

Was bedeutet eigentlich Ontologie?

Ein Begriff aus der Philosophie im Licht verschiedener Disziplinen

Johannes Busse · Bernhard Humm
Christoph Lübbert · Frank Moelter
Anatol Reibold · Matthias Rewald
Veronika Schlüter · Bernhard Seiler
Erwin Tegtmeier · Thomas Zeh

Abstract

This article is a fictitious, moderated dialogue between a computer scientist, a philosopher, and a psychologist. They explore the term „ontology“ - from the point of view of their own discipline—in order to learn from each other. The target audience of this article are laypersons with respect to the specific disciplines—but with a scientific background.

The authors are from the areas computer science, knowledge engineering, electrical engineering, mathematics, neurobiology, philosophy, and psychology.

Inhaltsverzeichnis

Einleitung.....	1
Ontologie-Anwendungen und das Semantic Web..	2
Ontologie in der Philosophie.....	5
Wie Menschen Begriffe bilden.....	8
Ontology Engineering:	
Entwicklung und Vermittlung von Ontologien....	11
Resümee.....	13
Literatur.....	16
Autoren-Kollektiv.....	16
Kontakt.....	16
Bezugsquelle.....	16

Einleitung

Dieser Artikel stellt einen fiktiven, moderierten Dialog zwischen einem Informatiker, einem Philosophen und einem Psychologen dar. Diese nähern sich dem Begriff „Ontologie“ an, jeder aus Sicht seiner Disziplin und mit dem Ziel, voneinander zu lernen. Der Artikel richtet sich an Laien der einzelnen Disziplinen, jedoch mit wissenschaftlichem Hintergrund.

Die Autoren des Artikels kommen aus den Bereichen Informatik, Knowledge Engineering, Ingenieurwissenschaften, Mathematik, Neurobiologie / Neuroinformatik, Philosophie und Psychologie. Sie sind Teilnehmer einer Serie von bislang fünf Workshops zum Thema „Der Ontologiebegriff in verschiedenen Disziplinen“, die seit Anfang 2010 an der Hochschule Darmstadt durchgeführt werden. Die Workshop-Teilnehmer stellten sich der Frage, wie der Begriff in den unterschiedlichen Disziplinen verwendet wird – gleich, als Metapher oder mit grundverschiedenen Bedeutungen. Dieser Artikel ist ein Kondensat von ausgewählten Workshop-Ergebnissen – entsprechend der Interdisziplinarität des Themas in einer für alle verständlichen Sprache verfasst.

Ontologie – was bedeutet das eigentlich?

Philosoph: Der Begriff bedeutet die „Lehre vom Sein“. Ontologie soll – und das gilt für alle Philosophen – die umfassendste aller Wissenschaften sein, insofern als sie alles Seiende behandelt. Zur Geschichte und Details werde ich später mehr sagen. So viel jedoch vorneweg: Innerhalb der Philosophie gibt es keine einheitliche Systematik zum Begriff der Ontologie. Die Sichtweisen der Philosophen sind so verschiedenartig wie das Sein des Seienden betrachtet werden kann.

Informatiker: Das gilt genauso für die Informatik. Ich habe allein zehn wesentliche Definitionen von Ontologie recherchiert. Sie unterscheiden

T. R. Gruber: „An ontology is a formal explicit specification of a shared conceptualization“ [1]

M. Uschold, M. Gruninger: „An ontology is a shared understanding of some domain of interest.“ [2]

H. Herre et al.: „Formal Ontology is the science that is concerned with the systematic development of axiomatic theories describing forms, modes, and views of being at different levels of abstraction and granularity.“ [3]

G. Pickert: „Eine Ontologie ist ein Siebentupel, $O=(L, C, R, F, G, H, A)$ “ [5]. Dabei gilt:

C: Menge von Begriffen

R: Menge von zweistelligen Relationen auf C (Beziehungen zwischen Begriffen)

F: Abbildung für die Zuordnung von Symbolmengen auf Begriffsmengen

G: Abbildung für die Zuordnung von Symbolmengen auf Relationenmengen

T: Taxonomie für die Halbordnung von C in Oberbegriffe / Unterbegriffe

A: Menge von Axiomen (Integritätsbedingungen): Aussagen mit Elementen von C und R.

Tabelle 1: Ausgewählte Ontologiedefinitionen

sich teilweise deutlich. Für Beispiele [1-4] siehe Tabelle 1.

Wir Informatiker haben den Fachausdruck „Ontologie“ aus der Philosophie übernommen und verwenden ihn als Analogie oder Metapher. Wir verstehen darunter die *formale Definition von Begriffen und deren Beziehungen als Grundlage für ein gemeinsames Verständnis*. Nützlich ist das beispielsweise für wissensbasierte Anwendungen.

Dazu gleich mehr.

Psychologe: Den Fachausdruck „Ontologie“ verwenden wir in der Psychologie kaum. Allerdings beschäftigen wir uns intensiv mit Begriffen und deren Beziehungen – vor allem mit der Frage, wie

Menschen Begriffe entwickeln und über die Zeit weiterentwickeln.

Ontologie-Anwendungen und das Semantic Web

Wo werden Ontologien in der Informatik verwendet?

Informatiker: Im Grunde genommen überall dort, wo es darum geht, die Semantik, also die Bedeutung, von Informationen zu formalisieren und nutzbar zu machen. Oft werden Ontologien in der Informatik in Zusammenhang mit dem „Semantic Web“ [9] verwendet. Ich möchte die Idee hinter dem Semantic Web gern anhand eines Beispiels erläutern.

Wenn Sie in ein Reisebüro gehen und nach einem kinderfreundlichen Hotel mit Bademöglichkeit am Strand in Norddeutschland fragen, so wird Ihnen der Kundenbetreuer familienfreundliche Hotels anbieten, die Zugang zu einem Nordsee- oder Ostseestrand haben. Er weiß natürlich, dass Nord- und Ostsee die beiden Strandregionen in Norddeutschland sind.

Geben Sie stattdessen „kinderfreundliches Hotel mit Bademöglichkeit am Strand in Norddeutschland“ im World-Wide Web bei Google ein, so finden Sie als ersten Treffer eine Webseite mit der Bewertung eines Hotels in Dubai. Es wurde gefunden, da es neben den Worten „Bademöglichkeit am Strand“ auch die Worte „Deutschland“ und „Kinder“ enthält. Bei näherem Hinsehen werden Sie jedoch enttäuscht feststellen, dass Deutschland das Herkunftsland des Kunden ist, der die Hotelbewertung verfasst hat. Und der ist „Verreist als: Paar, Kinder: keine“ – daher der Treffer für „Kinder“.

Der Kundenbetreuer im Reisebüro versteht Ihre Frage – die Google-Suche überprüft dagegen lediglich Übereinstimmungen von Worten. Ich be-

zeichne das gerne als „Syntactic Web“: das sture Abgleichen von Zeichen, ohne Verständnis dessen, was die Zeichen bedeuten. Semantic Web versucht, einen Schritt weiter zu gehen.

Eine Semantic Web-Anwendung für Hotelsuche könnte mit der Anfrage „kinderfreundliches Hotel mit Bademöglichkeit am Strand in Norddeutschland“ beispielsweise wie folgt umgehen:

1. Linguistische Analyse der Anfrage, z.B. „Hotel“ ist ein Nomen, „kinderfreundlich“ ist ein Adjektiv und „mit Bademöglichkeit am Strand“ sowie „in Norddeutschland“ sind adverbiale Bestimmungen.
2. Synonymersetzung, z.B. „familienfreundlich“ ist so etwas Ähnliches wie „kinderfreundlich“
3. Schlussfolgern, z.B. Norddeutschland ist ein Teil Deutschlands, liegt an den Meeren Nord- und Ostsee, Meere haben Strände etc.

4. Abgleichen, d.h. Finden von Hotels, die der Beschreibung möglichst nahe kommen
 Also: im Gegensatz zum Syntactic Web versucht eine Anwendung des Semantic Web – ähnlich uns Menschen – zu verstehen und Schlussfolgerungen zu ziehen. Siehe auch Abbildung 1.

Hört sich spannend an...

Informatiker: Ist es auch, und das ist nur die Spitze des Eisbergs. Nachdem das *World Wide Web Consortium* Sprachen des Semantic Web wie die *Web Ontology Language (OWL)* standardisiert hat, beginnen ganze Berufszweige auf der Welt, ihr Wissen in Form von Ontologien aufzubereiten. Hotels legen neben den menschenlesbaren Texten und Bildern maschinenlesbare semantische Beschreibungen ins Web; Biologen veröffentlichen neu entdeckte Genomsequenzen nicht nur in Fach-

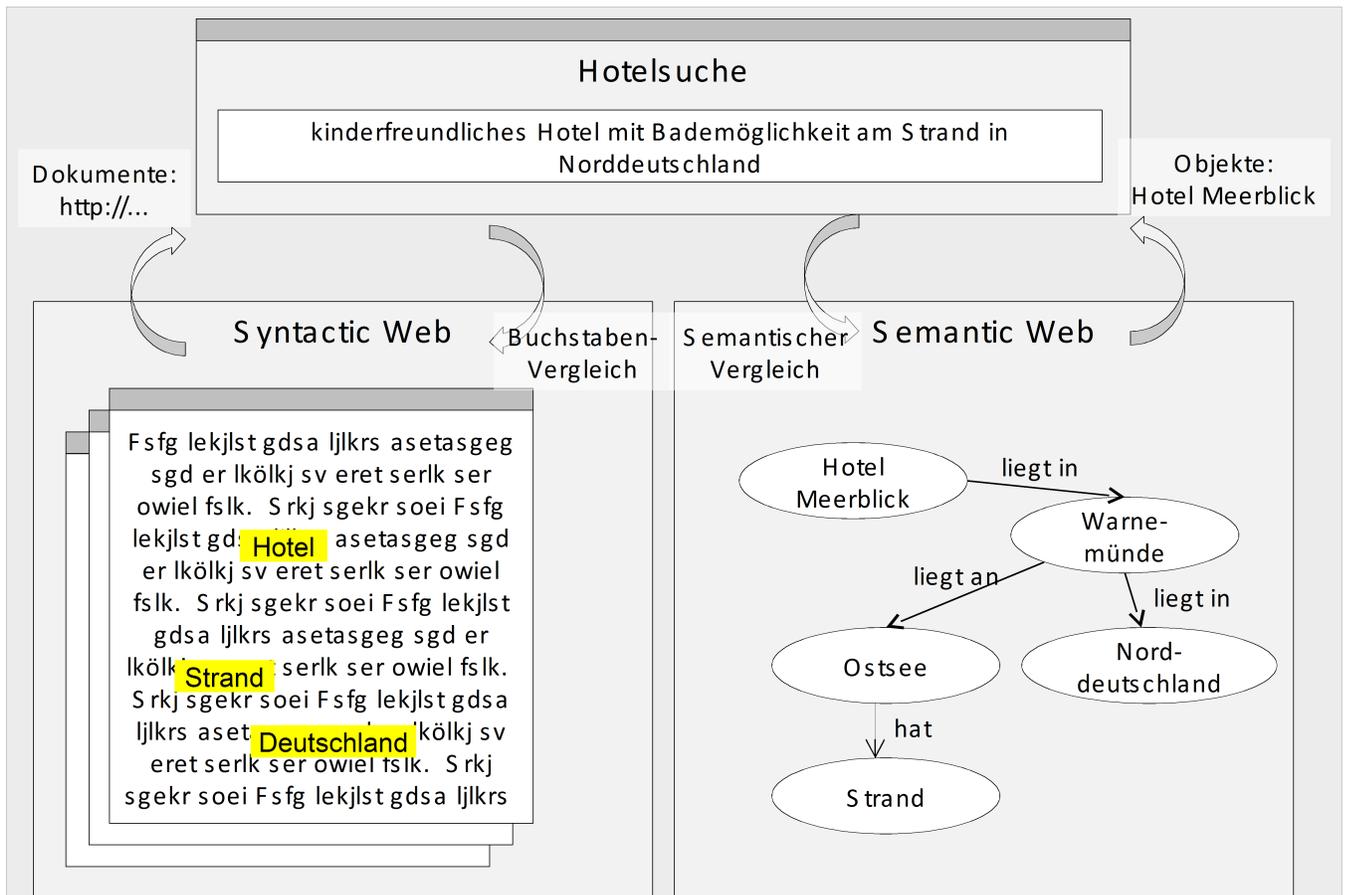


Abbildung 1: Syntactic Web und Semantic Web im Vergleich

artikeln, sondern auch in Ontologien; Gesetze, Gerichtsurteile und Präzedenzfälle werden maschinenlesbar aufbereitet, um weiterverarbeitet werden zu können. Und mit intelligenten Anwendungen lassen sich, basierend auf diesen Daten, Fragen beantworten wie „Wo gibt es kinderfreundliche Hotels mit Bademöglichkeit am Strand in Norddeutschland?“ „Wurden bereits Genomsequenzen gefunden, die meinen biologischen Forschungsergebnisse ähnlich sind?“ oder „Gibt es bereits einen Präzedenzfall zu meinem aktuellen Gerichtsprozess?“

Wie spielt denn Ontologie in das Semantic Web hinein?

Informatiker: Ontologien sollen die Kommunikation zwischen Computeranwendungen untereinander, zwischen Computeranwendungen und Menschen, aber auch zwischen Menschen verbessern beziehungsweise ermöglichen (nach [5]). Dabei geht es immer um eine konkrete *Anwendungsdomäne*, z.B. Touristik, Biologie oder Rechtswesen. Ontologien bilden somit eine Verständigungsbasis und wirken so der möglichen babylonischen Sprachverwirrung entgegen.

Wir nennen in der Informatik eine Ontologie eine *formale Definition von Begriffen und deren Beziehungen* – bezogen auf eine Anwendungsdomäne. „Formal“ heißt in einer Sprache, deren Syntax und Semantik definiert sind und die von Computerprogrammen bearbeitet werden kann.

Wie funktioniert eine Semantic Web-Anwendung?

Informatiker: Zwei wesentliche Komponenten machen eine Semantic Web-Anwendung aus: eine *Wissensbasis* und eine *Inferenzmaschine*. Die Wissensbasis enthält das *Ontologie-Schema* sowie *Aussagen*. Das Ontologie-Schema legt fest, welche Arten von Aussagen möglich und erlaubt sind. Sowohl Ontologie-Schema als auch Aussagen wer-

den in einer formalen Sprache formuliert, z.B. *RDFS (Resource Description Framework Schema)* oder *OWL (Web Ontology Language)*. Die formalen Sprachen sind natürlich für den Endanwender nicht sichtbar – sie sind aber notwendig für die interne Verarbeitung.

Beispiel für ein Ontology-Schema (Ausschnitt):

```
:Hotel rdf:type rdfs:Class.
```

Erläuterung: Hotel ist vom Typ „Klasse“, d.h. ein Konzept mit Instanzen, z.B. Hotel Meerblick

```
:Lokation rdf:type rdfs:Class.
```

Lokation ist auch eine Klasse

```
:liegtIn rdf:type  
owl:TransitiveProperty.
```

liegtIn ist eine Relation, genauer: eine transitive Relation

Beispiele für Aussagen:

```
:HotelMeerblick rdf:type :Hotel.
```

Hotel Meerblick ist eine Instanz, also ein Beispiel für die Klasse Hotel

```
:Warnemünde rdf:type :Lokation.
```

Warnemünde ist ein Beispiel für die Klasse Lokation

```
:HotelMeerblick :liegtIn  
:Warnemünde.
```

Hotel Meerblick liegt in Warnemünde

```
:Warnemünde :liegtIn  
:MecklenburgVorpommern.
```

Warnemünde liegt in Mecklenburg Vorpommern

```
:MecklenburgVorpommern :liegtIn  
:Norddeutschland.
```

Mecklenburg Vorpommern liegt in Norddeutschland

Fragen werden beantwortet mit einer *Abfragesprache*, z.B. SPARQL:

```
SELECT ?hotel WHERE  
{?hotel :liegtIn :Warnemünde}
```

→ liefert als Ergebnis

```
:HotelMeerblick, ...
```

Im einfachsten Fall verhält sich die Wissensbasis wie eine klassische Datenbank: die Informationen, die man als Aussagen anlegt (hier: „Hotel Meerblick liegt in Warnemünde“), kann man erfragen. Interessant wird es, wenn die Inferenzmaschine ins Spiel kommt. Sie erlaubt es, mittels Inferenzregeln neue Aussagen aus den gegebenen Aussagen zu schlussfolgern.

Eine einfache Inferenzregel ist die *Transitivitätsregel*: Wird eine Relation p als transitiv deklariert und es gilt $x p y$ und $y p z$, dann kann $x p z$ gefolgert werden.

Im Beispiel:

```
:liegtIn rdf:type
owl:TransitiveProperty.

:HotelMeerblick :liegtIn Warnemünde.

:Warnemünde :liegtIn
MecklenburgVorpommern.
```

→ liefert nach Schlussfolgerung

```
:HotelMeerblick :liegtIn
:MecklenburgVorpommern.
```

Durch Mehrfachanwendung der Transitivitätsregel kann die Anfrage nach Hotels in Norddeutschland wie folgt gestellt und beantwortet werden.

```
SELECT ?hotel WHERE
{?hotel :liegtIn :Norddeutschland}
```

→ liefert als Ergebnis

```
:HotelMeerblick, ...
```

Die Transitivitätsregel ist nur eine von vielen Regeln, die in eine Inferenzmaschine eingebaut werden können. Solche Regeln erlauben komplexe Schlussfolgerungen aus existierenden Aussagen.

Zusätzlich kann der Ontologie-Entwickler neue, domänenspezifische Regeln in einer Regelsprache spezifizieren. Beispiel in der Umgangssprache: „Wenn ein Hotel einen Spielplatz hat, Kinderbetten sowie Kindermenüs anbietet, dann gilt es als kinderfreundlich“. Eine Inferenzmaschine verwendet diese domänenspezifischen Regeln neben den eingebauten Regeln.

Wie funktioniert eine Inferenzmaschine?

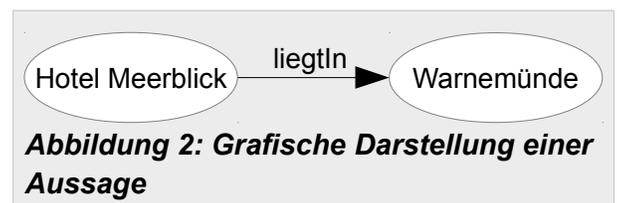
Informatiker: Aufbau und Funktionsweise einer Inferenzmaschine sind komplex. Vereinfacht dargestellt funktioniert sie wie folgt:

1. Die Eingaben, also Ontologie-Schema und Aussagen aus der Wissensbasis, müssen in einer *formalen Sprache* vorliegen. In den bereits erwähnten Sprachen RDFS und OWL werden Aussagen beispielsweise stets in der Form $\langle \text{Subjekt} \rangle \langle \text{Prädikat} \rangle \langle \text{Objekt} \rangle$ angegeben, also z.B.

```
:HotelMeerblick :liegtIn
:Warnemünde.
```

Des Weiteren müssen die Eingaben syntaktisch korrekt sein. Bereits kleine syntaktische Abweichungen wie die Verwendung eines Semikolons anstatt eines Punkts führen zu Fehlern und werden abgewiesen.

2. Die Inferenzmaschine lädt Ontologie-Schema und Aussagen und speichert diese intern als Graphen. Die obige Beispielaussage kann wie folgt als Graph veranschaulicht werden:



3. Eine Abfrage wird mittels eines Algorithmus zum Abgleich von Graphen implementiert. z.B.

```
?hotel :liegtIn :Warnemünde
```

ist ein Anfragegraph, der auf den Teilgraphen

```
:HotelMeerblick :liegtIn  
:Warnemünde
```

abgeglichen werden kann mit der Ersetzung der Variablen ?hotel durch :HotelMeerblick.

5. Schlussfolgern geschieht durch Mehrfachanwendung von Regeln. Eine Regel ist in der Form Bedingung → Schlussfolgerung gegeben – wie eben am Beispiel der Transitivitätsregel erläutert.

Die Anwendung von Regeln erfolgt wiederum mittels eines Algorithmus zum Abgleich von Graphen. Kann die Bedingung einer Regel mit einem Teilgraphen der Wissensbasis abgeglichen werden, so werden die gefolgernten Aussagen der Wissensbasis hinzugefügt.

Ontologie in der Philosophie

Die Informatiker bedienen sich des Begriffs der Ontologie aus der Philosophie – was bedeutet er dort?

Philosoph: Buchstäblich heißt „Ontologie“ so viel wie *die Lehre vom Sein*. Der Begriff „Ontologie“ wird erst im 17. Jahrhundert bei Christian Wolf gebräuchlich, jedoch ist die theoretische Beschäftigung mit dem Sein des Seienden, das heißt mit einer Welterfassung, ungefähr 2500 Jahre alt. *To on*, das Sein ist das Allgemeinste, was man von einem Gegenstand sagen kann. Der griechische Vorsokratiker *Parmenides* (ca. 520 - 460 v. Chr.) hat als erster die Problematik in seiner Schrift „Über das Sein“ benannt. Es geht letztlich um ein Ordnungssystem in der Welt der Gegenstände und ihrer Relationen. Kategoriale Ontologie, die Einteilung in Kategorien, erhebt den Anspruch auf eine alles umfassende Klassifikation (vgl. [4]).

Können Sie Beispiele nennen?

Philosoph: Parmenides betrachtet das Sein als „das Eine“, dem nichts fehlt. Dieses Sein ist die Voraussetzung von jeglicher Erkenntnis. Ungefähr 100 Jahre später betrachtet *Platon* (ca. 428-348 v. Chr.) das Sein dualistisch: Es gibt die (vollkommene) Welt der Ideen, und die unvollkommene, aber von den Ideen abgeleitete Welt der Dinge. Die Schau der Ideen, die Erkenntnis ist Wirklichkeit einer Welterklärung. Sein Höhlengleichnis zeigt anschaulich, wie nach mannigfaltigen, aufeinander aufbauenden und teils auch schmerzvollen Erkenntnisschritten (die blendende Sonne als Metapher) schließlich wahre Erkenntnis erreicht werden kann – ein Ziel das nur die wenigsten erstreben und erreichen. Es zeigt auch, dass jede Erkenntnis, die sich diesem Ziel annähert, auch bedeutet, dass die Rückkehr „in die Höhle“ nicht mehr möglich ist.

Platons Schüler *Aristoteles* (384-322 v. Chr.) hingegen ordnet die Welt, indem er zehn Kategorien aufstellt (siehe Tabelle 3 auf S. 7), deren bedeutendste die *Substanz* ist. Substanzen sind Organismen mit ihrer Artnatur und *Akzidentien* sind deren vorübergehende, nicht wesentliche Eigenschaften (zweite bis zehnte Kategorie).

Aristoteles war eigentlich vorwiegend an lebenden Organismen interessiert und erst seine Nachfolger haben versucht, eine umfassende Klassifikation aus seinen Kategorien zu machen. Die Kategorien von Substanz und Akzidenz wurden über Jahrhunderte beibehalten, allerdings mit immer weniger Arten. Descartes unterscheidet nur noch zwischen geistigen und körperlichen Eigenschaften ohne weitere kategoriale Differenzierungen.

Die aristotelischen Kategorien ordnen zum ersten Mal die Sprache: Sie sind Gerüst der ersten Grammatik überhaupt.

Bezeichnung	griechisch	Frage	Beispiel
Substanz	ουσια (ousia)	Was ist etwas?	Mensch, Pferd
Quantität	ποσον (poson)	Wie viel/groß ist etwas?	Zwei Ellen lang
Qualitatives	ποιον (poion)	Wie beschaffen ist etwas?	Weiß, des Lesens kundig
Relation	προσ τι (pros ti)	In welcher Beziehung steht etwas (zu etwas)?	Doppelt, halb, größer
Ort	που (pou)	Wo ist etwas?	Im Lyzeum, auf dem Marktplatz
Zeit	ποτε (pote)	Wann ist etwas?	Gestern, voriges Jahr
Lage	κεισται (keisthai)	In welcher Position ist etwas?	Es ist aufgestellt, sitzt
Haben	εχειν (echein)	Was hat etwas?	Hat Schuhe an, ist bewaffnet
Tun	ποιειν (poiein)	Was tut etwas?	Schneidet, brennt
Erleiden	πασχειν (paschein)	Was erleidet etwas?	Wird geschnitten, gebrannt

Tabelle 2: Die zehn Kategorien des Aristoteles (nach [8])

Kann man mit Substanzen und Akzidentien denn tatsächlich alles klassifizieren, was es gibt?

Philosoph: Lange Zeit hat man so argumentiert. Weitere Kategorien wurden nur als Subkategorien eingeführt. Aber es stimmt, irgendwann kamen auch die Philosophen darauf, dass etwas fehlt. Zusammenhänge und das, was ganze Sätze ausdrücken, kommen nicht vor. Dafür hat man im 19. Jahrhundert die zusätzliche Kategorie des *Sachverhalts* eingeführt.

Was sind Sachverhalte?

Philosoph: Die Ontologen gebrauchen es in einem weiteren Sinne. Nicht nur gilt es als Sachverhalt, dass Herr A Herrn B am 23. Mai 2012 um 14:11 Uhr angerufen hat, sondern auch, dass alle Körper eine Gravitationskraft besitzen. Ebenso, dass genau eine natürliche Zahl kleiner als 2 ist und dass alle natürlichen Zahlen entweder gerade oder ungerade sind. Traditionelle Ontologien ohne die Kategorie des Sachverhalts können nur das erste Bei-

spiel zufriedenstellend beschreiben. Sie neigen dann dazu, reale Gesetzmäßigkeiten in das erkennende Bewusstsein oder in die Sprache zu verlagern.

Gut, aber was hilft mir die Klassifizierung der Welt in Dinge, Eigenschaften und Sachverhalte?

Philosoph: Nun ja, das sind nur Einordnungen. Eine Wissenschaft klassifiziert aber nicht nur, sie forscht vor allem nach Gesetzen. Die Klassifikation geschieht im Hinblick auf diese Gesetze. So vermeidet man kategoriale Denkfehler, wie z.B. den, dass man meint, dass eine Eigenschaft sich an einem bestimmten Ort befindet.

Nehmen Sie z.B. das Grün auf den Blättern des Baumes. Die grüne Farbe als Eigenschaft ist etwas anderes als die Farbschicht auf einem Körper. Diese Schicht besitzt nur die Eigenschaft der grünen Farbe, sie ist nicht diese Eigenschaft. Die Farbschicht ist in der Tat lokalisiert, die abstrakte Eigenschaft „grün“ jedoch nicht, denn es gibt noch

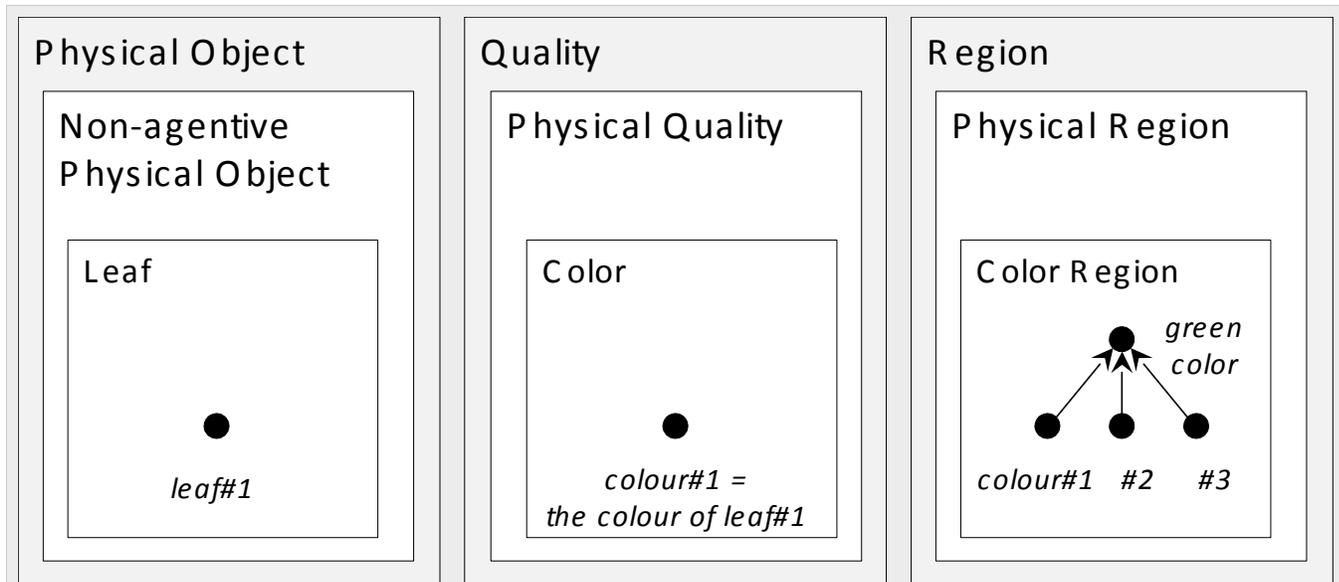


Abbildung 3: Modellierung in DOLCE: „Das Blatt ist Grün“ (nach [10, Abb. 3])

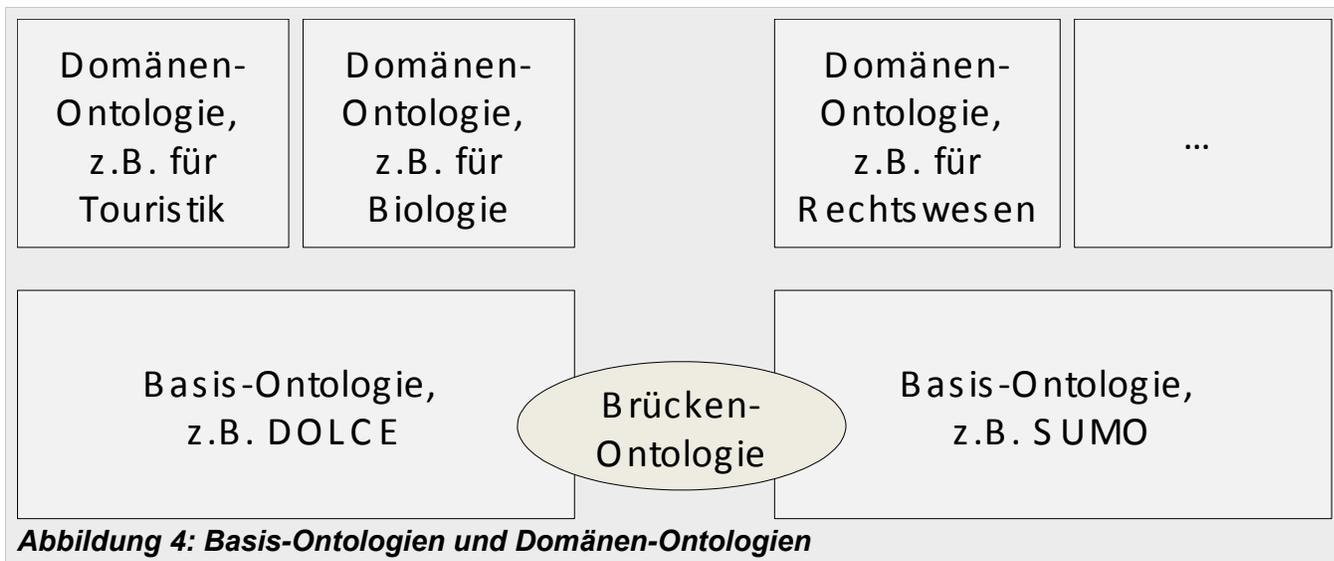
beliebig viele andere Körper mit der gleichen Eigenschaft, aber an anderen Orten.

Informatiker: Ja, genau solche Diskussionen können wir auf Basis unserer Ontologien seit einigen wenigen Jahren zielgerichtet führen. Wir nennen die Formalisierung kategorialer Ontologien Basis-Ontologien (*Foundational Ontologies*). Basis-Ontologien sind domänenübergreifende Ontologie-Schemata mit allgemeinen Begriffen wie physisches Objekt, Eigenschaft oder Bereich. Viele Basis-Ontologien der Informatik sind konsequent an philosophischen Erkenntnissen, Terminologien und Klassifikationen ausgerichtet. Ein gutes Beispiel ist die „*Descriptive Ontology for Linguistic and Cognitive Engineering (DOLCE)*“ [10]. In DOLCE können Sachverhalte wie das Grün der Blätter in allen angesprochenen Feinheiten differenziert modelliert werden (siehe Abbildung 3). Hier wird z.B. die Relation „hat Farbe“ selbst wieder als eine Klasse modelliert, die ihrerseits mit der Klasse des Farbraums verbunden werden kann.

Die Ontologie in der Philosophie will mir also zu klarerem Denken verhelfen. Aber es gibt doch verschiedene Ontologien mit verschiedenen Kategorien. Nach welcher soll ich mich denn richten?

Philosoph: Die Ontologie ist ein Versuch, die Welt der Dinge allumfassend zu erkennen, zu benennen, zu ordnen. Verschiedene Philosophen legen unterschiedliche Schwerpunkte. Außerdem gibt es in der Philosophie, wie in allen Wissenschaften, immer konkurrierende Theorien und einen ständigen Theoriewandel. Wenn man Orientierung sucht, muss man sich eben eine der gegenwärtig gängigen und akzeptierten ontologischen Theorien aussuchen. So groß ist die Auswahl auch wieder nicht.

Informatiker: Ähnliches gilt für Basis-Ontologien in der Informatik. Allerdings erhebt keine Basis-Ontologie den Anspruch, allumfassend zu sein. Zur Verbindung unterschiedlicher Basis-Ontologien werden sogenannte Brücken-Ontologien entwickelt. Das Projekt WonderWeb, in dessen Rahmen DOLCE entwickelt wurde, stellt auch solche Brücken-Ontologien bereit.



Aber Basis-Ontologien sind in Semantic Web-Anwendungen nicht das Entscheidende. Mit ihrer Hilfe kann ich weder Fragen aus der Touristik, der Biologie noch der Rechtswissenschaften beantworten. Entscheidend dafür sind Domänen-Ontologien (*Domain Ontologies*). Und diese sind an ihrem Verwendungszweck ausgerichtet. Beispielsweise erlaubt die Ontologie *HarmoNET* (*The Harmonisation Network for the Exchange of Travel and Tourism Information*, <http://euromuse.harmonet.org>) die detaillierte Beschreibung der Ausstattungsmerkmale eines Hotels.

Wie Menschen Begriffe bilden

Essentielle Bestandteile von Ontologien sind Begriffe. Wie bilden Menschen eigentlich Begriffe?

Psychologe: Wenn wir von Begriffen reden, sind zwei Arten auseinanderzuhalten. *Persönliche Begriffe* beruhen auf persönlichem Wissen eines Menschen. Sie dürfen nicht mit *konventionellen Begriffen* gleichgesetzt werden – beide sind nicht identisch oder deckungsgleich.

Konventionelle Begriffe kommen durch Vereinbarung zwischen Menschen zu Stande. Ihre Bedeutung wird an materielle Zeichen, im Normalfall Wörter, gebunden. Ihre Bedeutung muss ausgehandelt und näherungsweise festgelegt werden. Wobei das Produkt der Aushandlung immer eine idealisierte Vereinfachung der Bedeutungen ist, von denen die definierende Person oder die aushandelnden Personen ausgehen.

Aus konventionellen Begriffen werden nur dann wieder persönliche Begriffe oder persönliches Wissen, wenn ein einzelner Mensch sie aufgreift und in seinem Sinn versteht und interpretiert. Das geschieht immer nur in einer Annäherung an das konventionelle Wissen. Menschen denken und urteilen nicht auf der Grundlage konventioneller Begriffe – auch wenn sie das näherungsweise zu tun versuchen – sondern auf der Grundlage ihres persönlichen Wissens.

Persönliche Begriffe beruhen nicht auf der Introjektion der von Umwelt, Gesellschaft und Kultur verwendeten konventionellen Begriffe. Persönliche Begriffe werden nicht einfach mit der Sprache übernommen. Persönliche Begriffe sind eigenständige und spezifische Wissens- und Denkeinheiten des einzelnen Subjekts, die es einerseits in der ak-

tiven Auseinandersetzung mit der Umwelt, aber ebenso in Abstimmung mit dem kulturellen und sprachlichen Angebot seiner Sozialpartner konstruiert hat.

Die Frage, wie menschliches Wissen und menschliche Begriffe entstehen und sich entwickeln, wird unter anderem in der *kognitiven Entwicklungspsychologie* behandelt. Sie hängt mit der Frage nach der Entstehung von Weltbildern zusammen. Ihre Frage nach der Bildung von Begriffen beantworteten Psychologen unterschiedlicher theoretischer Lager verschieden. Ich kann sie – die Entstehung und Evolution persönlicher Begriffe betreffend – aus meiner Sicht verkürzt wie folgt beantworten [11-13].

Das Wissen des Menschen durchläuft eine *Evolution*, bei der die Wissensarten sich qualitativ verändern: Die Evolution geht von einfachen sensorischen Strukturen aus, mit denen der Mensch sich die Welt handelnd und wahrnehmend aneignet. Diese können nach und nach zu inneren Vorstellungen und intuitivem Wissen transformiert werden. In dem, was wir „Begriffe“ nennen, wird intuitives Wissen zu abstrakten Einheiten verarbeitet, die durch Sprache bezeichnet werden können. Der Prozess des Wissenserwerbs wird wesentlich durch die kognitiven Strukturen selbst vorangetrieben, indem diese sich mit der wahrgenommenen und erfahrenen Wirklichkeit und dem soziokulturellen Angebot der Gesellschaft – z.B. in Erziehung und Schule – auseinandersetzen. Das (sprachliche) Angebot der sozialen Umwelt wird nicht passiv aufgenommen, sondern kann nur soweit verarbeitet werden als der einzelne Mensch schon über geeignete Wissensstrukturen verfügt. Ein Bild: Begriffe sind wie Eisberge im Meer unseres intuitiven Wissens und unserer Vorstellungen.

Wissenserwerb ist ein langwieriger Prozess, der nie abgeschlossen ist. Was das Übernehmen und Verstehen von konventionellem (kulturellem, wissenschaftlichem, sprachlichem) Wissen betrifft, besteht es immer nur in einer Annäherung.

Wie startet dieser Prozess? Wie entwickelt beispielsweise ein Kind sein Weltbild und die damit verbundenen Begriffe?

Psychologe: Ein Kind entwickelt sein Weltbild durch Auseinandersetzung mit der erfahrenen Wirklichkeit. Dabei ist das sprachliche Angebot der sozialen Umwelt ein wesentlicher Teil dieser Wirklichkeit. Das Kind bildet spielerisch Hypothesen, probiert diese aus und findet sie bestätigt oder verwirft sie wieder. Ein großer Teil unseres begrifflichen Wissens beruht zwar nicht auf eigener Erfahrung; es muss aber an die eigene Erfahrung, an das intuitive und begriffliche Wissen, rückgebunden werden.

Läuft das bei einem Erwachsenen genauso ab? Oder gibt es Unterschiede?

Psychologe: Auch beim Erwachsenen entwickeln sich Begriffe durch Auseinandersetzung mit seinem Umfeld – allerdings bewusster, komplexer und kulturell überformt. Begriffe verändern sich laufend durch das soziokulturelle Umfeld und werden daran angepasst. Begriffe sind laufend im Fluss, beim Individuum wie auch in der Gesellschaft.

Genauso wenig wie ein Nürnberger Trichter möglich ist, genauso wenig funktioniert es, Wissen durch Definitionen zu vermitteln. Definitionen sind jedoch nützlich, um bereits erworbenes Wissen zu strukturieren, zwischen Individuen zu synchronisieren und zu sichern. Abläufe wie bei einem Brainstorming geben vielleicht eine Idee davon, was zu dem formal gelernten Wissen noch dazu kommen muss: Analogien ziehen und eben

genau nicht strengen Schemata zu folgen. Es ist wichtig, differenzieren zu lernen.

Bis jetzt haben wir über Individuen gesprochen. Begriffe spielen aber eine wichtige Rolle in der Kommunikation untereinander. Wie entsteht in Gemeinschaften ein einvernehmliches Verständnis? Wie entwickeln Experten einer Disziplin, zum Beispiel Touristik, Biologie oder Rechtswissenschaften, gemeinsam Begriffe?

Psychologe: Ein gemeinsames Verständnis von konventionellen Begriffen kann durch Gebrauch in der Gemeinschaft (evolutionär) entstehen – später auch durch Absprache oder per Dekret z.B. durch Normungsinstitute. Dies ist jedoch erst dann möglich, wenn zuvor bereits ein grundlegendes Verständnis davon existiert. Um dies zu erreichen, helfen folgende Maßnahmen:

- Begriffe in Beziehung zu anderen Begriffen setzen
- Begriffe gegen ähnliche Begriffe abgrenzen
- Vergleichen und differenzieren

Vor allem müssen sich Absprachen und Normen in der Wirklichkeit und dem gemeinsamen Handeln bewähren!

Ontology Engineering: Entwicklung und Vermittlung von Ontologien

Begriffe und Wissen systematisch aufzuschreiben und zu formalisieren scheint mir eine anspruchsvolle Tätigkeit. Wie gehen Informatiker daran?

Informatiker: Das ist in der Tat anspruchsvoll. Das Bild des Psychologen von Begriffen als Eisberge im Meer unseres intuitiven Wissens und unserer Vorstellungen macht das deutlich. Im Allgemeinen „wissen wir nicht, was wir wissen“.

Wissensakquise ist die Tätigkeit eines sogenannten *Knowledge Engineers*: gemeinsam mit Experten eines Fachgebiets Wissensbestände zur Sprache bringen und aufzuschreiben. Wissen muss aus den Köpfen heraus auf das Papier beziehungsweise in die Informatik-Anwendungen gebracht werden. Der Wert einer Ontologie steht und fällt mit dem Umfang der Anerkennung und Zustimmung in der betreffenden Fachwelt [7]. In der betrieblichen Praxis ist mit der Versprachlichung und Verschriftlichung von Wissen auch meist das Ziel verbunden, das neue Wissen mitzuteilen: es systematisch vermittelbar zu machen. Pointiert: Eine Ontologie, die nicht kommuniziert werden kann, ist eine tote Ontologie.

Unsere Konsequenz: *Wissensakquise* und *Wissenskommunikation* sind zwei Seiten einer Medaille, sie gehören untrennbar zusammen.

Wenn wir als Knowledge Engineers eine Ontologie, genauer ein Ontologie-Schema, entwickeln, dann ist der schwierigste Schritt meistens schon der Anfang: Eine Ontologie ist immer an eine *Aufgabe* gebunden, muss eine Aufgabe unterstützen. Ideal wäre es, von Beginn an auch Kriterien zu benennen, anhand derer sich feststellen lässt, ob eine Ontologie gut für ein Aufgabe ist – und überhaupt in Richtung Ziel führt. Das würde allerdings ein vollständiges Verständnis des Problems erfordern – ein Verständnis, das sich oft erst mühsam während eines Ontologie-Projekts ergibt.

Ein häufiger Fehler besteht darin, erst einmal aufzuschreiben, was man weiß und zu modellieren, was sich modellieren lässt – statt stets nach dem *Nutzen* zu fragen und zu modellieren, was für eine Problemlösung nötig ist.

Bedeutet das, dass Sie keine Methodik haben, systematisch festzustellen, welches Wissen Ihnen zu einer Problemlösung fehlt?

Informatiker: Leider ja. Wir wenden daher Methoden der *Wissensschöpfung* an, in denen wir exakte Festlegungen vorerst vermeiden. Dazu fangen wir niedrigschwellig an, schreiben Wissen auch informell, „weich“ auf. Gut geeignet ist hierfür beispielsweise ein Wiki, das nach und nach aufgebaut wird. Begriffe, die nur unscharf definiert sind, kommen zwar in den einzelnen Einträgen vor. Erst wenn sie genauer gefasst werden, wird für sie ein eigener Eintrag angelegt. Später kommen dann Links dazu, und ein semantisches Netz entsteht. Dieser Wiki-Ansatz entspricht auch der Beobachtung, dass ein Großteil unseres Wissens sich eben nicht vollständig formal repräsentieren lässt. Statt dessen ist formales Wissen immer eingebettet in Wissen, das in nicht exakt definierter Alltagssprache mitgeteilt wird.

Begriffe sind beim Menschen fast immer unscharf, wir sprechen von *Fuzzy Concepts*. Dies gilt für den Umfang des Begriffs (Fallen Rollschuhe unter den Begriff Fahrzeug?) wie auch für seine Merkmale (Ist es eine charakteristische Eigenschaft eines Landfahrzeugs, Räder zu haben? Wie verhält es sich dann mit einem Schlitten?).

Ein Begriff kann anwendungs- und kontextabhängig – dies sogar innerhalb einer Domäne – unterschiedlich verwendet werden. Auch kann seine Bedeutung sich im Laufe der Zeit ändern und er kann regional unterschiedlich gebraucht werden. Falls anwendungsrelevant, müssen in den Ontologien Unschärfen und Bedeutungsverschiebungen von Begriffen berücksichtigt werden. Theoretische Ansätze dazu gibt es bereits seit den 1990er Jahren [6], aber in der Praxis gestaltet sich das noch schwierig.

Sind Ontologien eigentlich die beste Form der Wissensrepräsentation?

Informatiker: Wie gesagt, das kommt immer auf die Aufgabe an. Nicht immer wird unser Wissen durch Ontologien angemessen repräsentiert. Oft sind Diagramme, Landkarten oder andere Wissensrepräsentationen besser geeignet, sich diffuses Wissen anschaulich zu machen.

Sich sein Wissen bewusst machen, nachforschen, was man bereits weiß: das erfolgt meist auf vielen Ebenen. Organisatorisch gilt es, Wissensträger (Personen) und -quellen (Medien) zu identifizieren – schon das ist oft ein Projekt für sich! Wissen in Unternehmen ist fast immer bereits vielfach festgeschrieben: explizit in Dokumenten, sowie implizit in Softwaresystemen, vorgeschriebenen oder praktizierten Vorgehensweisen, Organisationsstrukturen etc.. Stellen Sie sich vor, Sie wollen in einer Organisation herausfinden, welche Prozesse faktisch gelebt werden: Das ist weit schwieriger, als Prozesse formal zu modellieren!

Und wenn wir dann etwas begrifflich schön modelliert haben: Wie teilen wir unser Wissen anderen mit? Wie dokumentieren wir Modelle? Wie lehren wir die festgezurrtten Begriffe, wie teilen wir sie mit? Wie gehen wir damit um, wenn sich die neuen, festgezurrtten Begriffe nicht mit der Sprache der Anwender decken? Verfügen wir über Verfahren, unsere Modelle weiter zu entwickeln, insbesondere festzustellen, wo sie eben nicht mehr tragen?

Ich ahne, was sie sagen wollen. Festzustellen, dass eine Ontologie nicht mehr problemangemessen ist, ähnelt dem Problem, nur einen Hammer zu kennen und plötzlich eine Schraube in der Hand zu haben.

Informatiker: Genau. Nur dass ein Hammer und eine Schraube physisch Widerstand leisten, wo-

hingegen Begriffssysteme – und erst recht Ontologien – unser Denken selbst formen. Ihre Grenzen zu erkennen ist viel schwieriger.

Ontologien müssen wie Diagramme oder Landkarten aufgezeichnet und gelesen werden können.

Ohne entsprechende Software-Werkzeuge geht das nicht. Wie beim Hammer stellt sich die Frage: Welche Unterstützung bieten Werkzeuge? Wo hingegen werden sie hinderlich, führen in die falsche Richtung?

Die einzige Rettung aus den selbst auferlegten Zwängen besteht darin, eine Vielfalt von Wissensrepräsentationen zu erlauben statt sich auf eine einzige festzulegen. Das gilt sogar im Bereich des Ontology Engineering: Was wir brauchen, sind unterschiedliche Ontologien, mit denen man je nach Problemlage spielen kann, statt der einen Ontologie, der man sein Denken und die Welt unterzuordnen hat.

Wer entscheidet über den Umfang einer Ontologie? Wann ist eine Ontologie „fertig“?

Informatiker: Der Umfang einer Ontologie in einer Informatik-Anwendung wird immer durch den Anwendungskontext und Nutzen festgelegt. Also: die Ontologie ist fertig, wenn sie dem Anwender den erwarteten Nutzen bringt. Das sagt sich relativ leicht, die Umsetzung in der Praxis ist aber schwierig. Denn es wirft Fragen auf wie: Was ist genau der erwartete Nutzen? Wie entwickelt sich die Erwartungshaltung in der Zukunft?

Ein Beispiel: In der obigen Tourismusanwendung gab es die Anforderung, auf Fragen wie „kinderfreundliches Hotel mit Bademöglichkeit am Strand in Norddeutschland“ passende Hotels zu finden. Möglicherweise kann die Erwartungshaltung in Zukunft sein, dass die Anwendung beim Anwender bei Bedarf rückfragt, z. B. „Wie alt sind Ihre

Kinder?“ In jedem Fall beschränkt sich der Nutzungskontext auf die Auswahl passender Hotels.

Für die Ontologie bedeutet dies: sie muss Konzepte wie Hotel, Ausstattungsmerkmal, Lokation, Sehenswürdigkeiten etc. sowie Aussagen wie „Hotel Meerblick liegt in Warnemünde“ etc. umfassen. Sie braucht aber keine Aussagen zu umfassen wie „Im Hotel arbeiten Menschen“, „Menschen (Homo Sapiens) gehören zur Ordnung der Primaten, zur Klasse der Säugetiere, etc., haben ein Herz, eine Lunge, eine Leber etc. etc.“ Diese Aussagen – obwohl wahr – in die Ontologie aufzunehmen, wäre nicht nur unnötig, sondern falsch! Sie nutzen nicht dem Anwendungszweck und verursachen bei der Entwicklung und Pflege nur unnötige Kosten.

Also: in der Ontologie modelliert wird nur, was *relevant* ist. Relevant ist, was Nutzen stiftet. Der Anwender (Auftraggeber, Geldgeber) bestimmt die Nutzung und entscheidet damit über die Relevanz.

Resümee

Zusammenfassend: was sind die Gemeinsamkeiten des Ontologiebegriffs in Philosophie, Psychologie und Informatik?

Psychologe: Wir befassen uns mit dem Entstehen von menschlichen Begriffen. Allerdings verwenden wir, wie bereits gesagt, den Begriff Ontologie derzeit kaum.

Philosoph, Informatiker: In beiden Disziplinen beschreiben Ontologien die Welt oder Ausschnitte daraus. Sie bilden die Grundlage für ein gemeinsames Verständnis und erleichtern so die Kommunikation. *Insgesamt dienen Ontologien der Klärung.* In beiden Disziplinen erfasst man die Welt an ihren *Dingen* und *Eigenschaften* – auch wenn unterschiedliche philosophische Schulen unterschiedliche Namen verwenden und in der Informatik wiederum andere Namen verwendet werden. Je nach Sprachgebrauch gelten ungefähr folgende Entsprechungen.

Wo liegen Unterschiede?

Philosoph, Informatiker: Ontologie in der Philosophie erhebt den Anspruch, *umfassend* zu sein – stets die ganze Welt betreffend. Dafür ist sie *zweckfrei*. Im Gegensatz dazu ist eine Ontologie in der Informatik stets *nutzenorientiert*. Dafür ist sie in der Regel *spezifisch* für eine Anwendungsdomäne. Diese Unterscheidung drückt sich auch in der Verwendung der *Pluralform* „Ontologien“ aus. Wenn Philosophen von Ontologien sprechen, dann meinen sie umfassende Weltansichten verschiedener Philosophen, z.B. die Ontologie von Aristoteles, von Husserl, etc. Wenn Informatiker von Ontologien sprechen, dann meinen sie Formalisierungen unterschiedlicher Weltausschnitte, z.B. eine Ontologie für Tourismus, eine für Biologie oder eine für Rechtswesen.

Philosophie	Informatik
Substanz	Klasse, Entität, Konzept
Akzidenz	Attribut, Eigenschaft
Sachverhalt	Fakt, Aussage, Relation
Ontologie	Basis-Ontologie, Foundational Ontology

Tabelle 3: Entsprechungen in den Disziplinen

Verwenden Informatiker den Ontologiebegriff gleich wie Philosophen, oder verwenden sie das selbe Wort für unterschiedliche Bedeutungen (Homonym)?

Philosoph, Informatiker: Weder noch. Dass Philosophen und Informatiker den Ontologiebegriff

Philosophie	Informatik
In natürlicher Sprache	In Computersprache (formal)
Für den Diskurs (zwischen Menschen)	Für maschinelle Verarbeitung, inklusive Speicherung, Abfrage und Schlussfolgerung
Ausschließlich abstrakt, allgemein (Kategorien)	Sowohl abstrakt (Schema, Klassen), als auch - bei Bedarf - konkret (Individuen, Exemplare, Instanzen, Objekte)
Umfassend (die gesamte Welt beschreibend)	Spezifisch (anwendungsbezogen)
Zweckfrei (dient dem Wissensgewinn)	Nutzenorientiert (für eine Anwendung)

Tabelle 4: Unterschiede in den Disziplinen

nicht *gleich* verwenden, ist in der Diskussion deutlich geworden – das zeigen die Unterschiede. Umgekehrt zeigen aber auch die Gemeinsamkeiten, dass von einem *Homonym* nicht die Rede sein kann. *Analogie* oder *Metapher* sind treffende Bezeichnungen der Verwendung des ursprünglich philosophischen Begriffs in der Informatik. Der Fachausdruck wird in der Informatik nicht in seiner wörtlichen, sondern in einer übertragenen Bedeutung gebraucht – und zwar so, dass zwischen beiden eine Ähnlichkeit besteht, eine Assoziation hergestellt wird, die dem Verständnis dient. In der Informatik als junger Disziplin werden Metaphern aus älteren Disziplinen oder der Umgangssprache häufig verwendet. Beispiele sind „Architektur“

(Gebäude-Architektur → Software-Architektur), „Surfen“ (Sportart → Internetrecherche), „Virus“ (biologischer Virus → Computervirus) oder „Maus“ (Tier → Computermaus).

Was haben Sie aus diesem Dialog gelernt?

Informatiker: Dass wir beim Thema Ontologien auf den Schultern der Philosophen stehen, haben wir ja bereits deutlich gemacht.

Eine wesentliche Erkenntnis aus diesem Dialog ist die Unterscheidung von persönlichen und konventionellen Begriffen, die in der Psychologie gemacht wird. Sie hilft bei praktischen Problemen des Knowledge Engineering. Die Informatik ist eine junge Disziplin – insbesondere ihre Teildisziplinen wie das Knowledge Engineering. Wir arbeiten heute wie Baumeister und Handwerker des Mittelalters, wenn sie Kathedralen errichteten. Wir arbeiten nach Erfahrungswerten, „Best Practices“, wobei sich die Ergebnisse durchaus sehen lassen können. Aber eine wissenschaftliche Fundierung unseres Vorgehens – wie die Gesetze der Statik für den Bau von Kathedralen – existiert noch nicht. Hier wünsche und erhoffe ich mir noch viel.

Psychologe: Mir ist erneut bewusst geworden, wie wichtig Interdisziplinarität ist. Dass ich als Psychologe einen Beitrag zum Reifeprozess einer Disziplin wie der Informatik leisten kann, freut mich natürlich. Umgekehrt verwenden wir, wie gesagt, Ontologien in der Psychologie derzeit kaum. Was ich aber sehr wohl kenne, ist die Sprachverwirrung zwischen Psychologen: für dieselben Konzepte werden unterschiedliche Fachausdrücke verwendet und – viel schlimmer – dieselben Fachausdrücke für unterschiedliche Konzepte. Wie ich gelernt habe, ziehen heute schon andere Disziplinen – Touristik, Biologie, Rechtswesen – Nutzen aus der Normierung ihrer Fachausdrücke mittels Ontologien. Ontologien in der Psychologie würden helfen,

beispielsweise bei der Suche und Verschlagwortung von Fachartikeln.

Philosoph: Das wäre auch für die Philosophie von Nutzen – insbesondere für Richtungen der analytischen Philosophie (z.B. G. Frege, B. Russell und der frühe L. Wittgenstein). In der analytischen Philosophie geht es um scharfe Begriffsunterscheidung. Scharfe Begriffe bedürfen scharfer Werkzeuge. Hier können die formalen Ontologien der Informatik helfen.

Wie beurteilen Sie die Relevanz von Ontologien in der Zukunft?

Philosoph, Psychologe, Informatiker: Unterschiedliche Disziplinen müssen immer mehr zusammenwachsen. Die wesentlichen Herausforderungen unserer Zeit – wissenschaftlich und gesellschaftlich – können nur interdisziplinär gelöst werden. Für den Erfolg ist es entscheidend, wie gut es uns gelingt, weltweit Ergebnisse verschiedener Arbeitsgruppen und Disziplinen zu recherchieren und sinnvoll in Beziehung zu setzen. Ontologien sind dafür von zentraler Bedeutung: durch die Kraft der Normierung von Fachausdrücken, deren Bedeutung und Beziehungen; weiterhin durch die Möglichkeit, unterschiedliche Domänen-Ontologien zu integrieren; schließlich durch die Möglichkeit der technischen Unterstützung im Semantic Web durch Suche, Schlussfolgerung und Einbindung in Informatik-Anwendungen. Daher erwarten wir, dass die Bedeutung von Ontologien in Zukunft noch deutlich steigen wird.

Literatur

- [1] T. R. Gruber: „A translation approach to portable ontologies“. Knowledge Acquisition, 5(2), pp. 199-220, 1993.
- [2] M. Uschold, M. Gruninger: „Ontologies: Principles, Methods and Applications“. Knowledge Engineering Review, Volume 11 Number 2, June 1996.
- [3] H. Herre et al, „General Formal Ontology (GFO): A Foundational Ontology Integrating Objects and Processes“. Technical Report Nr. 8. University of Leipzig, 2006.
- [4] R. Grossmann: The Categorical Structure of the World. Bloomington, 1983.
- [5] G. Pickert: „Einführung in Ontologien“. http://www.dbis.informatik.hu-berlin.de/dbisold/lehre/WS0203/SemWeb/artikel/2/Pickert_Ontologien_final.pdf
- [6] S. Pollandt: „Fuzzy-Begriffe, Formale Begriffsanalyse unscharfer Daten“, Springer-Verlag, 1997.
- [7] W. Hesse: „Aktuelles Schlagwort – Ontologie(n)“. Informatik Spektrum, Band 25, Heft 6, S. 477-480, Springer-Verlag, Dezember 2002.
- [8] Wikipedia – Die freie Enzyklopädie: Kategorien. <http://de.wikipedia.org/wiki/Kategorien>
- [9] T. Berners-Lee, J. Hendler, O.Lassila: „The Semantic Web“. Scientific American 284(5):34-43, 2001.
- [10] C. Masolo, et al.: „WonderWeb Deliverable D17: The WonderWeb Library of Foundational Ontologies“. <http://www.loa.istc.cnr.it/Papers/DOLCE2.1-FOL.pdf>
- [11] Th. B. Seiler: „Begreifen und Verstehen. Ein Buch über Begriffe und Bedeutungen“. Darmstädter Schriften zur Allgemeinen Wissenschaft. Verlag Allgemeine Wissenschaft, Darmstadt, 2001.
- [12] Th. B. Seiler: „Wissen zwischen Sprache, Information, Bewusstsein. Probleme mit dem Wissensbegriff“. MV Wissenschaft, Münster, 2008.
- [13] Th. B. Seiler: „Evolution des Wissens“ Bd. 1, „Evolution der Erkenntnisstrukturen“, Bd.2, „Evolution der Begriffe“. LIT-Verlag, Münster, 2012.

Autoren-Kollektiv

- Prof. Dr. Johannes Busse (Knowledge Engineer)
Bahnhofstr. 9, 68535 Edingen
- Prof. Dr. Bernhard Humm (Informatiker)
Hochschule Darmstadt,
Haardtring 100, 64295 Darmstadt
- Dr. habil. Christoph Lübbert (Mathematiker)
Viktoriastr. 36, 64293 Darmstadt
- Dr. Frank Moelter (Neurobiologe, Neuroinformatiker)
Fünfkirchenblick 95, 45136 Essen
- Anatol Reibold (Mathematiker)
cogia intelligence GmbH,
Moselstr. 27, 60329 Frankfurt
- Matthias Rewald (Elektro-Ingenieur)
Herta-Mansbacher-Str. 132, 64289 Darmstadt
- Dr. Veronika Schlüter (Philosophin)
Mathildenstraße 14, 64285 Darmstadt
- Prof. Dr. Bernhard Seiler (Psychologe)
Weinbergstr. 28, 64625 Bensheim
- Prof. Dr. Erwin Tegtmeier (Philosoph)
Heinrich-Delp-Str. 214, 64297 Darmstadt
- Thomas Zeh (Mathematiker)
Raabestr. 4, 64291 Darmstadt

Kontakt

Prof. Dr. Bernhard Humm
Hochschule Darmstadt
Haardtring 100
64295 Darmstadt.
E-Mail: bernhard.humm@h-da.de

Bezugsquelle

Dieses Dokument ist ein Pre-Print des Autorenkollektivs. Das Copyright liegt beim Springer-Verlag. Der Artikel kann beim Springer-Verlag unter der folgenden Adresse erworben werden:
<http://www.springerlink.com/openurl.asp?genre=article&id=doi:10.1007/s00287-012-0619-2>