

Eine kurze Geschichte der Ontologie

Von der Philosophie zur modernen Informatik

Frank J. Furrer

Wie alles begann

Um das Jahr 1950 begann das Zeitalter der elektronischen Datenverarbeitung (EDV). Elektronische Rechenanlagen hatten eine Zuverlässigkeit und Wirtschaftlichkeit erreicht, welche einen kommerziellen Einsatz rechtfertigten. Verschiedene Industrien begannen, ihre Verarbeitungsprozesse auf EDV umzustellen [18]. Diese EDV-Generation verarbeitete ausschließlich Daten in der Form von Zahlen oder Buchstaben in definierten Feldern von Datenstrukturen. Die Bedeutung der Datenfelder oder der enthaltenen Zahlen war für die Verarbeitungsprogramme nicht ersichtlich.

Viele Jahre später erfolgte die Transition von der Datenverarbeitung (EDV) zur Informationsverarbeitung und das neue Wissensgebiet „Informatik“ entstand. Das Kennzeichen dieses Zeitalters ist, dass nicht mehr die Daten im Fokus standen, sondern die Information in den Daten. Die Verarbeitungsprogramme wurden in die Lage versetzt, Verarbeitungsentscheide aufgrund der Information zu treffen. Die Grundlage dafür war eine geeignete Strukturierung der Daten, welche durch Metadaten (z. B. in XML formuliert) zu maschinenverarbeitbarer Information wurden. Ein typisches Beispiel ist die vor einigen Jahren eingeführte IBAN (International Bank Account Number): Diese enthält international standardisierte Ländercodes und Bankidentifikation sowie einen variablen Kontonummernbereich. Mittels der IBAN können Verarbeitungsprogramme länder- oder bankspezifische Verarbeitungen steuern. Systeme zur Informationsverarbeitung bilden heute die unverzichtbare Grundlage für viele Industrien und haben imposante Größen erreicht. So umfasst zum

Beispiel das Informationssystem eines globalen Finanzdienstleisters vier Rechnerknoten mit massiver Mainframe-Infrastruktur, 22.000 Server und 7600 Terabytes Datenspeicher [17].

Seit dem Beginn dieses Jahrhunderts findet eine weitere Transition statt: Von der Informationsverarbeitung zur Wissensverarbeitung [6]. Damit Maschinen (= Computer) Wissen erfassen und verarbeiten können, ist eine Formalisierung von spezifischen Wissensgebieten – meist als „Domains“ oder Domänen bezeichnet – notwendig. Die Konzepte, Begriffe, ihre Beziehungen und die Regeln der Domäne müssen in maschinenlesbarer Form definiert werden. Das Instrumentarium dazu sind Ontologien, wie sie im Folgenden beschrieben werden.

Für diese kurze Geschichte der Ontologie lässt sich die Entwicklung und Verwendung des Begriffes „Ontologie“ in drei Phasen einteilen. Die erste Phase beginnt im Altertum und der damalige Zweck der Ontologie war die Bereitstellung eines Grundgerüsts zur Formulierung von philosophischen Theorien. Ontologie war ein Ausdrucksmittel der allgemeinen Metaphysik. Im Zentrum standen die Grundstrukturen des Seienden, d. h. alles, was im Universum existiert oder denkbar ist [10, 16, 20, 23]. Daher hat auch das Wort Ontologie – gebildet aus den griechischen Worten *on* (seiend) und *logos* (Lehre) – seinen Stamm. Grosse Denker im Altertum, z. B. Empedokles, Porphyrius, Platon, und Aristoteles haben mit

DOI 10.1007/s00287-012-0642-3
© Springer-Verlag 2012

Frank J. Furrer
Guldifuess 3, 8260 Stein am Rhein, Schweiz
E-Mail: frank.j.furrer@bluewin.ch

Zusammenfassung

Ontologien haben einen weiten Weg vom philosophischen Konzept zu Instrumenten der modernen Informatik zurückgelegt. Ontologien bilden heute – und noch viel mehr in der Zukunft – Grundelemente von vernetzten, kooperativen Applikationen. Ontologien erlauben, Applikationen zu bauen, welche nicht nur die Struktur von Daten, sondern auch die Semantik (Bedeutung) von Information erfassen und verarbeiten können. Diese Fähigkeit eröffnet neue, weittragende Möglichkeiten für die Informatik, z. B. in der Form des Semantic Web oder A2A (Application-to-Application) Anwendungen. Dieser Beitrag zeichnet die Geschichte des kraftvollen Konzeptes „Ontologie“ von seiner ersten Beschreibung in Buchform im Jahre 1730 bis zu den heutigen und vorhersehbaren Anwendungen.

verschiedenen Denkansätzen versucht, alles Seiende über ihre Eigenschaften zu unterscheiden. Dabei wurde der Begriff Kategorie als Ordnungsschema eingeführt. Die philosophisch-ontologischen Diskussionen haben sich bis heute fortgesetzt und man trifft wieder auf sehr bekannte Namen, z. B. Quine, Kant, Hegel, Peirce, Husserl und Whitehead.

Die zweite Phase beginnt im 18. Jahrhundert mit dem ersten Lehrbuch, das sich mit „moderner“ Ontologie befasste und zum ersten Mal „Ontologie“ in einem Buchtitel verwendete. Es handelt sich um das Werk von Christiano Wolfio (1730 veröffentlicht, [26]): „Philosophia prima sive ontologia, methodo scientifica pertractata qua omnis cognitionis humane principia continentur“ (Abb. 1). Vom ersten Teil davon existiert eine lateinisch-deutsche Übersetzung: Christian Wolffs „Erste Philosophie oder Ontologie, nach wissenschaftlicher Methode behandelt, in der die Prinzipien der gesamten menschlichen Erkenntnis enthalten sind“ [8]. Der Zweck der „modernen“ Ontologie ist die Wissensrepräsentation, und eine Ontologie wird gemäss den Regeln einer wissenschaftlichen Methode gebildet. Das Wissen wird durch klar definierte Begriffe erfasst und die einzelnen Begriffe besitzen genügend Merkmale, um sie von allen anderen Begriffen in der Ontologie zu unterscheiden. Die Begriffe müssen widerspruchsfrei und in einem Ordnungsschema – z. B.

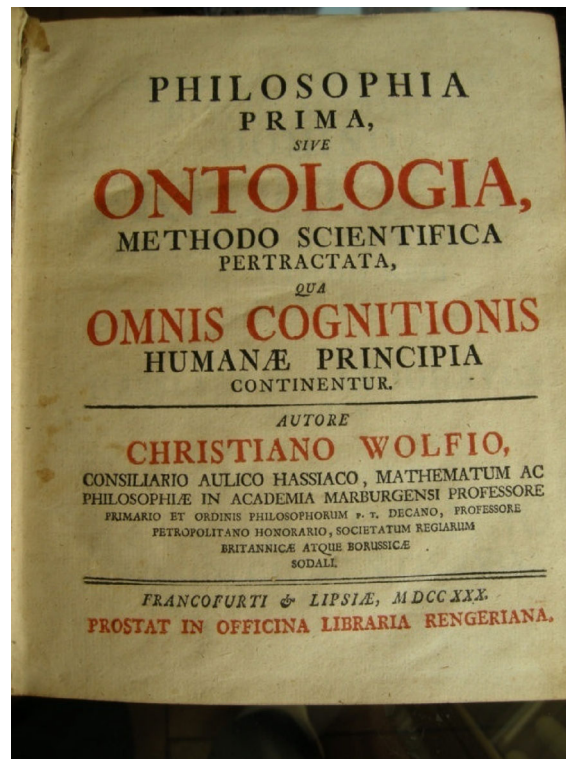


Abb. 1 Titelblatt der ersten Ausgabe „Christiano Wolfio: Ontologia“, 1730

einer Begriffshierarchie – verankert sein. Als schönes Beispiel für diese Phase werden die chemischen Atome angeführt: Jeder Typ von Atom unterscheidet sich eindeutig von jedem anderen durch seine Anzahl Protonen (= Ordnungszahl), Neutronen und Elektronen. Das Ordnungsschema ist das Periodensystem der Elemente (Mendelejew, 1869), die Kategorien sind die Gruppen, z. B. Alkalimetalle, Halogene, Edelgase. Historisch war das Periodensystem für die Vorhersage der Entdeckung neuer Elemente und deren Eigenschaften von besonderer Bedeutung.

Die dritte und heutige Phase ist gekennzeichnet durch die Entwicklung von Ontologien, die maschinell (d. h. durch Computerprogramme) bearbeitbar sind. Zweck ist immer noch die Wissensrepräsentation, allerdings mit zusätzlichen Verarbeitungsmöglichkeiten, z. B. logische Schlussfolgerungen, Beweisführungen, Konsistenzprüfungen. Voraussetzung dafür sind eine gefestigte logische Basis und formale Beschreibungssprachen [3–6, 12, 24]. Die Verbindung zwischen Logik und Ontologie war bereits in der ersten Phase

Abstract

Ontologies have gone a long way from a philosophical concept to important tools for modern information technology. Today, and more so in the future, ontologies are one of the foundations for networked, cooperative applications. Ontologies enable applications not only to process data, but to capture and process the semantics (= meaning) of information. This capability opens new, far-reaching avenues for building new applications, such as the semantic web functionality or A2A (application-to-application) business systems. This paper describes the history of the strong concept „ontology“ from its first appearance in book form in 1730 to today's usage.

(Altertum) sehr ausgeprägt [23]. Erst in der dritten, heutigen Phase hat man sich aber Fragen über das richtige Logiksystem für moderne Ontologien gestellt: Eine der Grundfragen ist die Balance zwischen Expressivität und Entscheidbarkeit eines logischen Systems. Ein logisches System mit einer hohen Expressivität erlaubt die logische Formulierung sehr komplexer Zusammenhänge, ist aber in der Regel nicht „entscheidbar“, d. h. es gibt Sätze, die nicht bewiesen werden können oder eine unendliche Rechenzeit benötigen. Ein logisches System zu entwickeln, welches beweisbar entscheidbar ist und trotzdem genügend Expressivität für nützliche Ontologien in der Informatik bereitstellt, war ein schwieriges Unterfangen. Heute steht dieses logische System in der Form der „Description Logic“ [5] zur Verfügung und bildet die Grundlage für viele formale Ontologiesprachen. Beispiele für formale Ontologien sind die unten aufgeführten Ontologien aus verschiedenen Fachgebieten, z. B. Medizin, Finanzwesen, Gentechnologie.

Der Bedeutung des Begriffes „Ontologie“ ist während der drei Phasen kontextabhängig geworden: Er hat eine verschiedene Definition, je nach dem Kontext Philosophie, Naturwissenschaft oder Informatik. In den letzten 20 Jahren ist eine reiche Literatur über Ontologien in der Informatik entstanden [20], das Gebiet ist aber immer noch sehr stark im Fluss und liefert immer wieder neue, interessante Resultate und Anwendungen.

Was genau ist eine Ontologie in der Informatik?

Für Ontologien in der Informatik existiert eine größere Anzahl von mehr oder weniger brauchbaren Definitionen [24]. Diese sollen hier nicht dargestellt und kommentiert werden. In Anlehnung an John Sowa [23] erscheint die folgende Definition nützlich: „In der Informatik ist eine Ontologie eine formale Beschreibung des Wissens in einer Domäne in der Form von Konzepten der Domäne, deren Beziehungen untereinander und der Eigenschaften dieser Konzepte und Beziehungen, sowie der in der Domäne gültigen Axiome und Prinzipien“.

Diese Definition soll an einem nichttrivialen Beispiel dargestellt werden. Als erster Begriff in der Definition muss die Domäne erklärt werden: Eine Domäne ist ein genau umrissener Ausschnitt aus einer „Welt“. Die Domäne wird aus dem Anwendungsgebiet bestimmt. In unserem Beispiel ist die „Welt“ die Menge aller Modelle aller Personenwagenhersteller. Als Domäne wählen wir ein spezifisches Modell, nämlich den Aston Martin Virage (1988–1995, Abb. 2). Die Konzepte in dieser Domäne sind sämtliche Bestandteile, aus welchen der Aston Martin (AM) Virage zusammengebaut ist. Diese Domäne enthält nur materielle Konzepte, viele Domänen enthalten aber auch immaterielle Konzepte.

Die Konzepte sind in diesem Falle sämtliche Teile und Optionsteile aller je gebauten Virage Series 1 (1988 bis 1995). Jedes Konzept entspricht einem mechanischen oder elektrischen Teil im Fahrzeug. Die Teile sind im Detail definiert und spezifiziert, so z. B. alle Schrauben in DIN-Normen. Bemerkung: Aufgrund der Verständlichkeit verzichtet der Autor an dieser Stelle auf die Unterscheidung von „Konzept“ (Schraube) und „Instanz“ (spezifisches Teil M6x16 #10 in Abb. 3). Sämtliche Teile (Instanzen) sind in einer Liste enthalten, nämlich im Virage Parts Manual, siehe Ausschnitt „Lenksäule“ in Abb. 3. Hier muss angemerkt werden, dass die Modellierung von Konzept/Subkonzept/Instanz und ihrer Beziehungen eine der großen Herausforderungen beim Erstellen einer Ontologie ist, vgl. Abb. 4 und [2, 19].

Jedes Teil ist eindeutig mit einer Teilenummer (Part Number) identifiziert. Die Teile sind durch ihre Eigenschaften charakterisiert, z. B. wie in Tab. 1.

Die nächste Information in einer Ontologie sind die Beziehungen zwischen den Konzepten. Im Beispiel sind dies topologische Beziehungen zwischen



Abb. 2 Aston Martin Virage Series 1 (1991) als Ontologie-Domäne



4.3A Suspension and Steering Steering Column

Item	Pt Number	Description	Qty	Remarks
1	25-20371	Steering column	1	
2	25-55229	Steering column lower assembly	1	
3	25-51824	Gaiter, steering column	1	
4	25-51828	Bush, steering gaiter	2	
5	25-51831	Spring, steering gaiter	2	
6	25-52117	Mounting bracket, lower column	1	
7	25-20191	Bearing, lower steering column. I.D.25.45/25.50mm	1	
-	25-21125	Bearing, lower steering column. I.D.25.50/25.53mm	1	Code: Red Alternatives
-	25-21126	Bearing, lower steering column. I.D.25.55/25.58mm	1	Code: Green " " " "
-	25-21127	Bearing, lower steering column. I.D.25.60/25.63mm	1	Code: Blue " " " "
8	25-52122	Angle bracket, RH	1	
9	25-52123	Angle bracket, LH	1	
10	692088	Screw, M6 x 16	4	Angle brkts & lwr shroud to mtg brkt
11	692046	Washer, spring, M6	4	" " " " " " " "
11A	692056	Washer, plain, M6	4	" " " " " " " "
12	25-54458	Washer, special. (RHD manual gearbox cars only)	3	" " " " " " " "
13	692089	Screw, M8 x 16	4	Angle bracket to crossmember

Abb. 3 Aston Martin Virage Series 1 Parts Manual (© Aston Martin Lagonda Ltd., UK)

den Teilen des Fahrzeuges, d. h. welches Teil ist wo und wie montiert. Die Beziehungen sind als „Explosionszeichnungen“ (Abb. 4) im Virage Parts Manual in grafischer Form dokumentiert. Die Explosionszeichnungen zeigen jedes Teil mit seiner genauen Lage und seiner Einbauvorschrift. Wie die Konzepte haben auch die Beziehungen spezifische Eigenschaf-

ten, welche in unserem Beispiel in Tab. 2 gelistet sind.

Als letztes Element der Definition einer Ontologie fehlen noch die Axiome und die Prinzipien der Domäne. Diese sind für die AM Virage Domäne: (a) Es dürfen ausschließlich nur AM-Teile verbaut werden, (b) Nur AM-zertifizierte Mechani-

Eigenschaften von Part Number 692088		
Eigenschaften Part Number 692088: Screw M6x16 (Auszug), [Item #10 in Abb. 3]		
Bauform	M6x16, Kopf Sechskant	
Material	Rostfreier Stahl	
Verwendung	LHD, RHD	Links- und Rechtssteuerung
Einschränkungen	Chassis # 50001 bis #50388	Ab #50389 siehe Pt. Nr. 733997
etc.		

Tabelle 1

Eigenschaften der Beziehung von Part Number 692088		
Eigenschaften der Beziehung von Part Number 692088, Screw Nr. 10 in Abb. 4 (Auszug)		
Verbindet (fixiert)	Part Number 25-54704 (Shroud, lower steering column) mit Nr. 50 in Abb. 4 mit Part Number 25-52117 (Mounting bracket, lower column), Nr. 6 in Abb. 4	
Zusatz	Benötigt Part Number 692046 (Washer, spring, M6) Nr. 11 in Abb. 4 und Part Number 25-54458 (Washer, special) Nr. 12 in Abb. 4	Part Number 25-54458 (Washer, special) for RHD manual gearbox cars only
Anzugsmoment	Min 12 Nm, Soll 15 Nm, Max 17 Nm	
Verwendung	LHD, RHD	Links-, Rechtssteuerung
Behandlung	Vor dem Einsetzen Gewinde mit Molybdämfett einfetten	
etc.		

Tabelle 2

ker dürfen in der Domäne arbeiten, (c) Die von AM vorgeschriebenen Wartungsintervalle sind strikt einzuhalten etc.

Der wichtige Schritt beim Übergang von der Informationsverarbeitung zur Wissensverarbeitung ist die Einführung der formalen Semantik [22], d. h. der maschinenlesbaren Formulierung der Bedeutung der Konzepte und ihrer Beziehungen. Dank einer vereinbarten formalen Semantik können kooperierende Computer die Bedeutung von Konzepten und ihren Beziehungen erfassen und diese verarbeiten. Ein Computer kann das Teil „Part Number 692088: Screw M6x16“ aus Abb. 3 mit all seinen Eigenschaften erfassen. Dies erlaubt ihm z. B. Part Number 692088 aus der AM Virage-Ontologie mit den Angeboten in einem Katalog (auch eine Ontologie) eines Schraubenlieferanten exakt zu vergleichen, die Tauglichkeit zu entscheiden und ggf. eine automatische Bestellung auszulösen.

Wie kann man Ontologien verwenden?

Die beschriebene AM Virage-Ontologie enthält die gesamte statische, strukturelle Information über die Fahrzeugfamilie Aston Martin Virage Series 1

(gebaut von 1988 bis 1995). Diese Ontologie erlaubt prinzipiell den Bau und die Reparatur aller AM Virages. Sie ermöglicht auch eine Lagerhaltung und Lagerbewirtschaftung der Ersatzteile. Dank dieser Ontologie verfügen Werkstätten und Mechaniker über das gesamte Wissen über den Aufbau aller je gebauten Fahrzeuge der Aston Martin Virage Series 1. Diese beispielhafte AM Virage Ontologie ist für geschulte Mechaniker vollständig und einfach verständlich. Sie hat jedoch einen riesigen Nachteil, wenn man sie von der Informatik aus betrachtet: Die Ontologie ist nicht maschinenlesbar und deswegen kann sie auch nicht von Programmen benutzt werden!

Die nächste Forderung an eine Ontologie ist deshalb ihre Formalisierung, d. h. ihre Darstellung in einer standardisierten, maschinenlesbaren und maschinenverarbeitbaren Form. Das Werkzeug dazu sind Ontologiesprachen [1, 3, 24], eingebettet in eine IT-Struktur für die Wissensverarbeitung, wie in Abb. 5 dargestellt.

Das abstrahierte Wissen der Domäne wird durch die Domänen-Experten mittels eines Ontologie-Editors (z. B. [27]) und einer Ontologiesprache

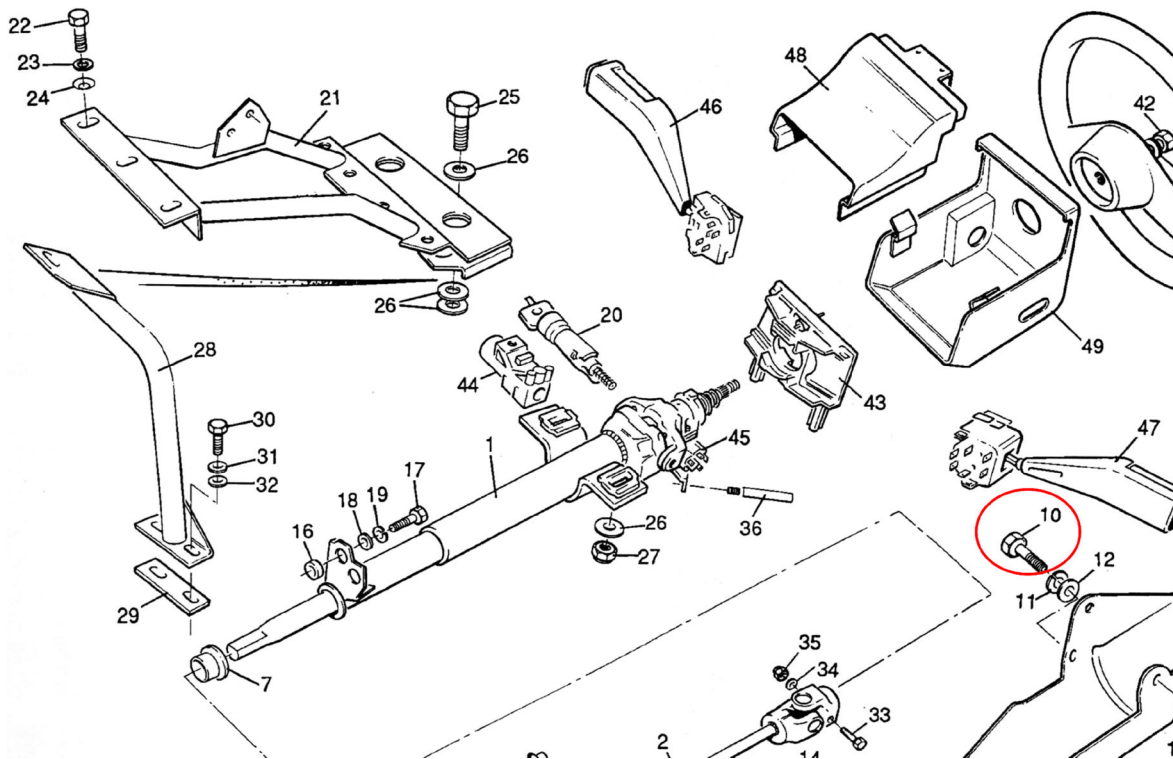


Abb. 4 Aston Martin Virage Series 1 Parts Manual (© Aston Martin Lagonda Ltd., UK)

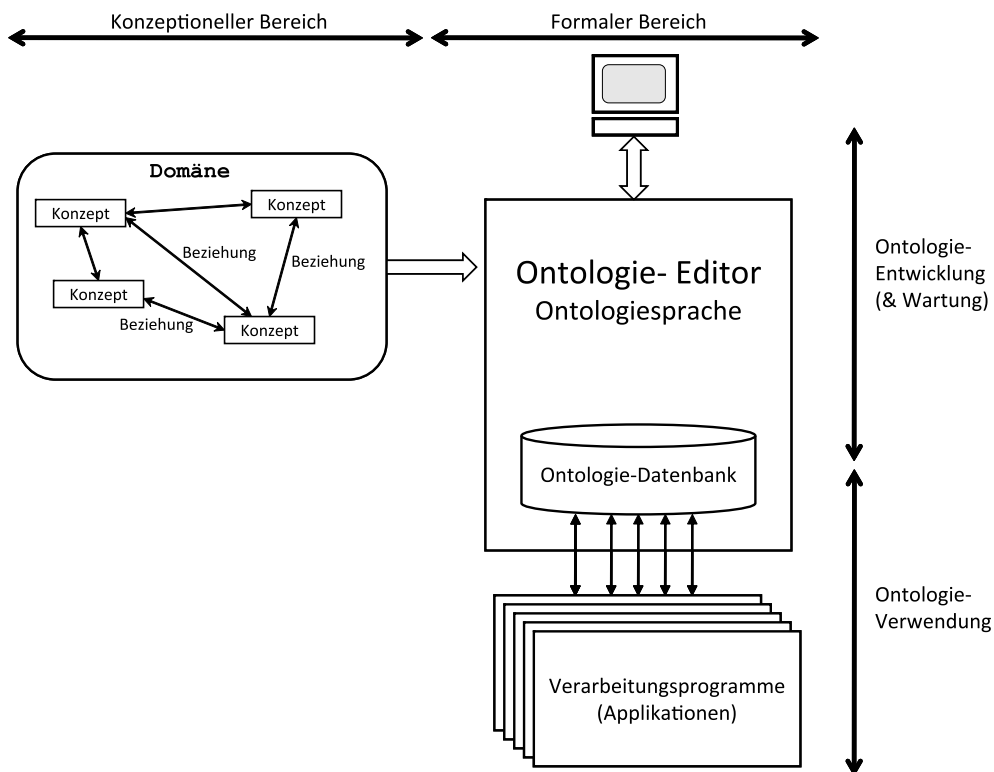


Abb. 5 IT-Struktur für die Wissensverarbeitung

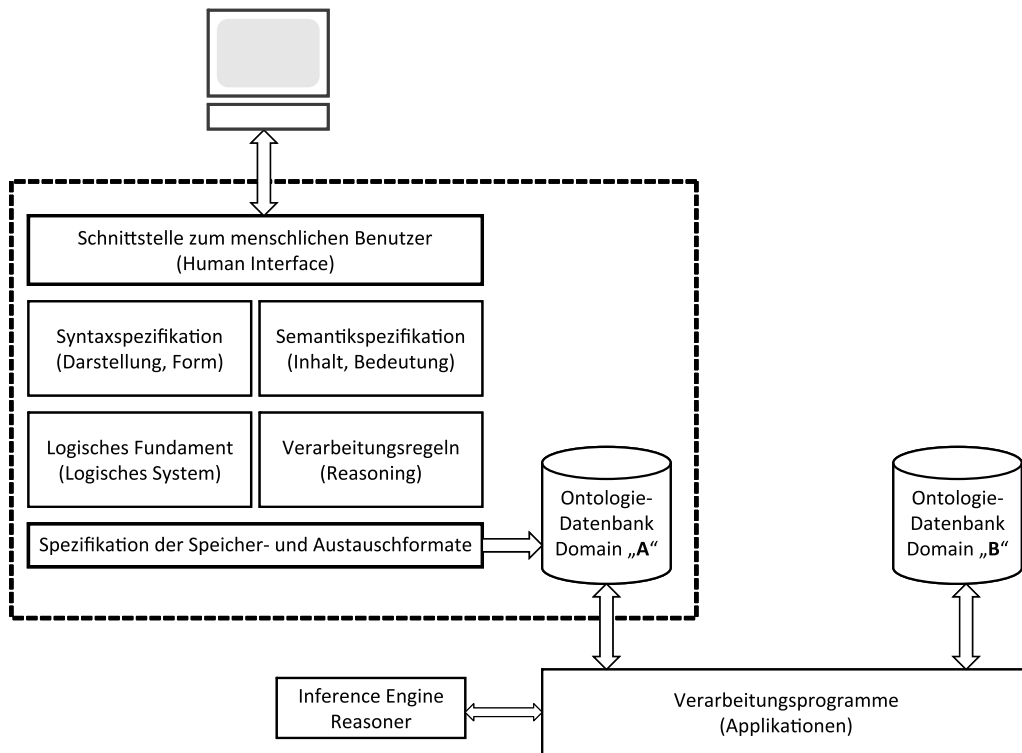


Abb. 6 Elemente einer Ontologiesprache

erfasst und damit entsteht die formale, maschinenlesbare Ontologie. Die Ontologie kann von den verschiedenen Anwendungsprogrammen gelesen und verwendet werden. Das wichtige Instrument hier ist die Ontologiesprache: Eine Ontologiesprache ist ein exakter Formalismus zur maschinenlesbaren Repräsentation von Wissen und zeichnet sich durch eine eindeutige Spezifikation von Syntax und Semantik aus. Die Elemente einer Ontologiesprache sind in Abb. 6 dargestellt. Das Fundament einer Ontologiesprache wird durch ein Logiksystem [15] gebildet. Das Logiksystem umfasst Variablen und Operatoren und ermöglicht die Formulierung und den Beweis von Formeln und Sätzen. Ein einfaches und sehr bekanntes Logiksystem ist die Boole'sche Logik: Hier sind die Variablen binär (haben die Werte „0“ und „1“ oder „falsch“ und „wahr“). Die Operatoren sind NEGATION, UND, ODER. Damit lassen sich beliebig komplexe Gleichungssysteme aufbauen – in der Tat ist jeder digitale Computer durch einen Satz von Boole'schen Gleichungen vollständig beschreibbar.

Die ersten Ontologiesprachen entstanden aus der Forschung über künstliche Intelligenz. Später

wurden sie durch die Anforderungen der Informatik weiterentwickelt und heute existiert eine Vielzahl von Ontologiesprachen. Hier soll die „Web Ontology Language“ OWL eingeführt werden (die Buchstabenumstellung von WOL zu OWL ist gewollt und wurde von Tim Finin eingeführt, um diese Ontologiesprache mit der Weisheit einer Eule zu assoziieren). OWL bildet die vereinheitlichende Grundlage für das semantische Web [14, 19] und spezifiziert eine strikte Syntax (Form) und Semantik (Bedeutung).

OWL hat zwei Ausprägungen, die sich durch ihre Ausdruckskraft unterscheiden [12]: OWL Full und OWL DL. OWL DL ist eine syntaktisch reduzierte Version von OWL Full, welche dank den Einschränkungen entscheidbar ist. Entscheidbarkeit bedeutet, dass alle in OWL DL formulierten Sätze maschinell geprüft und mit „wahr“ oder „falsch“ entschieden werden können. Dies ist ein derart wichtiger Vorteil, dass meist OWL DL verwendet wird. Das logische Fundament von OWL DL ist die Description Logic (DL) [5]. Ein Benutzer der Ontologie muss sich nicht um die Details der Description Logic kümmern, die erlaubten Konstrukte sind direkt in der Onto-

logiesprache verfügbar und im Ontologie-Editor eingebaut.

Dank dem unterliegenden Logiksystem werden zwei sehr wichtige Funktionen möglich: Die automatische Prüfung einer Ontologie auf Konsistenz und Vollständigkeit (meist im Ontologie-Editor eingebaut) und logisches Schließen (Reasoning, [13]). Beim logischen Schließen wird aus dem explizit in der Ontologie formulierten Wissen mittels klar definierter Regeln neues Wissen, d. h. das implizite Wissen, gefunden. Das dabei verwendete logische Muster ist häufig: Prämissen \Rightarrow Logikregeln \Rightarrow Schlussfolgerung. Ein nichttriviales Beispiel (vollständig dokumentiert in [28]) ist:

Prämissen:

- Katzenbesitzer haben Katzen als Haustiere [← Aussage in der Ontologie]
- „hat Haustier“ ist eine subproperty von „gerne haben“ [← Aussage in der Ontologie]

Konklusion (Schlussfolgerung):

- Katzenbesitzer haben ihre Katzen gerne

Als Nächstes folgt eine kurze Beschreibung der Web Ontology Language OWL. Als beispielhafte Grundlage dient wieder die obige Virage-Ontologie, diesmal in ontologiegeeigneter Form dargestellt (Abb. 7). Dabei erkennt man drei Abstraktionsebenen: Die Ebene der Wissensrepräsentation, die Ebene der Konzept- und Beziehungsdefinitionen und die Ebene der Implementation (Instanzen). Die höchste Ebene (Wissensrepräsentation) spezifiziert die erlaubten Modellierungselemente, in unserem Falle also den Sprachumfang von OWL DL, schön zusammengefasst in [4]. Diese Ebene bietet uns den „Werkzeugkasten“ für die formale Modellierung unserer Domäne als Ontologie. Auf der Konzept- und Beziehungsdefinitionsebene werden die Konzepte, Beziehungen und Eigenschaften in der Domäne definiert. Schließlich zeigt die (unterste) Instanzenebene die tatsächliche Implementation, nämlich die realen Objekte und ihre tatsächlichen Beziehungen untereinander.

Eine Ontologie in OWL besteht aus einer Liste von OWL-Ausdrücken (= OWL expressions), wie z. B. (vgl. mit Abb. 7):

```
<owl:Class rdf:ID="Car"/>
<owl:Class rdf:ID="Body">
  <rdfs:subClassOf rdf:resource="Car"/>
</owl:Class>
```

```
<owl:Class rdf:ID="Chassis">
  <rdfs:subClassOf rdf:resource="Car"/>
</owl:Class>
<owl:Class rdf:ID="PowerTrain">
  <rdfs:subClassOf rdf:resource="Car"/>
</owl:Class>
```

Der Formalismus ist für menschliche Betrachter knapp verständlich (man gewöhnt sich daran). Allerdings ist der Zweck einer Ontologie die maschinelle Verarbeitung, deshalb benötigt er den scheinbar syntaktisch aufwändigen Formalismus.

Anwendungsbeispiele für Ontologien

In den letzten Jahren sind eine Anzahl von wertvollen Ontologien geschaffen worden. Aus Platzgründen werden diese hier nicht beschrieben, sondern nur Ausgewählte davon mit ihrer Referenz gelistet.

Finanzontologien. In der Finanzwirtschaft (Banken, Versicherungen, Börsenplätze, ...) hat die Automatisierung früh begonnen und ist weit fortgeschritten [17, 18]. Damit Transaktionen zwischen Partnern vollautomatisch, fehlerarm und schnell durchgeführt werden können, ist eine fehlerfreie Verständigung notwendig. Diese beruht heute weitgehend auf Finanzontologien (z. B.: [29]). Ein typisches Anwendungsgebiet ist der Hochfrequenzhandel mit Finanzinstrumenten, bei dem ausschliesslich Computer mit ihren spezialisierten Algorithmen die Partner bilden [30].

Unternehmensontologie. Um ein Unternehmen flexibel und agil zu gestalten, muss seine Struktur genau bekannt sein. Dies ist die Aufgabe der Unternehmensarchitektur, welche heute als wichtiges Unterstützungsinstrument eine Unternehmensontologie [7] verwendet. Die Unternehmensontologie bildet ein Modell des Unternehmens und formalisiert das Wissen über dessen Struktur, Prozesse, Produkte etc.

Juristische Ontologien. Die Gesetze und Verordnungen definieren Konzepte, z. B. Straftatbestände, Prozessordnungen etc. Anwälte und Richter müssen diese Konzepte klar verstehen und präsent haben. Bei internationalem Recht kommt erschwerend hinzu, dass verschiedene Jurisdiktionen unterschiedliche Auslegungen haben. Es wurde daher

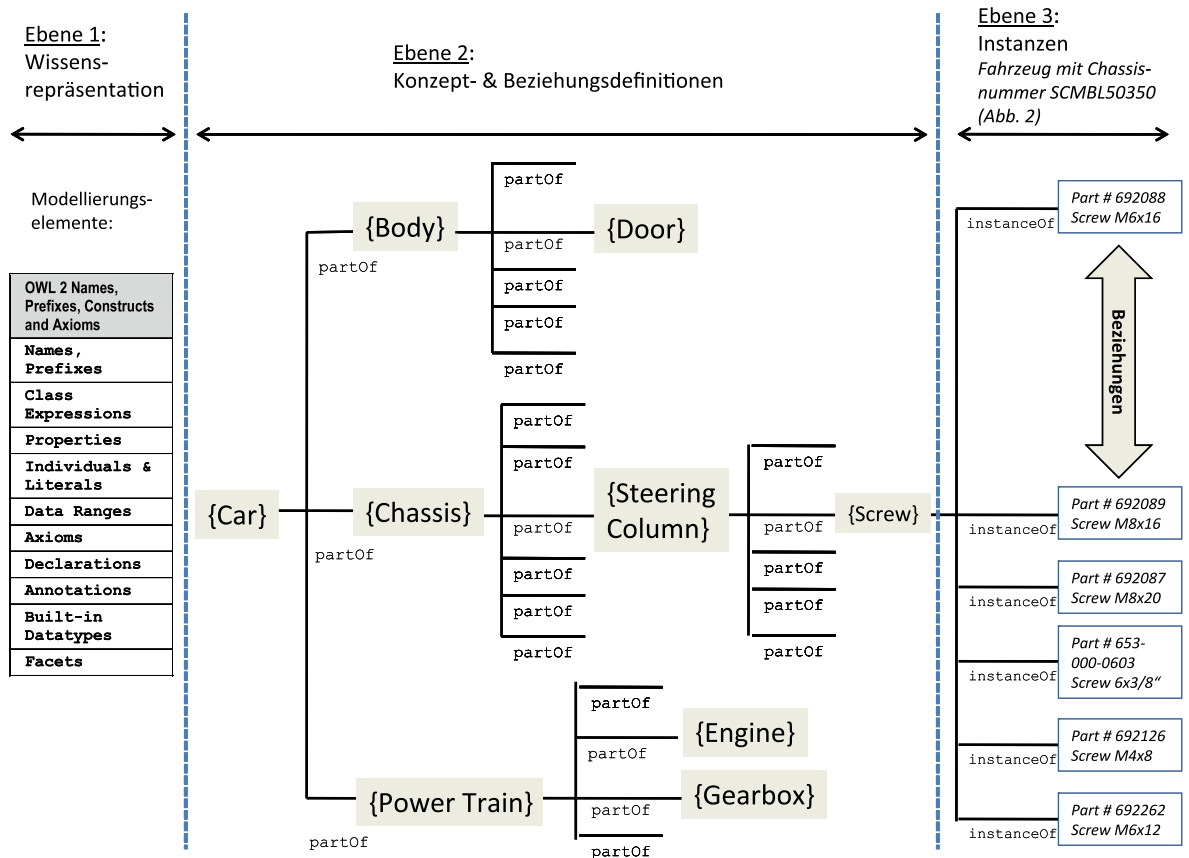


Abb. 7 Gerüst für die AM Virage-Ontologie

schon früh versucht, das juristische Wissen zu formalisieren, und daraus sind mehrere Juristische Ontologien und Anwendungen entstanden [31].

Ontologien für Semantische Web-Services. Semantische Web-Services werden in der Zukunft das Rückgrat der elektronischen Geschäftstätigkeiten über das Internet bilden. Semantische Web-Services müssen durch Benutzer – häufig in der Form von Agenten – verwendbar sein, ohne dass vorherige Absprachen möglich sind. Dies verlangt nach einer klaren Definition, sowohl der inhaltlichen Funktionalität der Web-Services, wie auch derer Nutzungsbedingungen. Das geeignete Instrument dazu ist eine gemeinsam akzeptierte Grundontologie, z. B. [32]. Semantische Interoperabilität ist eine Grundvoraussetzung für die Kooperation von Applikationen in verschiedenen Unternehmen [21]. Dies erfordert die Festlegung der Semantik in Businessdomänen, wie z. B. dem Handel, der Logistik oder im Gesundheitswesen.

Medizinische Ontologien. Die Medizin verfügt heute über einen riesigen Schatz von wissenschaftlichem und empirischem Wissen über Krankheiten, Symptome, Behandlung, Wirkstoffe, Nebenwirkungen etc. Arbeiten zur formalen Erfassung dieses Wissens haben vor Jahrzehnten begonnen, und seit einigen Jahren werden hierzu auch Ontologien eingesetzt, z. B. [33]. Medizinische Ontologien ermöglichen den Bau von medizinischen Expertensystemen, welche den Arzt interaktiv bei Symptomerkennung, Diagnose, Therapien und Beurteilung des Krankheitsverlaufes unterstützen, z. B. [34].

Geninformationsontologien. In der heutigen Gentechnikforschung geht viel Zeit verloren, weil die Terminologie sehr vielfältig und uneinheitlich ist. Forscher finden Information nicht oder duplizieren Forschungsarbeiten. Diese Geninformationsontologie [35] ist eine kollaborative Arbeit und versucht, weltweit die Terminologie in diesem Gebiet zu standardisieren.

Die Zukunft: Knowledge Engineering

Der Einzug der automatischen Wissensverarbeitung in die Informatik generiert neue Tätigkeitsfelder und neue Berufsgruppen. Das Tätigkeitsfeld heisst „Knowledge Engineering“. Die neuen Berufsgruppen haben die Aufgabe, die Wissensrepräsentation, die entsprechenden Ontologien, die notwendigen Entwicklungstools und die Anwendungen zu entwickeln und bereit zu stellen.

Die Domänen-Experten sind Fachleute aus der Domäne, also z. B. Ärzte, Logistiker, Chemiker, Business-Analysten, Finanzfachleute usw.: Ihre Aufgabe ist, die Konzepte und Instanzen der Domäne und deren Beziehungen und Eigenschaften präzise zu definieren (= konzeptioneller Bereich in Abb. 5). Sobald die vollständige Liste der Konzepte vorliegt, tritt der Ontologie-Engineer [9] auf: Seine Verantwortung besteht darin, das konzeptionelle Wissen der Domäne in eine geeignete Ontologie zu formalisieren [2] und diese den Anwendungen zur Verfügung zu stellen (= formaler Bereich in Abb. 5). Als Nächstes braucht es den Innovator, der marktfähige Ideen für neuartige, semantische Geschäftsanwendungen entwickelt und die Software-Entwickler welche die dazu notwendigen Applikationen bauen. Schließlich braucht es noch die Gruppe der Werkzeug-Entwickler: Diese stellen die Entwicklungswerkzeuge, wie z. B. Ontologie-Editoren oder Reasoner, bereit.

Ontologien und semantische Applikationen sind keine statischen Artefakte, sondern entwickeln sich wie jede Software weiter. Diese Entwicklung, häufig als Life-Cycle-Management bezeichnet, benötigt einen klar definierten Prozess [9].

Die automatische Wissensverarbeitung – implementiert über Knowledge Engineering – wird den nächsten, weitreichenden Entwicklungsschritt in der weltweiten Geschäfts- und Bildungslandschaft ermöglichen: Ansätze davon sind bereits sichtbar. In der belletristischen Literatur werden zum Teil visionäre, aber auch abschreckende Szenarien beschrieben, welche Macht und Auswirkungen semantisch intelligente Programme haben könnten [11, 25].

Literatur

1. Akerkar R (2009) Foundations of the Semantic Web – XML, RDF & Ontology. Alpha Science International Ltd, Oxford, ISBN 978-1-842265-535-1
2. Allemang D, Hendler J (2011) Semantic Web for the Working Ontologist – Effective Modeling in RDFS and OWL, 2. Aufl. Morgan Kaufmann Publisher (Elsevier), MA, ISBN 978-0-12-385965-5
3. Antoniou G, Van Harmelen F (2004) A Semantic Web Primer. MIT Press, Cambridge MA, ISBN 978-0-262-01210-3
4. Bao J, Kendall EF, McGuinness DL, Patel-Schneider PF (2009) OWL Web Ontology Language Quick Reference Guide. <http://www.w3.org/2007/OWL/refcardA4>, letzter Zugriff 22.8.2012
5. Baader F, Calvanese D, McGuinness DL, Nardi D, Patel-Schneider PF (2010) The Description Logic Handbook – Theory, Implementation and Applications, 2. Aufl. Cambridge University Press, Cambridge, ISBN 978-0-521-15011-8
6. Berners-Lee T (2000) Weaving the Web – The Past, Present and Future of the World Wide Web by its Inventor. Texere Publishing Ltd., London, ISBN 978-1-58799-018-0
7. Dietz J (2006) Enterprise Ontology – Theory and Methodology. Springer, Berlin, Heidelberg, ISBN 978-3-540-29169-5
8. Effertz D (2005) Übersetzer und Herausgeber auf Grundlage der 2. Auflage, 1736). Enthält die §§ 1–78 von 967: Christian Wolff's Erste Philosophie oder Ontologie, nach wissenschaftlicher Methode behandelt, in der die Prinzipien der gesamten menschlichen Erkenntnis enthalten sind. Felix Meiner, Hamburg, ISBN 978-3-7873-1720-1
9. Gómez-Pérez A, Fernández-López M, Corcho O (2004) Ontological Engineering – with Examples from the Areas of Knowledge Management, e-Commerce and the Semantic Web. Springer, London, ISBN 978-1-85233-551-3
10. Grossmann R (2004) Die Existenz der Welt – Eine Einführung in die Ontologie, 2. Aufl. Ontos Verlag, Heusenstamm b. Frankfurt, ISBN 978-3-937202-38-2
11. Harris R (2011) The Fear Index. Hutchinson (Random House), London, ISBN 978-0-09-193697-6
12. Hitzler P, Krötsch M, Rudolph S, Sure Y (2008) Semantic Web – Grundlagen. Springer, Berlin, Heidelberg, ISBN 978-3-540-33993-9
13. Hitzler P, Krötsch M, Parsia B, Patel-Schneider PF, Rudolph S (2009) OWL Web Ontology Language Primer, 27.10.2009. Online verfügbar unter: <http://www.w3.org/TR/owl-primer>, letzter Zugriff 22.8.2012
14. Hitzler P, Krötsch M, Rudolph S (2010) Foundations of Semantic Web Technologies. CRC Press, Chapman & Hall, Boca Raton, ISBN 978-1-4200-9050-5
15. Kreuzer M, Kühling S (2006) Logik für Informatiker. Pearson Education Deutschland GmbH, München, ISBN 978-3-8273-7215-4
16. Meixner U (2011) Einführung in die Ontologie, 2. Aufl. Wissenschaftliche Buchgesellschaft, Darmstadt, ISBN 978-3-534-24306-8
17. Murer S, Bonati B, Furrer FJ (2011) Managed Evolution – a Strategy for Very Large Information Systems. Springer, Heidelberg, ISBN 978-3-642-01632-5
18. Neukom H (2004) Early Use of Computers in Swiss Banks. IEEE Annals Hist Comp, July–September 2004. Online (kostenpflichtig) verfügbar unter: <http://www.computer.org/portal/web/store?action=addItem&doi=10.1109/MAHC.2004.7>, letzter Zugriff 22.8.2012
19. Lacy LW (2005) OWL – Representing Information Using the Web Ontology Language. Trafford Publishing, Victoria BC, ISBN 978-1-4120-3448-5
20. Øhrstrøm P, Andersen J, Schärfe H (2005) What has Happened to Ontology? Proc 13th Int Conf Conceptual Structures, Springer, Berlin, (LNAI 3596). ISBN 978-3-540-27783-8, pp 425–438
21. Pollock JT, Hodgson R (2004) Adaptive Information – Improving Business through Semantic Interoperability, Grid Computing, and Enterprise Integration. John Wiley & Sons, N.J., ISBN 978-0-471-48854-2
22. Portner PH (2005) What is Meaning – Fundamentals of Formal Semantics. Blackwell Publishing, MA, ISBN 978-1-4051-0917-8
23. Sowa JF (2000) Knowledge Representation – Logical, Philosophical, and Computational Foundations. Brooks/Cole Publishing, Pacific Grove/CA, ISBN 978-0-534-94965-7
24. Stuckenschmid H (2009) Ontologie. Springer, Dordrecht, ISBN 978-1-540-79330-4
25. Suarez D (2009) Daemon. Penguin Books Ltd, London, ISBN 978-0-451-22873-4
26. Wolfio C (1730) Philosophia prima sive ontologia, methodo scientifica pertractata qua omnis cognitionis humane principia continentur. Officina Libraria Rengeriana, Francofurti et Lipsiae, Originalauflage MDCCXXX
27. <http://protege.stanford.edu>, letzter Zugriff 22.8.2012
28. <http://owl.man.ac.uk/2003/why/latest>, letzter Zugriff 22.8.2012
29. <http://dip.semanticweb.org/>, letzter Zugriff 22.8.2012
30. <http://de.wikipedia.org/wiki/Hochfrequenz-Handel>, letzter Zugriff 22.8.2012
31. www.springer.com/law/book/978-94-007-0119-9, letzter Zugriff 22.8.2012
32. http://de.wikipedia.org/wiki/Web_Service_Modeling_Ontology, letzter Zugriff 22.8.2012
33. <https://cabig.nci.nih.gov/community/concepts/EVS>, letzter Zugriff 22.8.2012
34. http://www.icseict.info/theory/7_2/expert/index.html, letzter Zugriff 22.8.2012
35. <http://www.geneontology.org>, letzter Zugriff 22.8.2012