

Wissensentdeckung und Lernen

# Terminologische Logiken und Ontologien

Martin Heinzerling

14. Mai 2008

## **Zusammenfassung**

Diese Arbeit entstand im Rahmen der Lehrveranstaltung „Wissensentdeckung und Lernen“ der Fakultät Informatik der Technischen Universität Dresden. Die folgende Aufgabenstellung lag dabei bei der Erarbeitung und Schwerpunktsetzung zu Grunde: Terminologische Logiken und Ontologien sind Konzepte der Wissensrepräsentation. Mit ihnen können komplexe Sachverhalte der Realwelt modelliert und verarbeitet werden. Die Praktikumsaufgabe besteht darin, einen Überblick über die beiden Konzepte (Terminologische Logiken und Ontologien) zu geben und diese voneinander abzugrenzen. Es sind aktuelle Entwicklungen und Anwendungsbeispiele anzugeben. Dies schließt einen Überblick über die aktuelle Literatur zur Thematik mit ein.

This work was developed in the context of the lesson „Wissensentdeckung und Lernen“ of the faculty of computer science of the Technische Universität Dresden. The following tasks were given: Terminological logics and ontologies are concepts of knowledge representation. With them complex circumstances of the real world could be modelled and processed. The task consists of giving an overview of the two concepts. Current developments and sample applications are to be indicated. This includes an overview over the literature to the topic also.

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einführung</b>	<b>1</b>
1.1	Aufgabenstellung . . . . .	1
1.2	Einordnung . . . . .	1
<b>2</b>	<b>Terminologische Logiken</b>	<b>2</b>
2.1	Definition . . . . .	2
2.2	CLASSIC . . . . .	2
2.3	Standardnotation . . . . .	3
2.4	Inferenzalgorithmen . . . . .	4
2.4.1	Subsumtion . . . . .	4
2.4.2	Instanzklassifikation . . . . .	5
2.5	Komplexität und Entscheidbarkeit . . . . .	5
<b>3</b>	<b>Ontologien</b>	<b>7</b>
3.1	Definition . . . . .	7
3.2	Typen von Ontologien . . . . .	7
3.3	Aufbau einer Ontologie . . . . .	7
3.4	Das semantische Web . . . . .	8
3.4.1	Beschreibungssprache OWL . . . . .	8
3.4.2	GoPubMed . . . . .	10
<b>4</b>	<b>Zusammenfassung</b>	<b>11</b>
<b>A</b>	<b>Anhang</b>	<b>12</b>

# 1 Einführung

## 1.1 Aufgabenstellung

Diese Arbeit entstand im Rahmen der Lehrveranstaltung „Wissensentdeckung und Lernen“ der Fakultät Informatik der Technischen Universität Dresden. Die folgende Aufgabenstellung lag dabei bei der Erarbeitung und Schwerpunktsetzung zu Grunde.

**Aufgabenstellung:** Terminologische Logiken und Ontologien sind Konzepte der Wissensrepräsentation. Mit ihnen können komplexe Sachverhalte der Realwelt modelliert und verarbeitet werden. Die Praktikumsaufgabe besteht darin, einen Überblick über die beiden Konzepte (Terminologische Logiken und Ontologien) zu geben und diese voneinander abzugrenzen. Es sind aktuelle Entwicklungen und Anwendungsbeispiele anzugeben. Dies schließt einen Überblick über die aktuelle Literatur zur Thematik mit ein.

## 1.2 Einordnung

Terminologische Logiken und Ontologien sind neben Taxonomien, Katalogen, Klassifikation und Thesauri Techniken der *Wissensrepräsentation*.<sup>1</sup> In Görz und Rollinger (2000) wird diese allgemeine Einordnung der Wissensrepräsentation für den Diskursbereich der Informatik bzw. Künstlichen Intelligenz noch weiter verschärft. Wissensrepräsentation beschreibt dabei „den Entwurf und die Implementation von Formalismen“ bzw. bezeichnet „die Modellierung eines Teils der Realität, der Domäne“. Abhängig von der weiteren Verwendung der so generierten Wissensbasis findet eine der hier aufgezeigten Methoden ihre Anwendung. Auf die Vor- und Nachteile werde ich an gegebener Stelle näher eingehen.

---

<sup>1</sup>Wikipedia (2008b)

## 2 Terminologische Logiken

### 2.1 Definition

Der Begriff *Terminologische Logiken* wird synonym zu den Bezeichnungen *Beschreibungslogik* oder *Begriffslogik* verwendet und in englischsprachiger Literatur dann durch *description logic* bzw. *terminological logic* übersetzt. In der Vergangenheit wurden auch verstärkt die Begriffe *Konzeptsprachen*, *Term-Subsumption-Sprachen* oder auch *KL-ONE-basierte Sprachen* verwendet.

Terminologische Logiken sind Notationen zum einfachen Beschreiben von Definitionen und Eigenschaften von Kategorien bzw. *Konzepten*. Diese Repräsentation der Domäne wird als *Terminologie* bezeichnet. Terminologische Logiksysteme sind dabei eine Weiterentwicklung von semantischen Netzwerken und Frames, um diese zu formalisieren, ohne jedoch an Ausdrucksstärke zu verlieren.<sup>2</sup>

Bei der Verwendung dieser Logiken steht die Relation einzelner Konzepte zueinander im Vordergrund. Über *Subsumption* lässt sich diese Teilmengenrelation überprüfen. Der zweite Inferenzansatz, die *Instanzklassifikation*, bestimmt die Zugehörigkeit von Objekten zu Konzepten. Je nach Implementation existieren auch Systeme, die eine Konsistenzprüfung durchführen können. Es besteht somit die Möglichkeit des Aufbaus einer vollständigen Subsumptionshierarchie.

### 2.2 CLASSIC

Zu Beginn zunächst ein Vertreter dieser Sprachfamilie: Die recht intuitive Sprache CLASSIC. An dieser Stelle möchte ich nur zwei kurze Beispiele<sup>3</sup> aufzeigen. Eine detaillierte Definition ist in Borgida u. a. (1989) zu finden. Dort sind auch noch einige komplexere Beispiele erläutert.

$$\text{Bachelor} = \text{And} (\text{Unmarried} , \text{Adult} , \text{Male})$$

Listing 1: Bachelor

Auf deutsch: Ein Junggeselle ist also ein unverheirateter, erwachsener Mann. Dem versierten Leser fällt hier natürlich sofort die einfache Möglichkeit der Übersetzung in Prädikatenlogik auf, was auch den Reiz dieser Art der Wissensrepräsentation ausmacht.

$$\text{And} (\text{Man} , \text{Atleast} (3 , \text{Son}) , \text{Atmost} (2 , \text{Daughter}) , \\ \text{All} (\text{Son} , \text{And} (\text{Unemployed} , \text{Married} ,$$

---

<sup>2</sup>Russell und Norvig (2003)

<sup>3</sup>Russell und Norvig (2003)

$$\text{All}(\text{Spouse}, \text{Doctor})), \\ \text{All}(\text{Daughter}, \text{And}(\text{Professor}, \\ \text{Fills}(\text{Department}, \text{Physics}, \text{Chemistry}))))$$

Listing 2: Komplexe Abfrage in CLASSIC

Auf deutsch: Alle Männer, die mindestens drei Söhne haben, die alle arbeitslos sind und mit Ärztinnen verheiratet, und höchstens zwei Töchter, die alle Physik- oder Chemieprofessoren sind.

### 2.3 Standardnotation

Aufgrund der großen Anzahl verschiedener Sprachen dieser Art wurde 1991 die Sprache  $\mathcal{AL}^4$  als Standard durch Schmidt-Schauß und Smolka (1991) eingeführt. Durch Erweiterung um die Negation von Konzepten erhält man die Sprache  $\mathcal{ALC}^{56}$ . Bezeichne hierbei  $B$  die *Begriffssymbole*,  $R$  die *Rollensymbole* und  $C$  die *Begriffsausdrücke*. (Tabelle 1)

$C \rightarrow B$	Begriffssymbole
$C \sqcap C'$	Begriffskonjunktion
$C \sqcup C''$	Begriffsdisjunktion
$\neg C$	Begriffsnegation
$\forall R : C$	Wertrestriktion
$\exists R : C$	Existentielle Restriktion

Tabelle 1: BNF für  $\mathcal{ALC}$

Hinzu kommen noch zwei Operatoren  $B \sqsubseteq C$  als *partielle Definition* und  $B \doteq C$  als *vollständige Definition*. Die endliche Menge von Definitionen wird als Terminologie oder *T-Box* bezeichnet.

In einem praktischen Beispiel (Tabelle 2)<sup>7</sup> wird die Verwendung wieder sofort deutlich. *Ding*<sup>8</sup> bezeichnet dabei die Oberkategorie aller Begriffe. Die Begriffssymbole in der T-Box  $\mathcal{T}$  werden in *definierte Konzepte*  $\mathcal{N}_{\mathcal{T}}$ <sup>9</sup> und primitive Konzepte  $\mathcal{B}_{\mathcal{T}}$ <sup>10</sup> unterschieden. Die primitiven Konzepte sind jene, die nur rechts auftauchen.

<sup>4</sup>=attributive language

<sup>5</sup>Weitere sind möglich, z.B.  $\mathcal{ALN}$  entspricht der Erweiterung um numerische Einschränkung (wie in Listing 2)

<sup>6</sup>Baader u. a. (1991)

<sup>7</sup>Görz und Rollinger (2000)

<sup>8</sup>*Thing* im Englischen, als Gegenteil dann *Nothing*

<sup>9</sup>=name symbols

<sup>10</sup>=base symbols

<i>Komponente</i>	$\sqsubseteq$	<i>Ding</i>
<i>Motor</i>	$\sqsubseteq$	<i>Komponente</i>
<i>Lampe</i>	$\sqsubseteq$	<i>Komponente</i> $\sqcap$ $\neg$ <i>Motor</i>
<i>Stecker</i>	$\sqsubseteq$	<i>Komponente</i> $\sqcap$ $\neg$ <i>Motor</i> $\sqcap$ $\neg$ <i>Lampe</i>
<i>Saugrohr</i>	$\sqsubseteq$	<i>Komponente</i> $\sqcap$ $\neg$ <i>Motor</i> $\sqcap$ $\neg$ <i>Lampe</i> $\sqcap$ $\neg$ <i>Stecker</i>
<i>Mixstab</i>	$\sqsubseteq$	<i>Komponente</i> $\sqcap$ $\neg$ <i>Motor</i> $\sqcap$ $\neg$ <i>Lampe</i> $\sqcap$ $\neg$ <i>Stecker</i> $\sqcap$ $\neg$ <i>Saugrohr</i>
<i>Geraet</i>	$\sqsubseteq$	$\forall$ <i>Teil</i> : <i>Komponente</i> $\sqcap$ <i>Ding</i> $\sqcap$ $\neg$ <i>Komponente</i>
<i>E – Geraet</i>	$\doteq$	<i>Geraet</i> $\sqcap$ $\exists$ <i>Teil</i> : <i>Stecker</i>
<i>Staubsauger</i>	$\doteq$	<i>E – Geraet</i> $\sqcap$ $\forall$ <i>Teil</i> : <i>Komponente</i> $\sqcap$ $\exists$ <i>Teil</i> : <i>Motor</i> $\sqcap$ $\exists$ <i>Teil</i> : <i>Lampe</i> $\sqcap$ $\exists$ <i>Teil</i> : <i>Saugrohr</i>
<i>Mixer</i>	$\doteq$	<i>E – Geraet</i> $\forall$ <i>Teil</i> : <i>Komponente</i> $\sqcap$ $\exists$ <i>Teil</i> : <i>Motor</i> $\sqcap$ $\exists$ <i>Teil</i> : <i>Lampe</i> $\sqcap$ $\exists$ <i>Teil</i> : <i>Mixstab</i>

Tabelle 2: Terminologie diverser Elektrogeräte in  $\mathcal{ALC}$

Azyklische Terminologien<sup>11</sup>  $\mathcal{T}$  können in endlicher Zeit zu einer äquivalenten Terminologie  $\mathcal{T}'$  expandiert werden. Bei der Expansion werden alle definierten Konzepte durch ihre Definition ersetzt.

Der augenblickliche Zustand der modellierten Welt, die existierenden Objekte, werden als assertorisches Wissen in der *A-Box* gespeichert. So ließe sich in unserer Beispieldomain z.B. ein ganz konkreter Staubsauger wie folgt definieren:

$$s_{Vorwerk} \in \text{Staubsauger}$$

## 2.4 Inferenzalgorithmen

### 2.4.1 Subsumtion

Definieren wir zunächst die Subsumtionsrelation etwas formaler:

$$C \preceq_{\mathcal{T}} C' \iff \mathcal{T} \models \forall x : C(x) \Rightarrow C'(x)$$

D.h.  $C$  wird in der Terminologie  $\mathcal{T}$  von  $C'$  subsumiert, gdw. jedes Objekt, das ein  $C$  ist, auch ein  $C'$  ist.

In einem ersten Schritt wird die Terminologie  $\mathcal{T}$ , durch die Einführung neuer undefinierter Begriffssymbole, zu einer Terminologie  $\mathcal{T}^*$  abstrahiert. Dabei werden alle partiellen Definitionen durch vollständige Definitionen wie in Tabelle 3 ersetzt.

<sup>11</sup>Begriffssymbole stehen jeweils nur auf einer der beiden Seiten der Definitionen

$$\begin{array}{lcl}
\textit{Komponente} & \doteq & \textit{Ding} \sqcap \textit{Komponente}^* \\
\textit{Motor} & \doteq & \textit{Komponente} \sqcap \textit{Motor}^* \\
\textit{Lampe} & \doteq & \textit{Komponente} \sqcap \neg \textit{Motor} \sqcap \textit{Lampe}^* \\
& & \dots
\end{array}$$

Tabelle 3: Abstraktion  $\mathcal{T}^*$

Anschließend werden die Konzepte  $C$  und  $C'$  bezüglich  $\mathcal{T}^*$  expandiert. Somit konnte man  $C \preceq_{\mathcal{T}} C'$  auf  $E(C) \preceq E(C')$  zurückführen.

Es entstehen nun zwei Möglichkeiten des weiteren Vorgehens, auf die ich aber an dieser Stelle nicht weiter eingehen möchte, sondern nur auf die Literatur verweisen: Der *strukturelle* Vergleich der beiden Expansionen wird in Levesque und Brachman (1987) im Detail dargestellt, ist aber leider nicht vollständig. Der zweite Ansatz, die *Constraint-Lösungsmethode*, wird in Schmidt-Schauß und Smolka (1991) ausführlich aufgezeigt. Hierbei wird  $E(C) \sqcap \neg E(C')$  auf Inkonsistenz durch Nachweis der Unerfüllbarkeit eines entsprechenden Systems von Einschränkungen getestet.

### 2.4.2 Instanzklassifikation

Mit der Klassifikation von Konzepten kann man nicht nur *explizite* Vererbungshierarchien aufzeigen, sondern auch *implizite* Subsumtionsbeziehungen.

Zur Bestimmung der *Elternkonzepte* eines Konzeptes  $C$  prüft man beginnend bei der Wurzel die Konzepte  $W_i$ , ob diese  $C$  subsumieren. Ist dies der Fall, überprüft man, ob die Kinder von  $W_i$  ebenfalls  $C$  subsumieren. Dies wird solange wiederholt, bis man die Konzepte erreicht hat, die zwar  $C$  subsumieren, deren Kinder  $C$  jedoch nicht subsumieren.

Die *Kinder* als allgemeinste Konzepte, die von  $C$  subsumiert werden, werden ausgehend von den Eltern von  $C$  bestimmt.

## 2.5 Komplexität und Entscheidbarkeit

Terminologische Logiken mit dem vollständigen Umfang der Prädikatenlogik sind nur mit exponentiellen Zeitaufwand zu verarbeiten. Mit einigen Einschränkungen bzgl. der Negation und Disjunktion kann die Vollständigkeit und eine polynomielle Laufzeit erreicht werden.

In CLASSIC ist dies z.B. durch Einschränkung von Disjunktionen auf Instanzen umgesetzt worden. KRIS hingegen ignoriert die Möglichkeit der exponentiellen Laufzeit einfach.



Sprachen wie KL-ONE oder LOOM setzen auf den bereits aufgezeigten Ansatz der strukturellen Subsumtion und sind damit nicht immer vollständig.

## 3 Ontologien

### 3.1 Definition

Der Begriff der Ontologie lässt sich zunächst auf seine Ursprünge in der Philosophie zurückführen. Auch unter diesem Kontext fanden Ontologien Verwendung zur Klassifikation bzw. zur Beschreibung der Existenz von Dingen. In der Wissensrepräsentation hat sich vertiefend auch folgende Definition nach Gruber (1993) durchgesetzt:

„An ontology is a formal, explicit specification of a shared conceptualization.“<sup>12</sup>

Damit ist also zunächst wie gehabt die Identifikation von Konzepten und ihren Beziehungen untereinander gemeint. Im Weiteren impliziert aber eine formale Spezifikation die Möglichkeit des maschinellen Lesens und Verarbeitens. Der Aspekt der verteilten Verwendung bekommt heute im Sinne des „semantischen Webs“ und den unzähligen damit verbundenen Möglichkeiten eine noch größere Bedeutung als 1993 abzusehen war.

### 3.2 Typen von Ontologien

Ontologien lassen sich nach ihrer Verwendung in verschiedene Typen diskriminieren:<sup>13</sup>

**Domänenontologien** Begriffe und Beziehen aus einem Anwendungsbereich.

**Generelle Ontologien** Begriffe, unabhängig vom Anwendungsbereich wie „Zeit“, „Raum“ oder „Ereignisse“<sup>14</sup>.

**Methodenontologien** z.B. Konzepte aus der Problemlösungsmethode „Propose and Revise“: „correct state“ oder „violated constraint“.

**Aufgabenontologien** z.B. Begriffe „Symptom“ und „Ursache“ in der Aufgabe der Diagnose.

**Ontologien von Repräsentationsprachen** z.B. Frame Ontology mit Begriffen wie „frame“ oder „slot“.

### 3.3 Aufbau einer Ontologie

Der Aufbau einer Ontologie ist keine triviale Sache. Werden Ontologien aus dem Nichts aufgebaut, werden i.Allg. zunächst generelle Ontologien, die für den Anwendungsbereich relevant sind, miteinander verknüpft. Auch die zusätzlichen Begriffe werden so gewählt,

---

<sup>12</sup>Eine Ontologie ist eine formale, explizite Spezifikation einer verteilten Konzeptionalisierung

<sup>13</sup>Görz und Rollinger (2000); Guarino (1998); Heijst u. a. (1997)

<sup>14</sup>Anschaulicher Einstieg in Russell und Norvig (2003).

dass ggf. die Möglichkeit der Wiederverwendung besteht. Gerade bei komplexen und umfangreichen Ontologien ist dann auch die innere Konsistenz ein sehr kritischer Punkt.

In vielen Domänen, wie z.B. der Medizin oder Biologie, hat man als Informatiker bzw. Knowledge Engineer meist nicht mehr das Glück bei Null anfangen zu können. Die Ontologie ist dann gewöhnlich historisch gewachsen und für eine maschinelle Verarbeitung nicht immer optimal.

### 3.4 Das semantische Web

Wie bereits in der Definition angedeutet, scheint das semantische Web eines der bedeutendsten Projekte der näheren Zukunft auf Basis von Ontologien zu sein. Daher werde ich im Folgenden kurz auf die dazugehörige Beschreibungssprache OWL und das wegweisende Projekt GoPubMed der Technischen Universität Dresden eingehen.

#### 3.4.1 Beschreibungssprache OWL

Die *Web Ontology Language*<sup>15</sup>, kurz OWL, ist eine Spezifikation des W3C<sup>16</sup>. Technisch setzt OWL auf dem RDF-Syntax auf. Die Funktionalität des *Resource Description Framework*<sup>17</sup> umfasst primär die Bereitstellung von Metadaten (Autor, Titel usw.) zu Webdokumenten. Durch das *Resource Description Framework Schema* (RDFS) wurde RDF im wesentlichen um eine verbesserte Typisierung und die für eine Ontologie nötige Beziehungsrelationen erweitert. OWL fügt nun wiederum noch weitere Sprachkonstrukte hinzu, die Ausdrücke bis auf Ebene der Prädikatenlogik ermöglichen.

Da OWL im vollem Umfang nicht entscheidbar ist, gibt es noch zwei eingeschränkte Versionen: OWL DL als entscheidbare Untermenge (analog zu 2.5) und OWL LITE für sehr einfache Taxonomien.

Um ein Gefühl dafür zu bekommen, zeigt Listing 3 ein einfaches Beispiel.<sup>18</sup>

```
<rdf:RDF
  xmlns:rdf="http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#"
  xmlns:rdfs="http://www.w3.org/2000/01/rdf-schema#"
  xmlns:owl="http://www.w3.org/2002/07/owl#"
  ... >
  <owl:Ontology rdf:about=""/>
```

---

<sup>15</sup><http://www.w3.org/2004/OWL/>

<sup>16</sup><http://www.w3.org>

<sup>17</sup><http://www.w3.org/RDF/>

<sup>18</sup>Wikipedia (2008a)

```

<owl:Class rdf:ID="Gender"/>
<owl:Class rdf:ID="Person"/>
<owl:Class rdf:ID="Woman">
  <rdfs:subClassOf rdf:resource="#Person"/>
  <owl:equivalentClass>
    <owl:Restriction>
      <owl:onProperty rdf:resource="#Gender"/>
      <owl:hasValue rdf:resource="#female" rdf:type="#Gender"/>
    </owl:Restriction>
  </owl:equivalentClass>
</owl:Class>

<owl:ObjectProperty rdf:ID="gender"
  rdf:type="http://www.w3.org/2002/07/owl#FunctionalProperty">
  <rdfs:range rdf:resource="#Gender"/>
  <rdfs:domain rdf:resource="#Person"/>
</owl:ObjectProperty>
<owl:DatatypeProperty rdf:ID="name"
  rdf:type="http://www.w3.org/2002/07/owl#FunctionalProperty">
  <rdfs:range rdf:resource=".../2001/XMLSchema#string"/>
  <rdfs:domain rdf:resource="#Person"/>
</owl:DatatypeProperty>
<owl:DatatypeProperty rdf:ID="firstname"
  rdf:type="http://www.w3.org/2002/07/owl#FunctionalProperty">
  <rdfs:range rdf:resource=".../2001/XMLSchema#string"/>
  <rdfs:domain rdf:resource="#Person"/>
</owl:DatatypeProperty>

<Person rdf:ID="STilgner" firstname="Susanne" name="Tilgner">
  <Gender rdf:resource="#female"/>
</Person>
</rdf:RDF>

```

Listing 3: Einfache in OWL

Auf Deutsch: Es werden die Konzepte (Klassen) Geschlecht, Person, Frau definiert. Dabei ist eine Frau über das Geschlecht „weiblich“ bestimmt. Weiterhin hat jede Person ein Geschlecht, einen Namen und einen Vornamen, letztere beide vom Typ String. Im letzten Teil wird dann eine konkrete Person definiert.

### 3.4.2 GoPubMed

*GoPubMed*<sup>19</sup> ist der erste Schritt in Richtung semantisches Web und setzt dabei auf einer der größten Datenbestände für medizinische und biologische Texte PubMed.org auf. Die über 17 Millionen Artikel sind schon seit langem nicht mehr durch eine einfache Textsuche, wie sie auch von allen gängigen Internetsuchmaschinen verwendet wird, durchsuchbar. Es treten im Allgemeinen nur noch zwei Szenarien auf: Entweder man hat tausende unpräzise Treffer oder man schränkt die Suche soweit ein, dass Dutzende von relevanten Artikeln verloren gehen.

Prof. Dr. Schröder<sup>20</sup> und die Ausgründung aus der TU Dresden Transinsight<sup>21</sup> haben auf Basis der bereits bestehenden Gene-Ontologie<sup>22</sup> eine Suchmaschine entwickelt, die alle Suchergebnisse dieser Ontologie zuordnet. Über einfaches Anklicken von Kategorien kann die Suche so gezielt spezialisiert werden. Bei einigen Anfragen kann auch schon die gezeigte Einordnung in verschiedene Hierarchien der gesuchten Lösung entsprechen. Zusätzliche Einschränkungen (wie z.B. Orte, Daten des Autors oder Zeitangaben), die Ergebnisse in herkömmliche Suchmaschinen meist völlig unbrauchbar machen, werden einfach mit eingeflochten.

Das Backend bildet die Sprache PROVA<sup>23</sup>. PROVA implementiert PROLOG-ähnliche Regeln und Inferenzalgorithmen mit vollem Zugriff auf die JAVA-Bibliotheken. Diese Mischung aus objektorientierter und deklarativer Programmierung bietet auch die Plattform für verteilte Agentensysteme.

---

<sup>19</sup><http://www.gopubmed.org>

<sup>20</sup><http://www.biotec.tu-dresden.de/schroeder>

<sup>21</sup><http://www.transinsight.com>

<sup>22</sup><http://www.geneontology.org/>

<sup>23</sup><http://www.semanticwebrules.org/>

## 4 Zusammenfassung

Terminologische Logiken bieten ein sehr mächtiges Werkzeug um in konkreten Umgebungen mit fester, unveränderlicher Terminologie zu schließen. In einer wachsenden oder dynamischen Umgebung erweisen sich Ontologie durch den angestrebten modularen Aufbau als flexibler. Bei beiden Ansätzen ist abzuwägen, wie ausdrucksstark die Sprache für den konkreten Anwendungsfall zu wählen ist. Ontologien, primär im Sinne des semantischen Webs, werden in Zukunft zunehmend aus dem Bereich der Wissenschaft in den Alltag übertreten.

## A Anhang

### Tabellenverzeichnis

1	BNF für $\mathcal{ALC}$ . . . . .	3
2	Terminologie diverser Elektrogeräte in $\mathcal{ALC}$ . . . . .	4
3	Abstraktion $\mathcal{T}^*$ . . . . .	5

### Listings

1	Bachelor . . . . .	2
2	Komplexe Abfrage in CLASSIC . . . . .	2
3	Einfache in OWL . . . . .	8

## Literatur

- [Baader u. a. 1991] BAADER, Franz ; BÜRCKERT, Hans-Jürgen ; HEINSOHN, Jochen ; HOLLUNDER, Bernhard ; MÜLLER, Jürgen ; NEBEL, Bernhard ; NUTT, Werner ; PROFITLICH, Hans-Jürgen: Terminological Knowledge Representation: A Proposal for a Terminological Logic. In: *Description Logics*, URL <http://dblp.uni-trier.de/db/conf/dlog/dlog91.html>, 1991, S. 120–128
- [Borgida u. a. 1989] BORGIDA, Alexander ; BRACHMAN, Ronald J. ; MCGUINNESS, Deborah L. ; RESNICK, Lori A.: CLASSIC: a structural data model for objects, URL [citeseer.ist.psu.com/borgida89classic.html](http://citeseer.ist.psu.com/borgida89classic.html), 1989, S. 58–67
- [Gruber 1993] GRUBER, Thomas R.: A Translation Approach to Portable Ontology Specifications. In: *Knowledge Acquisition* 5 (1993), Nr. 2, S. 199–220. – URL <http://tomgruber.org/writing/ontolingua-kaj-1993.htm>
- [Görz und Rollinger 2000] GÖRZ, Günther ; ROLLINGER, Claus-Rainer ; SCHNEEBERGER, Josef (Hrsg.): *Handbuch der Künstlichen Intelligenz*. Oldenbourg, 2000. – 3. Auflage. – ISBN 3-486-25049-3
- [Guarino 1998] GUARINO, Nicola: Formal Ontology and Information Systems. In: GUARINO, Nicola (Hrsg.): *Proceedings of the First International Conference on Formal Ontologies in Information Systems (FOIS)* Bd. 46. Trento, Italy : IOS-Press, 1998
- [Heijst u. a. 1997] HEIJST, G. V. ; SCHREIBER, A. ; WIELINGA, B.: Using Explicit Ontologies in KBS Development. In: *International Journal of Human-Computer Studies* (1997), S. 183–191
- [Levesque und Brachman 1987] LEVESQUE, Hector J. ; BRACHMAN, Ronald J.: Expressiveness and tractability in knowledge representation and reasoning. In: *Computational Intelligence* 3 (1987), S. 78–93
- [Russell und Norvig 2003] RUSSELL, Stuart ; NORVIG, Peter: *Artificial Intelligence: A Modern Approach*. Upper Saddle River, New Jersey : Pearson Education, Inc., 2003. – 2nd edition. – ISBN 0-13-790395-2
- [Schmidt-Schauß und Smolka 1991] SCHMIDT-SCHAUSS, M. ; SMOLKA, G.: Attributive concept descriptions with complements. In: *Artificial Intelligence* 1 (1991), Nr. 48, S. 1–26



[Wikipedia 2008a] WIKIPEDIA: *Web Ontology Language* — *Wikipedia*. 2008. – URL <http://de.wikipedia.org/w/index.php?oldid=44270190>. – [Online; Stand 2. Mai 2008]

[Wikipedia 2008b] WIKIPEDIA: *Wissensrepräsentation* — *Wikipedia*. 2008. – URL <http://de.wikipedia.org/w/index.php?oldid=38778712>. – [Online; Stand 27. April 2008]