für das folgende möchte ich die hier ausgeführten Überlegungen Kants zur Aufstellung einer Systematik für einen Wissensbereich unter dem Stichwort „architektonische Systematik" zusammenfassen.

4. Systematische Aspekte der Wissensrepräsentation

Im folgenden soll der philosophische Beitrag zur Entwicklung von Ontologien als Konzepte der Wissensrepräsentation betrachtet werden. Dazu wird hier ein kurzer Überblick über die Komponenten einer Ontologien gegeben. Ontologien beinhalten in der Hauptsache[13] folgende vier Komponenten:

(1) Eine Menge C der Begriffe, d.h. eine Menge von Termini, auf die sich eine Interessengruppe zur Beschreibung eines Gegenstandsbereiches einigt. In der Regel enthält C eine endliche Sammlung von Bezeichnern, die als Nominalphrasen formuliert werden[14]. Eine Ontologie des Straßenverkehrs beinhaltet z.B. eine Begriffsmenge C mit folgenden Termini: C = {Fahrzeug, Fußgänger, LKW, KfZ, PKW, Motor, ...}.
(2) Eine Menge R von zweistelligen Relationen r, die zwischen Begriffspaaren aus C bestehen. Gewöhnlich werden diese Relationen in Darstellungen der KI-Literatur durch Verbalphrasen bezeichnet (vgl. OIL-Whitepaper 2000 und Volz 2001). In der obigen Beispielontologie des Straßenverkehrs hat man z.B. die Relation r = "ist Teil von" in der Relationenmenge R, r wird auf Begriffstupel aus C angewendet, man erhält z.B. : r(Motor,KfZ) ist wahr.
(3) Eine Begriffshierarchie H^C, in der alle Begriffspaare (C_1, C_2) aus der Menge C, zwischen denen eine semantische Relation der Hyperonymie (bzw. der Hyponymie) besteht, eingeordnet werden: Genau dann, wenn C_2 Hyperonym von C_1 ist, notiert man die Einordnung des Paares in die Begriffshierarchie durch $H^C(C_1, C_2)$ (vgl. Volz 2001). In der Beispielontologie zum Straßenverkehr ist KfZ ein Oberbegriff von PKW, also gilt: H^C(PKW, KfZ).
(4) Eine Menge von Axiomen A^0, mit denen weitere Sachverhalte, die in Bezug auf die Begriffe von C bestehen und die nicht durch (2) oder (3) beschrieben sind, unter Verwendung einer Logiksprache festgelegt werden können. Die gewählte Logiksprache kann Konstrukte beinhalten, mit der auf C topologische Strukturen definiert werden können. In OIL sind dafür die Schlüsselwörter **disjoint**, **covered** und **disjoint-covered** vorgesehen (vgl. OIL-Whitepaper 2000). Hierdurch können disjunkte Extensionen von Begriffen, Überdeckungen und disjunkte Überdeckungen von Extensionen definiert werden, wie es nachfolgend für Begriffe aus obiger Beispielontologie ausgeführt ist:

(a) **disjoint** Lkw Pkw**;**
(b) **covered** Kfz **by** Pkw Fahrzeug**;**
(c) **disjoint-covered** Kfz **by** Lkw Pkw motorisiertes_Zweirad Sonderfahrzeug**;**

Die Bedingung **disjoint** verlangt, daß die Extensionen der aufgeführten Begriffe disjunkt sind. Die Bedingung **covered** fordert, daß jede Instanz der Extension des zu überdeckenden Begriffs unter mindestens einen Begriff der **by**-Klausel subsumiert werden kann. Dabei können letztere Begriffe auf unterschiedlichen Hierarchiestufen der Ontologie angeordnet sein. Die Bedingung **disjoint-covered** verschärft die covered-Bedingung dahingehend, daß die Subsumierung unter **genau** einen Begriff der **by**-Klausel stattfindet.

---

[13] Weitere spezialisierte Komponenten von Ontologien, wie z.B. Instanziierungsaxiome und weitere Axiome für Relationstypen, sind z.B. beschrieben in Horrocks (2000) und Volz (2001).
[14] Die Elemente von C müssen gemäß ANSI Knowledge Interchange Format (=: KIF) die Fähigkeit haben, ein Satzsubjekt bilden zu können (vgl. Fikes/McGuinness 2001).

Als eine Methode der Wissensrepräsentation stellen Ontologien eine Fortentwicklung semantischer Netze dar, da sie mit den Komponenten (1) und (2) gestatten, ein semantisches Netz incl. seiner Knoten- und Kantenfärbung zu modellieren (vgl. Büchel 1996, 1998). Mit der Komponente (4) haben Ontologien den Vorteil, auf der gegebenen Begriffsmenge C eine topologische Struktur zu bestimmen.

An einem Beispiel soll die Frage behandelt werden, wie eine Begriffsmenge C für eine aufzustellende Ontologie besser strukturiert werden könnte, wenn Aspekte der Topik und einer architektonischen Systematik auf sie angewendet werden. Dieses Beispiel behandelt die Frage: Wie kann für das umfangreiche Korpus der WWW-Seiten zum Themenbereich „Mathematik“ eine geeignete Begriffsmenge C für eine zu definierende Ontologie strukturiert werden? Als Kandidatenmenge C‘ könnte man z.B. die Menge der Einträge des aktuellen amerikanischen „Yahoo!Directory“ zum Wissensgebiet „Mathematik“ (vgl. Yahoo!Science>Mathematics 2002) nehmen. Es enthält zum Stichtag 7.8.2002 45 Einträge. Von 45 Einträgen sind nur 17 Einträge Systemstellen, die auf tatsächliche Teilgebiete der Mathematik hinweisen. Die 45 Einträge sind folgendermaßen verteilt:

- 17 Systemstellen: Z.B. „Algebra“, „Calculus“, ..., „Statistics“,
- 11 Verweise auf weitere Informationsquellen: Z.B. „Academic Papers“, ..., „Usenet“,
- 6 Begriffe, die Systemstellen unterzuordnen wären: Z.B. „Bifurcation“, ..., „Wavelets“,
- 5 Hinweise auf den allgemeinen Kontext einer Wissenschaft: Z.B. „Education“, „Employment“, ..., „Research“,
- 3 Hinweise zur Unterhaltung: Z.B. „Humor“,
- 3 Hinweise auf Nachbargebiete und auf eine Seite mit bedeutenden Mathematikerinnen und Mathematiker.

In Hinblick auf die Systemstellen ist anzumerken, daß relevante Systemstellen, wie z.B. Differentialgleichungen, Funktionalanalysis und Topologie fehlen.

Möchte man nun die Aspekte der Topik und die Aspekte einer architektonischen Systematik für den Anwendungsfall einer zu entwickelnden Ontologie bündeln, können unter Berücksichtigung der oben dargelegten philosophischen Betrachtungen folgende Ansatzpunkte betrachtet werden:

(A) Einfachheit der Begriffsmenge C.
(B) Anschaulichkeit in Bezug auf die relationale bzw. hierachische Anordnung der Begriffe innerhalb einer Ontologie, einschließlich der Axiome aus A^0, die eine topologische Struktur auf C bestimmen.
(C) Komparative Vollständigkeit der Begriffsmenge C.
(D) Architektonisches Design der Ontologie (C, R, H^C, A^0), das den „Plan zum Ganzen“[15] eines bestimmten Themenbereichs deutlich werden läßt.

Diese Ansatzpunkte bilden keine Heuristik für das Entwickeln neuer Ontologien. Sie sind eher, wie eine nachfolgende Reihung von Argumenten zeigen soll, „qualitätssichernde“ Kriterien für die Wohlgeformtheit einer Ontologie. Zur Motivation dieser Ansatzpunkte ist folgendes zu bemerken: (A) folgt dem Vorbild der Kategorientafel: Sie enthält nur eine überschaubare Anzahl von Begriffen, alle Titel der Kategorien sind von gleicher Qualität. (B) betrachtet die Nützlichkeit der Zuord-

[15] Unter dem Aspekt der architektonischen Systematik kann die Funktionalität der systematischen Topik auf die Problematik von Einfügeoperationen in eine bestehende Ontologie $O' = (C', R', H^{C'}, A^0)$ angewendet werden: Soll durch Einfügen eines Begriffs w die Ontologie O' erweitert werden zu einer Ontologie $O = (C, R, H^C, A^0)$ mit $C = C' \cup \{w\}$, so sind folgende Entscheidungen zu treffen: 1) Ist w unter topischen Gesichtspunkten "eine noch fehlende Stelle im System"? D.h. ist w in eine Leerstelle von $H^{C'}$ aufzunehmen? 2) Falls 1) nicht gilt: Ist w einer Systemstelle von $H^{C'}$ unterzuordnen oder ist w als nicht taxonomischer Begriff in die Menge C aufzunehmen? 3) In welche Relationen $r' \in R'$ ist w als Komponente aufzunehmen? 4) Ist wegen w eine neue Relation r in $R = R' \cup \{r\}$ aufzunehmen? Diese Einfüge-Problematik bei Ontologien (Ontologieevolution) kann in Analogie zum Problem der Schemaevolution bei der Entwicklung von Datenbanksystemen betrachtet werden.

nung von räumlichen Vorstellungen zu Kategorien. Der Begriff der Anschauung, insbesondere die „Formen sinnlicher Anschauung“ (B 36) Raum und Zeit sind bei Kant konstitutiv für die Anwendbarkeit der Kategorien auf empirisch zu bestimmende Gegenstände. Nikolai Hartmann diskutiert ausführlich den Raum-Begriff für die Ontologie-Konzeption seiner „Philosophie der Natur“ (Hartmann (1950)). (C) ergibt sich aus der Kantischen Herleitung der Kategorientafel: Die Kategorientafel ist in Hinblick auf die in der Kr.d.r.V. untersuchten logischen Urteilsformen vollständig. (D) faßt die unter dem Stichwort architektonische Systematik subsumierten Anforderungen aus dem „ Architektonik“-Hauptstück der Kr.d.r.V. in einem Kriterium zusammen.

Diskutiert man nun die oben bestimmte Kandidatenmenge C‘ unter den Ansatzpunkten (A) bis (D), ergeben sich folgende Verbesserungsvorschläge:

zu (A)/ zu (C): Das „Yahoo!Directory“ zum Wissensgebiet „Mathematik“ ist nicht einfach und es ist nicht vollständig. Es enthält über- und untergeordnete Begriffe, die in ihrer Unterordnung nicht ausgewiesen sind. Es fehlen Systemstellen. Vorschlag: Die Systemstellenteilmenge aus C‘ ist mit einer einfachen korrekten Systemstellenmenge[16] mathematischer Teilgebiete abzugleichen (z.B. mit den Systemstellen der Übersicht „Teilgebiete der Mathematik“ in Reinhardt (1990) S.12).

zu (B): Ist gemäß (A)/(C)/(D) eine korrigierte Menge C‘‘ gewonnen und sind Relationen r und eine Begriffshierarchie H^C definiert worden, sollte aus (C‘‘, R, H^C) ein semantisches Netz hergeleitet werden. Anhand des Netzes kann geprüft werden, ob es nicht-vernetzte Knoten gibt und ob der Graph besser balanciert werden könnte.

zu (D): Im „Yahoo!Directory“ zum Wissensgebiet „Mathematik“ stehen Systemstellen auf gleichem Niveau neben kontextuellen Begriffen, neben Verweisen auf Informationsquellen usw.. Diesem marktplatzähnlichen Nebeneinander von ungleichartigen Begriffen korrespondiert kein Schema, das „technische Einheit“ stiften kann. Vorschlag: Aus C‘ sollten alle Nicht-Systemstellen entfernt werden. Für Themenkreise „Informationsquellen der Mathematik“, „mathematische Unterhaltung“ können besondere Ontologien aufgestellt werden.

Ein Fazit ist, daß eine philosophische Betrachtung unter den Gesichtspunkten der Topik und einer architektonischen Systematik zu einer verbesserten Begriffsmenge einer Ontologie führen kann.

Literatur

(a) Gedruckte Literatur

Aristoteles (1986): Kategorien – Übersetzt und erläutert von Klaus Oehler – Berlin: Akademie-Verlag.

– (1995): Metaphysik – Nach einer Übersetzung von Hermann Bonitz bearbeitet von Horst Seidl –, Aristoteles: Philosophische Schriften in sechs Bänden, Band 5, Hamburg: F. Meiner.

Büchel, Gregor (1996): Können Verben semantische Relationen markieren? – In: N. Weber (Hg.): Semantik, Lexikographie und Computeranwendungen, 275-286. Tübingen: Niemeyer.

– (1998): Generierung von semantischen Netzen für Schlagwörter des Katalogbestandes einer Hochschulbibliothek. – In: G. Heyer, Chr. Wolff (Hgg.): Linguistik und neue Medien, 225-233. Wiesbaden: DUV.

Hartmann, Nikolai (1950): Philosophie der Natur – Berlin.

– (1982): Der philosophische Gedanke und seine Geschichte – Stuttgart: Reclam.

Heidemann, Ingeborg (1982): Die Philosophie Nicolai Hartmanns im Aspekt der Probleme – (Nachwort) in: Hartmann (1982), 189 – 215.

Hoffmeister, Johannes (1955): Wörterbuch der philosophischen Begriffe – Hamburg: F. Meiner.

[16] Eine andere Systemstellenmenge für das Wissensgebiet der Mathematik, die im Unterschied zu Reinhard (1990) weniger anschaulich ist, findet man in Zentralblatt MATH (2000).

Kant, Immanuel (1966): Kritik der reinen Vernunft – Herausgegeben von Ingeborg Heidemann – Stuttgart: Reclam.

Kunzmann, Peter; Burkard, Franz-Peter; Wiedmann, Franz (1992): dtv-Atlas zur Philosophie – München: dtv.

Martin, Gottfried (1972): Arithmetik und Kombinatorik bei Kant – Berlin, New York: de Gruyter.

Reinhardt, Fritz (1990): dtv-Atlas zur Mathematik. 2 Bände: 1.Bd. Grundlagen, Algebra u. Geometrie, 2.Bd. Analysis und angewandte Mathematik - München: dtv.

Sure, York (2002): On-To-Knowledge Ontology based Knowledge Management Tools and their Application – In: KI – Künstliche Intelligenz, 16. Jahrgang, Heft 1, 35-37.

Uschold, Mike; Gruninger, Michel (1996): Ontologies: principles, methods, and applications – In: Knowledge Engineering Review, Volume 11, Number 2, 93-155.

(b) Literatur aus dem WWW

Berners-Lee, Tim; Hendler James; Lassila Ora (2001): The Semantic Web – In: Scientific American, Issue 05. 13. August 2002 <http://www.sciam.com/article.cfm? articleID= 00048144-10D2-1C70-84A9809EC588EF21>.

Fikes, Richard; McGuinness, Deborah (2001): An Axiomatic Semantics for RDF, RDF-S, and DAML+OIL. 13. August 2002 <http://www.ksl.stanford.edu/people/dlm/daml-semantics/daml+oil-axioms-october2001.htm >.

Horrocks, Ian (2000): A Denotational Semantics for Standard OIL and Instance OIL. 13. August 2002 <http://www.ontoknowledge.org/oil/downl/semantics.pdf>.

OIL-Whitepaper (2000): An informal description of Standard OIL and Instance OIL, verfasst von Sean Bechhofer, Jeen Broekstra, Stefan Decker et. al. 13.August 2002 <http://www.ontoknowledge.org/oil/downl/oil-whitepaper.pdf>.

Studer, Rudi; Oppermann, Henrik; Schnurr, Hans-Peter (2001): Die Bedeutung von Ontologien für das Wissensmanagement. 13. August 2002 <http://www.ontoprise.de/download /Bedeutung_von_Ontologien_fuer_WM.pdf>.

SemanticWeb.org (2002): Home page. 13. August 2002 <http://www.Semanticweb. org>.

Volz, Raphael (2001): Eine kleine Einführung in Ontologien. 13. August 2002 <http://www.math.tu-dresden.de/~rudolph/Dresden_Workshop.pdf>.

Yahoo!Science>Mathematics (2002): Yahoo! Directory Science>Mathematics 2002. 7. August 2002 < http://dir.yahoo.com/Science/Mathematics/ >.

Zentralblatt MATH (2000): Browse MSC2000 - by section and classification. 13. August 2002 <http://www.zblmath.fiz-karlsruhe.de/MATH/msc/zbl/msc/2000/dir>.