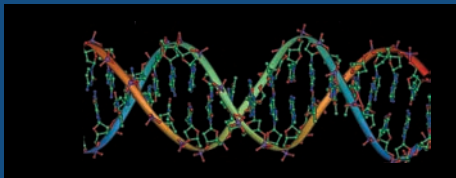
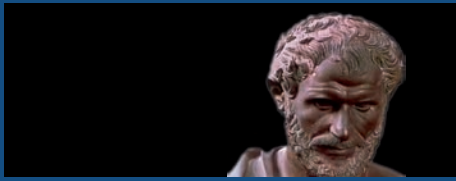


Ludger Jansen,
Barry Smith (Hrsg.)

BIOMEDIZINISCHE ONTOLOGIE

Wissen strukturieren
für den Informatik-Einsatz



Ludger Jansen und Barry Smith (Hg.)

Biomedizinische Ontologie

Biomedizinische Ontologie

Wissen strukturieren für den Informatik-Einsatz

herausgegeben von

Ludger Jansen und Barry Smith

mit Beiträgen von

Thomas Bittner, Berit Brogaard, Boris Hennig, Ludger Jansen,
Ingvar Johansson, Bert Klagges, Ulf Schwarz und Barry Smith

Für die Veröffentlichung als e-Book durchgesehene Ausgabe



vdf Hochschulverlag AG an der ETH Zürich

© CC BY NC ND , <https://vdf.ch/biomedizinische-ontologie-1196087001.html>

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Das Werk einschliesslich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung ausserhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung des Verlages unzulässig und strafbar. Das gilt besonders für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

ISBN: 978-3-7281-3183-6 (Buchausgabe)

ISBN: 978-3-7281-3362-5

DOI-Nr.: 10.3218/3362-5

www.vdf.ch

verlag@vdf.ch

2011, für die Veröffentlichung als e-Book durchgesehene Ausgabe

© 2008, vdf Hochschulverlag AG an der ETH Zürich

Inhaltsübersicht

| | |
|--|-----|
| Vorwort | 13 |
| Einleitung | 15 |
| Kapitel 1 Philosophie und biomedizinische Forschung | 17 |
| Kapitel 2 Realitätsrepräsentation: Das Ziel der Ontologie | 31 |
| Kapitel 3 Granulare Partitionen | 47 |
| Kapitel 4 Klassifikationen | 67 |
| Kapitel 5 Kategorien: Die <i>top level</i> Ontologie | 85 |
| Kapitel 6 Räumliche Entitäten: Örter, Löcher, Grenzen | 113 |
| Kapitel 7 Zeitliche Entitäten: Geschehnisse | 127 |
| Kapitel 8 Ontologische Relationen | 155 |
| Kapitel 9 Subsumptionsarten, Spezifikation und Spezialisierung | 173 |
| Kapitel 10 Die Ontologie des Embryos | 199 |
| Kapitel 11 Ein neues Bild von Ontologie | 229 |
| Über IFOMIS | 233 |
| Über die Autoren | 235 |
| Nachweise | 237 |
| Literatur | 239 |

Ausführliches Inhaltsverzeichnis

| | |
|------------------|----|
| Vorwort | 13 |
| Einleitung | 15 |

Kapitel 1

| | |
|--|----|
| Philosophie und biomedizinische Forschung..... | 17 |
|--|----|

Barry Smith und Bert Klagges

| | |
|--|----|
| 1.1 Die neue angewandte Ontologie..... | 17 |
| 1.2 Der geschichtliche Hintergrund der angewandten Ontologie | 19 |
| 1.3 Der ontologische Perspektivismus | 20 |
| 1.4 Die modulare Struktur des Biologischen | 22 |
| 1.5 Kommunizieren zwischen Perspektiven..... | 23 |
| 1.6 Ontologie und Biomedizin..... | 25 |
| 1.7 Die Rolle der Philosophie | 27 |
| 1.8 Die Vielfaltigkeit der Lebensformen | 29 |

Kapitel 2

| | |
|---|----|
| Realitätsrepräsentation: Das Ziel der Ontologie | 31 |
|---|----|

Barry Smith

| | |
|---|----|
| 2.1 Idealismus..... | 31 |
| 2.2 Zwei Argumente für die begriffszentrierte Auffassung und ihre Widerlegung... 34 | |
| 2.3 Wie man „Begriff“ definiert..... | 36 |
| 2.4 Die linguistische Lesart von „Begriff“ | 38 |
| 2.5 <i>Is_a</i> und die linguistische Lesart..... | 39 |
| 2.6 Die technische Lesart von „Begriff“ | 41 |
| 2.7 Eine ontologische Wende | 42 |

Kapitel 3

| | |
|----------------------------|----|
| Granulare Partitionen..... | 47 |
|----------------------------|----|

Thomas Bittner und Barry Smith

| | | |
|-------|--|----|
| 3.1 | Granularität – die „Körnigkeit“ der Realität | 48 |
| 3.2 | Partitionen als Lösungsmöglichkeit von Granularitätsproblemen | 49 |
| 3.3 | Partitionen als strukturierte Gitter | 51 |
| 3.4 | Die Theorie der granularen Partitionen als Alternative zu Mengentheorie und Mereologie..... | 53 |
| 3.5 | Typen granularer Partition | 56 |
| 3.6 | Die granulare Partition als System von Zellen | 59 |
| 3.6.1 | Eine zweiteilige Theorie | 59 |
| 3.6.2 | Die Unterzellenrelation | 61 |
| 3.6.3 | Die Existenz einer maximalen Zelle | 62 |
| 3.6.4 | Die Bedingung der endlichen Kette | 62 |
| 3.6.5 | Das Verhältnis zwischen granularer Partition und Realität | 63 |
| 3.7 | Granulare Partition und biomedizinische Forschung | 64 |

Kapitel 4

| | |
|-----------------------|----|
| Klassifikationen..... | 67 |
|-----------------------|----|

Ludger Jansen

| | | |
|-------|---|----|
| 4.1 | Chinesische Tiere: Wie man eine gute Klassifikation erstellt | 67 |
| 4.2 | Medizindatenbanken: Wie man eine schlechte Klassifikation erstellt..... | 71 |
| 4.2.1 | Strukturiertheit: Gruppen und Tiere..... | 71 |
| 4.2.2 | Disjunktivität und Exhaustivität: Patienten | 72 |
| 4.2.3 | Uniformität: Labortiere | 77 |
| 4.2.4 | Meta-Typen und „Anderes“ | 77 |
| 4.3 | Einschränkende Randbedingungen für Klassifikationen..... | 78 |
| 4.4 | Referenzontologien: Ein Lösungsversuch | 81 |
| 4.5 | Exotisches Denken? Oder ein ungeeignetes Werkzeug? | 82 |

Kapitel 5

| | |
|--|----|
| Kategorien: Die <i>top level</i> Ontologie | 85 |
|--|----|

Ludger Jansen

| | | |
|-----|---|-----|
| 5.1 | SUMO, CYC & Co. | 85 |
| 5.2 | Was sind Kategorien? | 90 |
| 5.3 | Die zehn Kategorien des Aristoteles | 92 |
| 5.4 | Abhängige und unabhängige Entitäten | 93 |
| 5.5 | Kontinuanten und Okkurrenten | 96 |
| 5.6 | Universalien und Einzeldinge | 100 |
| 5.7 | Komplexe Entitäten | 103 |
| 5.8 | Die ungeschliffenen Kanten des Sowa-Diamanten | 110 |
| 5.9 | Ausblick | 112 |

Kapitel 6

| | |
|---|-----|
| Räumliche Entitäten: Örter, Löcher, Grenzen | 113 |
|---|-----|

Barry Smith

| | | |
|-----|---------------------------------|-----|
| 6.1 | Die Ontologie des Sessels | 113 |
| 6.2 | Die Ontologie der Örter | 115 |
| 6.3 | Die Ontologie der Löcher | 118 |
| 6.4 | Fiat-Grenzen | 120 |
| 6.5 | Aristoteles revidiert | 123 |

Kapitel 7

| | |
|---|-----|
| Zeitliche Entitäten: Geschehnisse | 127 |
|---|-----|

Boris Hennig

| | | |
|-------|---|-----|
| 7.1 | Dinge, die nicht in der Zeit sind | 127 |
| 7.2 | Was so alles geschehen kann | 130 |
| 7.2.1 | Augenblickliche vs. ausgedehnte Geschehnisse | 130 |
| 7.2.2 | Geschehnisse mit allgemein bestimmtem Verlauf | 130 |
| 7.2.3 | Allgemein intern strukturierte Geschehnisse | 132 |
| 7.2.4 | Telische und atelische Geschehnisse | 134 |

| | | |
|-------|---|-----|
| 7.2.5 | Vollendung vs. Beendigung | 135 |
| 7.2.6 | Zwischenbilanz | 136 |
| 7.2.7 | Einfache und komplexe Geschehnisse..... | 136 |
| 7.3 | Typen und Instanzen von Geschehnissen..... | 139 |
| 7.3.1 | Dinge instantiieren keine Geschehnistypen..... | 140 |
| 7.3.2 | Wie Geschehnistypen durchlaufen werden | 140 |
| 7.4 | Prozesse und ihre Teile | 142 |
| 7.4.1 | Rezepte für Handlungen | 142 |
| 7.4.2 | Reguläre Ausdrücke | 143 |
| 7.4.3 | Typen, ihre Teile und ihre Instanzen..... | 145 |
| 7.4.4 | Dauer kraft des Typs | 146 |
| 7.4.5 | Vergangene Geschehnisse..... | 147 |
| 7.4.6 | Typen von Prozessen durch Teile instantiiert..... | 148 |
| 7.4.7 | Ein Baumdiagramm | 149 |
| 7.5. | Notwendige Unabgeschlossenheit..... | 151 |
| 7.5.1 | Die Küste von Norwegen | 152 |
| 7.5.2 | Vierdimensionalismus..... | 152 |
| 7.6 | Schluss | 154 |

Kapitel 8

| | |
|-------------------------------|-----|
| Ontologische Relationen | 155 |
|-------------------------------|-----|

Ulf Schwarx und Barry Smith

| | | |
|-------|--|-----|
| 8.1 | Was sind und was sollen formalontologische Relationen?..... | 155 |
| 8.2 | Formalontologische Relationen definieren: Chancen und Probleme | 159 |
| 8.3 | Arten von Relationen..... | 160 |
| 8.4 | Arten von Relata und Beschränkungen der Anwendung relationaler Ausdrücke..... | 162 |
| 8.5 | Primitive Relationen auf der Ebene der Instanzen..... | 164 |
| 8.6 | Formale Definitionen der Relationen auf der Ebene der Universalien | 166 |
| 8.6.1 | Die Definition der Klassenzugehörigkeits-Relation..... | 166 |
| 8.6.2 | Die Definition der Teil-Ganzes-Relation..... | 167 |
| 8.6.3 | Die Definition der Partizipations-Relation..... | 168 |
| 8.7 | Logik der Relationen..... | 169 |
| 8.8 | Ausblick..... | 171 |

Kapitel 9

| | |
|---|-----|
| Subsumptionsarten, Spezifikation und Spezialisierung..... | 173 |
|---|-----|

Ingvar Johansson

| | | |
|-----|---|-----|
| 9.1 | Einleitung | 173 |
| 9.2 | Genus-Subsumption versus Determinablen-Subsumption..... | 177 |
| 9.3 | Spezifikation..... | 187 |
| 9.4 | Spezialisierung..... | 189 |
| 9.5 | Einfache und multiple Vererbung..... | 191 |
| 9.6 | Philosophie und Informatik..... | 196 |

Kapitel 10

| | |
|---------------------------------|-----|
| Die Ontologie des Embryos | 199 |
|---------------------------------|-----|

Barry Smith und Berit Brogaard

| | | |
|-------|---|-----|
| 10.1 | Einleitung | 199 |
| 10.2 | Kennzeichen einer Substanz..... | 200 |
| 10.3 | Organismen als kausale Systeme | 203 |
| 10.4 | Die hierarchische Struktur des Organismus | 204 |
| 10.5 | Wann beginnt ein menschliches Lebewesen zu existieren?..... | 206 |
| 10.6 | Alternative Schwellenwerte..... | 207 |
| 10.7 | Zwillingsbildung..... | 217 |
| 10.8 | Der Begriff der Nische | 221 |
| 10.9 | Ist das Foster mit der Mutter verbunden? | 223 |
| 10.10 | Ist das Foster Teil der Mutter? | 226 |
| 10.11 | Stadien der Bildung der menschlichen Substanz | 227 |

Kapitel 11

| | |
|------------------------------------|-----|
| Ein neues Bild von Ontologie | 229 |
|------------------------------------|-----|

Ludger Jansen

| | |
|-----------------------|-----|
| Über IFOMIS..... | 233 |
| Über die Autoren..... | 235 |
| Nachweise | 237 |
| Literatur | 239 |

Vorwort

Dieses Buch betritt Neuland. Es ist eine Einführung in das neue Gebiet der angewandten Ontologie. Die angewandte Ontologie ist ein multidisziplinäres Arbeitsgebiet, in dem Philosophen gemeinsam mit Informatikern und Vertretern der jeweils thematischen Wissenschaftsbereiche, in unserem Fall mit Biologen und Medizinern, daran arbeiten, wissenschaftliches Wissen informationstechnisch zu repräsentieren. Es zeigt, wie Philosophie eine praktische Anwendung findet, die von zunehmender Wichtigkeit nicht nur in den heutigen Lebenswissenschaften ist. Und so richtet sich dieses Buch an Philosophen, aber auch an interessierte Biologen, Mediziner und Informatiker.

Zugleich dokumentiert das Buch die Arbeit des von der Volkswagen-Stiftung geförderten Forschungsprojekts „Formen des Lebens“. Dieses Forschungsprojekt wurde vom *Institute for Formal Ontology and Medical Information Science* (IFOMIS), zunächst in Leipzig, dann in Saarbrücken, gemeinsam mit dem Lehrstuhl von Pirmin Stekeler-Weithofer vom Institut für Philosophie und dem Lehrstuhl für Genetik der Universität Leipzig durchgeführt. Daher haben wir als erstes der Volkswagen-Stiftung zu danken, welche die hier vorgestellten Forschungsarbeiten und die Fertigstellung und Veröffentlichung dieses Buches finanziert hat. Zugleich gilt der Dank auch der Alexander-von-Humboldt-Stiftung, die im Rahmen ihres Wolfgang-Paul-Programms die Gründung von IFOMIS überhaupt erst ermöglicht hat.

Zu danken haben wir auch vielen Kollegen und Kooperationspartnern im In- und Ausland sowie allen, die bisher an den Projekten des IFOMIS mitgewirkt haben. Insbesondere danken wir Mathias Brochhausen, der an der Konzeption dieses Bandes mitgearbeitet und die Übersetzung des dritten Kapitels übernommen hat. Die Arbeit von Barry Smith während der letzten Phasen dieses Buchprojektes wurde unterstützt durch das *National Center for Biomedical Ontology* im Rahmen der amerikanischen *Institute of Health Roadmap*.

Der doppelten Zielsetzung dieses Buches entsprechend, basieren die Kapitel dieses Buches teilweise auf bereits veröffentlichten Arbeiten des For-

schungsprojektes „Formen des Lebens“. Einige Beiträge sind eigens für dieses Buch verfasst, andere eigens für dieses Buch übersetzt worden. Zudem sind alle Texte inhaltlich und redaktionell so überarbeitet worden, dass sie sich hier stimmig und in guter Lesbarkeit in einem Buch zusammenfinden. So sei schließlich auch den Autoren für ihre Mitarbeit an diesem Buchprojekt ganz herzlich gedankt. Catherine Dosch und Bastian Fischer haben das Literaturverzeichnis erstellt und Stefan Schlachter hat das gesamte Manuskript gründlich gelesen und durch seine Hinweise verbessert. Unser Dank geht schließlich auch an Bernd Knappmann und Angelika Rodlauer, die uns als Lektoren des vdf Hochschulverlags bei der Veröffentlichung des Buches zur Seite standen.

Rostock und Saarbrücken im Dezember 2007

Ludger Jansen & Barry Smith

Einleitung

LUDGER JANSEN

Der Gegenstand dieses Buches ist die biomedizinische Ontologie, die ontologische Untersuchung der Welt der Lebenswissenschaften. Die biomedizinische Ontologie hat ein klares Anwendungsziel: Sie will die Repräsentation biomedizinischen Wissens in Computerdatenbanken ermöglichen und unterstützen. Damit ist sie eine Unterdisziplin der angewandten Ontologie. Ein solcher Gegenstand bringt gleich mehrere klärungsbedürftige Voraussetzungen mit sich, beispielsweise dass es von Philosophie im Allgemeinen und von Ontologie im Besonderen überhaupt so etwas wie eine Anwendung geben kann. Die Aufgabe, diese Ausgangsvoraussetzungen zu diskutieren und argumentativ zu untermauern, fällt dem ersten Kapitel zu. In ihm zeigen der Philosoph Barry Smith und der Genetiker Bert Klagges, wieso und auf welche Weise philosophische Analysen für die biomedizinische Informatik relevant sind. Im zweiten Kapitel zeigt Smith, dass es Aufgabe der Ontologie ist, die Realität zu repräsentieren bzw. die empirischen Wissenschaften bei der Repräsentation der Realität zu unterstützen. Dazu stellt er zunächst dar, dass eine so verstandene Ontologie erstens möglich ist und dass es zweitens nur eine solche Ontologie sein kann, die dem Selbstverständnis der Naturwissenschaften als Wirklichkeits-Wissenschaften gerecht wird.

Doch wie soll eine solche Repräsentation der Wirklichkeit aussehen? Hat die Wirklichkeit nicht viel mehr Facetten, als irgendeine Repräsentation jemals wird ausschöpfen können? Dieses Problem soll die Theorie der granularen Partitionen lösen, die Thomas Bittner und Barry Smith in Kapitel 3 entwickeln. Ein klassisches Mittel zur Wirklichkeits-Repräsentation ist die Klassifikation, also die Auflistung und die Hierarchisierung der für ein Gebiet relevanten Universalien. Die Regeln, nach denen Klassifikationen erfolgen sollen, und die Einschränkungen, denen Klassifikationen in der Praxis unterworfen sind, werden von Ludger Jansen in Kapitel 4 diskutiert. Jede Klassifikation benötigt aber oberste Klassen, traditionell Kategorien genannt. Die Frage, welche Kategorien für die Klassifikationen, die die Wirklichkeit repräsentieren

sollen, gewählt werden sollen, behandelt Ludger Jansen in Kapitel 5. Die dort vorgestellten Kategorien werden in Kapitel 6 von Barry Smith ergänzt um Kategorien für räumliche, nicht-materielle Entitäten wie Löcher und Tunnel. Boris Hennig stellt dann in Kapitel 7 einige Besonderheiten von Geschehnissen, also von zeitlichen Entitäten, dar.

Doch das Aufzählen der einschlägigen Universalien ist nur ein Teil der Repräsentation der Wirklichkeit. Genauso wichtig ist es, zu benennen, welche Beziehungen zwischen diesen Universalien bestehen. Solche Beziehungen sind etwa die Subsumptions-Relation *is_a* und die Teil-Ganzes-Relation *part_of*. In Kapitel 8 veranschaulichen Ulf Schwarz und Barry Smith, wie solche Relationen charakterisiert werden müssen, damit sie in computergestützten Informationssystemen angewendet werden können. Ingvar Johansson zeigt dann in Kapitel 9, dass das, was in den Informationswissenschaften naiv als eine einheitliche *is_a*-Relation behandelt wird, tatsächlich in vier verschiedene Relationen zerfällt, die auf ganz unterschiedlichen ontologischen Grundlagen aufbauen und in ihren logischen Eigenschaften signifikant voneinander abweichen.

In Kapitel 10 stellen Barry Smith und Berit Brogaard dar, dass ontologische Überlegungen nicht nur einen Beitrag zur Repräsentation der Ergebnisse empirischer Wissenschaften wie der Medizin und der Biologie leisten, sondern dass sie auch für die Diskussion medizinethischer Fragen relevant sein können. Exemplarisch untersuchen Smith und Brogaard, wie sich vor dem Hintergrund von Identitätsüberlegungen die Frage nach dem Beginn des Lebens eines Menschen stellt.

In all diesen Kapiteln wird das Bild einer neuen Ontologie entworfen. Diese neue Ontologie kann nicht nur angewendet werden; sie ist darüber hinaus realistisch, perspektivistisch, fallibilistisch und nicht-reduktionistisch. Die Charakteristika dieser neuen Ontologie werden von Ludger Jansen in Kapitel 11 noch einmal zusammengefasst.

Zunächst aber wird sich Kapitel 1 den Fragen zuwenden, wie angewandte Philosophie überhaupt möglich ist und welchen Beitrag die Ontologie zur Unterstützung von Biologie und Medizin leisten kann.

Kapitel 1

Philosophie und biomedizinische Forschung

BARRY SMITH UND BERT KLAGGES

1.1 Die neue angewandte Ontologie

In den letzten Jahren hat sich ein neuer Wissenschaftszweig entwickelt: die *angewandte Philosophie*, die sich vor allem im Bereich der Medizin- und Bioethik profiliert. Auch im deutschen Sprachraum gibt es inzwischen auf diesem Gebiet eine Reihe wichtiger Beiträge prominenter Philosophen.

In der angewandten Philosophie wird eine neue Ebene der Interaktion mit den nichtphilosophischen Nachbardisziplinen erreicht. Beiträge wie Ralf Stoeckers Buch über das medizinethische Problem des Hirntodes und Nikolaus Knoepfflers Buch über „Forschung an menschlichen Embryonen“¹ machen deutlich, dass die ernsthafte philosophische Behandlung bio- und medizinethischer Probleme eine fundierte Auseinandersetzung mit den relevanten biomedizinischen Fakten voraussetzt. Das bloße Aufstellen philosophischer Theorien und Argumente bietet keine ausreichende Grundlage für künftige, signifikante Arbeit auf diesem Gebiet.

In der Medizin- und Bioethik tätige Philosophen müssen sich nicht nur mit den Inhalten der (Bio-)Wissenschaften vertraut machen; sie müssen auch Wege finden, diese Inhalte in ihre philosophischen Theorien zu integrieren. Vor diesem Hintergrund erscheint es nur logisch, dass sich in jüngster Vergangenheit mit der *angewandten Ontologie* ein Zweig der Philosophie zur angewandten Ethik gesellt hat, der philosophische Ideen und Methoden aus dem Bereich der Ontologie anwendet, um Ergebnisse der wissenschaftlichen Forschung ontologisch aufzubereiten.

¹ Stoecker 1999 und Knoepffler 1999.

Selbst die Computer- und Informationswissenschaften haben in bewusster Anlehnung an die philosophische Verwendung des Wortes den Terminus „Ontologie“ übernommen.² Bereits in den siebziger Jahren wurde im Zusammenhang mit den Bemühungen um die Datenintegration erkannt, dass die vielen verschiedenen, im Laufe der Zeit entwickelten Informationssysteme jeweils auf eigenen Richtlinien für Terminologie und Kategorisierung beruhten. Innerhalb der Informatik konnte sich so das *Ontological Engineering* etablieren, das versprach, den Weg zu einer gemeinsamen Kommunikationsbasis – einer Art Esperanto für Datenbanken – zu bahnen. Das Ziel bestand darin, robuste Kategoriensysteme für die Datenerfassung zu entwickeln, um sowohl für die Kompatibilität als auch für die Wiederverwendbarkeit elektronisch gespeicherter Informationen zu sorgen.

Das *Metaphysics Lab* der Stanford University, die *Laboratorien für angewandte Ontologie* in Trient und Rom sowie das Turiner *Centro Interuniversitario di Ontologia Teorica e Applicata* nutzen ontologische Ideen und Methoden in der Interaktion zwischen Philosophie und verschiedenen Bereichen der Informationswissenschaften. Die Ergebnisse dieser Forschungstätigkeiten werden von Technologie-Firmen wie *Ingenuity Systems* (Mountain View, USA), *Cycorp, Inc.* (Austin, USA), *Language and Computing* (Zonnegem, Belgien, und Philadelphia, USA) und *Ontology Works* (Baltimore, USA) in Software-Applikationen umgesetzt.

Die auch die biomedizinische Forschung immer weiter durchdringende Informationstechnologie verlangt danach, die Biomedizin gleichermaßen ontologisch zu erschließen. So greift die Bioinformatik neuerdings auf die angewandte Ontologie zurück, um die theoretischen Grundlagen für die Navigation zwischen verschiedenen heterogenen und autonomen biologischen und medizinischen Informationsquellen zu schaffen.³

Gegenwärtig ist das im Jahr 2002 an der Universität Leipzig gegründete und jetzt in Saarbrücken angesiedelte *Institute for Formal Ontology and Medical Information Science* (IFOMIS) die einzige Forschungseinrichtung zur angewandten Ontologie im deutschen Sprachraum. Zugleich ist das IFOMIS die erste Forschungsstätte gewesen, die sich speziell der Anwendung der Ontologie auf

² Smith 2003b, 155–166.

³ Vgl. Pisanelli (Hg.) 2004.

den Bereich der Biomedizin gewidmet hat.⁴ Die Forscher des IFOMIS kooperieren eng mit anderen Vertretern der angewandten Ontologie und mit Bioinformatikern. Ihre Arbeit stellt eine einmalige Kombination aus der Orientierung an klassischen philosophischen Fragestellungen und dem Fokussieren auf die Problematik der aktuellen wissenschaftlichen Forschung in der Biomedizin allgemein und in der Bioinformatik im Besonderen dar.

1.2 Der geschichtliche Hintergrund der angewandten Ontologie

Die Wurzeln der angewandten Ontologie reichen zurück bis zu Aristoteles. In der angewandten Ontologie wird die Grundidee Aristoteles' wieder aufgegriffen, dass es möglich sei, bestimmte Strukturen der von den Wissenschaften untersuchten Wirklichkeit philosophisch zu erfassen. Wie kann aber diese alte Idee in der heutigen Welt mit neuem Leben erfüllt werden? Um diese Frage zu beantworten, werfen wir einen kurzen Blick zurück in die Geschichte der Philosophie, bevor wir zur Problematik der Bioontologie zurückkehren.

Eine Ontologie kann der Einfachheit halber als eine Art Katalog der Objekte, Attribute, Prozesse und Relationen in einem vorgegebenen Gebiet angesehen werden. (Diese Auffassung entspricht ziemlich genau der Verwendung des Terminus unter Informatikern.) Eine Ontologie unterteilt die Welt in *Klassen* oder *Arten* (in klassischer philosophischer Terminologie: *Universalien*); in komplexeren Anwendungsgebieten sind mehrere Ebenen hierarchisch angeordneter Klassen notwendig. Die von Carl von Linné (1717–1778) in seinem *Systema naturae* (1735) und anderen Werken aufgestellten Taxonomien der Organismen sind Beispiele von Ontologien in diesem Sinn; auch in der Medizin wandte Linné die aristotelische Methodik hierarchischer Kategorien in seiner Klassifikation von Krankheiten an.

Aristoteles selbst war der Auffassung, dass die gesamte Wirklichkeit mit einem einzigen System von Kategorien zu erfassen wäre. Unter dem Einfluss Descartes' (1596–1650) und Kants (1724–1804) wurde die lange Zeit dominante Metaphysik aristotelischer Prägung in ihrer Rolle als zentrale Disziplin der Philosophie durch die Epistemologie ersetzt. Die durch Charles Darwin (1809–1882) ausgelöste wissenschaftliche Revolution in der Biologie ver-

⁴ Vgl. Smith, Ceusters und Siebert 2004.

drängte die von Aristoteles inspirierte Auffassung der Spezies als Teil einer für immer festgelegten Ordnung auch aus der Biologie; diese Entwicklung wurde in der ersten Hälfte des zwanzigsten Jahrhunderts unter dem Einfluss der logischen Positivisten vorangetrieben, die die Metaphysikkritik Kants weiterführten.

Gegen Ende des zwanzigsten Jahrhunderts änderte sich die Lage allerdings sowohl in der Philosophie als auch in der Biologie erneut. In der Philosophie ist es Denkern wie Saul Kripke, Hilary Putnam, David Armstrong, Roderick Chisholm, David Lewis und Ruth Milikan gelungen, der ontologischen bzw. metaphysischen Art des Philosophierens als „analytische Metaphysik“ wieder zu gebührender Anerkennung zu verhelfen – in einer Entwicklung, die auch bestimmte Elemente der aristotelischen Kategorienlehre (als Lehre von den „Universalien“ oder *natural kinds*) neu aufleben ließ. Gleichzeitig erhielt mit der gewachsenen Bedeutung der neuen Bioethik gerade auch die Philosophie der biologischen Wissenschaften eine neuartige, ontologische Prägung. In der Biologie selbst gewannen viele der zwischenzeitlich für obsolet erachteten, klassischen Ideen zu Kategorienhierarchien wieder an Aktualität, beispielsweise die bereits durch Aristoteles in den Kategorien und in *De Interpretatione* skizzierte Methodik und Definitionstechnik.⁵ Diese Ideen waren zwar auch durch die Darwinsche Neuinterpretation, die die Kategorien unter Berücksichtigung der Evolution als zeitlich befristet begriff, nie komplett aus der Biologie verdrängt worden. Jedoch ließ die wachsende Bedeutung von Taxonomie- und Terminologiesystemen vor dem Hintergrund der heutigen Forschung in der Genomik und in der heutigen Bioinformatik diese Ideen wieder mit neuer Kraft erblühen.

1.3 Der ontologische Perspektivismus

Die aristotelische Auffassung, man könne die gesamte Wirklichkeit mit einem einzigen System von Kategorien erfassen, erwies sich im Zuge der dargestellten Entwicklungen als überholt. Stattdessen setzte sich zunehmend die Erkenntnis durch, dass mehrere verschiedene, jeweils partiell anwendbare Kate-

⁵ Für eine Einschätzung der Aktualität der Kategorienschrift im Rahmen der angewandten Ontologie vgl. Jansen 2007.

goriensysteme benötigt werden, um die durch die Forschung der verschiedenen Wissenschaften erschlossene Wirklichkeit erfassen zu können.

Durch ein Kategoriensystem wird ein Gegenstandsbereich in Kategorien, Klassen, Typen, Gruppierungen oder Arten aufgeteilt. Ein solches System gibt Aufschluss darüber, wie sich die entsprechenden Kategorien von Objekten zueinander verhalten. Die Taxonomien Linnés stellen beispielsweise Aufteilungen der Welt der Organismen in ihre verschiedenen Ober- und Unterkategorien (Reiche, Stämme, Klassen, Ordnungen, Familien, Gattungen usw.) dar, wie sie nunmehr im *International Code of Zoological Nomenclature*, im *International Code of Botanical Nomenclature* und im *International Code of Nomenclature of Bacteria* definiert sind.

Nun kann ein und derselbe Ausschnitt der Wirklichkeit oft durch verschiedene, nicht immer überschneidungsfreie Aufteilungen erfasst werden: Das Periodensystem der Elemente ist eine Aufteilung der (nahezu) gesamten materiellen Wirklichkeit in chemische Grundbestandteile. Ebenso ist der astronomische Kategorienbaum, eine Taxonomie der im All vorkommenden Gebilde (Sonnensysteme, Planeten, Monde, Asteroiden usw.), eine Aufteilung der (nahezu) gesamten materiellen Wirklichkeit – nur aus einer anderen Perspektive und in einer anderen Granularität (dazu mehr in Kap. 3.1).

Die Auffassung, dass mehrere solcher sich überschneidenden Aufteilungen der Wirklichkeit gleichermaßen verwendet werden können und müssen, werden wir im Folgenden „ontologischer Perspektivismus“ nennen. Im Gegensatz zu manchen perspektivistischen Positionen in der Geschichte der Philosophie (etwa bei Nietzsche oder Foucault) ist diese ontologische Variante des Perspektivismus mit dem wissenschaftlichen Weltbild durchaus vereinbar. Der ontologische Perspektivist akzeptiert, dass es alternative Sichtweisen auf die eine Wirklichkeit gibt und dass dieselbe Wirklichkeit folglich unterschiedlich präsentiert werden kann. Dasselbe Stück Welt kann entweder mit bloßem Auge, durch ein Fernrohr oder durch ein Mikroskop betrachtet werden. Analog lassen sich die Gegenstände der wissenschaftlichen Forschung statt mit einem optischen Instrument mit einer Taxonomie, Theorie oder Sprache mehr oder weniger adäquat widerspiegeln.

Der ontologische Perspektivist sieht sich jedoch mit einem schwerwiegenden Problem konfrontiert: Wie können diese verschiedenen Perspektiven kompatibel gemacht werden? Wie können wissenschaftliche Disziplinen miteinander kommunizieren, wenn sie mit Aufteilungen unterschiedlicher Kör-

nigkeit oder Granularität arbeiten? Welche Wissenschaftsdisziplin kann die benötigte integrierende Plattform bereitstellen? Im Folgenden soll gezeigt werden, dass eine philosophisch fundierte und auf rigorosen formalen Prinzipien aufgebaute Ontologie für die angestrebte Integration unabdingbar und unersetzlich ist. Die Aufgabe ist dementsprechend vor allem pragmatischer Natur: Selbst wenn man zum Schluss gelangt, dass eine rigorose formale Ontologie sowohl prinzipiell als auch zum Beispiel unter Berücksichtigung des ständigen Erkenntnisgewinns in der Naturwissenschaft die Wirklichkeit immer nur unvollständig wiedergeben kann, ist eine solche Ontologie doch zumindest für die aus Sicht der aktuellen Biologie und Biomedizin unverzichtbare Datenintegration notwendig.

1.4 Die modulare Struktur des Biologischen

Zu den für das in diesem Buch verfolgte Projekt wichtigen Perspektiven gehören vor allem jene, die wissenschaftliche Erklärungen stützen. Dies sind häufig Perspektiven einer feinen Körnigkeit, die uns zum Beispiel über die Anzahl und Anordnung der Gene auf einem Chromosom oder über die chemischen Reaktionen innerhalb eines Reaktionspfads Aufschluss geben. Wenn allerdings die wissenschaftliche Erfassung dieser Strukturen für die Zwecke der Medizin von Bedeutung sein soll, so muss sie um Aufteilungen einer ganz anderen, grobkörnigeren Art ergänzt werden, nämlich um Aufteilungen auf der Ebene der alltäglichen Erfahrung. Dazu gehören beispielsweise Aufteilungen der Krankheiten und ihrer Symptome, der menschlichen Verhaltensweisen und der dafür relevanten Umwelten.

Wie schon Leibniz konstatierte, erweisen sich die mit dem bloßen Auge wahrnehmbaren Entitäten der natürlichen Welt bei näherem Hinsehen als etwas Zusammengesetztes: Beispielsweise ist ein Embryo eine hierarchische Verschachtelung von Organen, Zellen, Molekülen, Atomen und subatomaren Teilen. „Eine Einheit im Mittelbereich einer solchen verschachtelten Struktur ist gleichzeitig umschlossen und umschließend, Ganzes und Teil, Entität und Umwelt. Ein Organ, zum Beispiel die Leber, ist ein *Ganzes* hinsichtlich der sie konstituierenden Zellverbände und ein *Teil* in Bezug auf den umliegenden Organismus, den es mit anderen Organen bildet. Ein Organ bildet die Um-

gebung seiner Zellen und ist selbst wiederum von einem Organismus umgeben.“⁶

Die biologische Wirklichkeit erscheint als eine komplexe Hierarchie ineinander verschachtelter Ebenen. Moleküle sind Teile von Molekülsammlungen, die wir „Zellen“ nennen; Zellen sind in Blätter eingebettet, Blätter in Bäume, Bäume in Wälder und so weiter. Wie unsere Wahrnehmung und unser Handeln mehr oder weniger perfekt auf die Ebene der alltäglichen Erfahrung abgestimmt sind,⁷ so sind auch die unterschiedlichen biologischen Wissenschaften auf verschiedene Ebenen innerhalb dieser komplexen Hierarchie abgestimmt. So gibt es zum Beispiel nicht nur die klinische Physiologie, sondern auch die Zell- und die Molekularphysiologie; neben der makroskopischen Anatomie mit ihren Nebenzweigen, wie klinischer, chirurgischer und radiologischer Anatomie, gibt es auch die mikroskopische Anatomie mit ihren Unterdisziplinen, wie Histologie und Zytologie.

Der ontologische Perspektivismus soll einen metaphysischen Rahmen bieten. In diesen Rahmen können die Gegenstandsbereiche der verschiedenen Disziplinen eingeordnet werden, sodass sie in einem synoptischen Metasystem sowohl miteinander als auch mit einer Ontologie auf der Ebene der grobkörnigen Gegenstände und Prozesse der menschlichen Lebenswelt verbunden werden können.

1.5 Kommunizieren zwischen Perspektiven

Die zentrale Frage bleibt damit: Wie verhalten sich die grobkörnigen Teile und Strukturen der Wirklichkeit, auf die die unmittelbare menschliche Wahrnehmung und das menschliche Handeln gerichtet sind, zu solchen Teilen, Dimensionen und Strukturen der Wirklichkeit, die uns durch die speziellen Erfassungsmethoden der verschiedenen Wissenschaften zugänglich gemacht werden? Diese Frage erinnert an das durch Kant inspirierte Projekt des amerikanischen Philosophen Wilfrid Sellars zur Entwicklung einer so genannten „stereoskopischen Betrachtungsweise“, welche sowohl die Inhalte unseres alltäglichen Denkens und Sprechens als auch die maßgeblichen Erkenntnisse der Naturwissenschaften in einer einzigen synoptischen Auffassung von Per-

⁶ Barker 1968, 154.

⁷ Vgl. Gibson 1979.

sonen und Welt zusammenführen sollte.⁸ Diese stereoskopische Betrachtungsweise sollte sowohl dem modernen *scientific image* als auch dem *manifest image* des gesunden Menschenverstands gerecht werden und die Kommunikation zwischen ihnen ermöglichen.

Wer die Vielfalt solcher Perspektiven aus den Augen verliert, könnte versucht sein, die Frage zu formulieren: Welche ist die wahre Sonne? Die des Bauern oder die des Astronomen? Dem ontologischen Perspektivismus zufolge muss sich niemand entweder für die eine oder die andere Sichtweise der Dinge entscheiden, da sowohl Alltagswissen als auch die etablierten Wissenschaften auf Aufteilungen beruhen, die wir, unter Beachtung ihrer jeweiligen Funktion, gleichzeitig akzeptieren können.

Der kommunikative Bezugsrahmen, der benötigt wird, um zwischen diesen verschiedenen Aufteilungen navigieren zu können, soll zugleich die theoretische Grundlage für die Behandlung eines der wichtigsten Probleme der heutigen Biomedizin liefern: Wie integrieren wir das Wissen, das wir über Gegenstände und Prozesse auf der Ebene von Genen und Proteinen erlangt haben, in unser Wissen von Krankheiten und von Verhaltensweisen von Menschen oder gar in zukünftiges Wissen von möglichen gentechnologischen Pharmazeutika und Therapien? Selbstverständlich kann diese Frage hier nicht beantwortet werden. Es soll aber gezeigt werden, dass ein solcher Integrationsrahmen vor dem Hintergrund entwickelt werden kann, dass Biologie und Bioinformatik in den letzten Jahren bestimmte theoretische und methodologische Elemente der philosophischen Ontologie wieder zu neuer Aktualität verhalfen, die sich paradigmatisch um die (von Aristoteles initiierte) Lehre von hierarchischen Taxonomien drehen.

Gerade für die Biologie und die Bioinformatik haben philosophische Ideen zu Kategorien und Taxonomien – und, wie zu sehen sein wird, zu einer Reihe anderer traditioneller philosophischer Begriffe – eine neue Aktualität gewonnen. Die verschiedenen Zweige der wissenschaftlichen Biologie verwenden nach wie vor taxonomische Hierarchien als Fundament ihrer Forschung. Ihre Taxonomien beziehen sich nicht nur auf Gattungen und Arten von Organismen, sondern schließen auch genomische und proteomische Taxonomien sowie Taxonomien von Zellen und Zellkonstituenten, einzelnen biochemi-

⁸ Vgl. Sellars 1963.

schen Reaktionen und ganzen Reaktionsketten ein. Gleichzeitig werden diese Taxonomien in Form riesiger Datenbanken – wie *Flybase*, EMBL, *Unigene*, *Swiss-Prot*, SCOP oder die *Protein Data Bank* (PDB) – zum Instrument einer neuen Form der biologischen Forschung.⁹ Damit können neben praktischen Experimenten auch die Datenverarbeitung und die Informationsextraktion zu neuen wissenschaftlichen Ergebnissen führen. Die sinnvolle und fruchtbare Anwendung dieser neuen Techniken setzt aber voraus, dass das Problem der Kommunikation zwischen verschiedenen Kategoriensystemen gelöst wird.

Wir vertreten die Hypothese, dass uns der Einsatz der neuen Methoden der angewandten Ontologie einer Lösung dieses Problems näher bringt und dass es dadurch möglich ist, eine echte Zusammenarbeit zu schaffen – von Biologen, Informatikern und den zwischen ihnen vermittelnden Philosophen.

1.6 Ontologie und Biomedizin

Mit der Ausweitung der elektronischen Informationsverarbeitung sowie der enormen Zunahme des Informationsvolumens und der Informationsarten wachsen die Hürden, welche die Kommunikation überwinden muss, um zwischen Informationssystemen zu vermitteln, die auf unterschiedlichen Begriffssystemen beruhen. Die informationstechnische Unterstützung der biomedizinischen Forschung bietet dafür augenfällige Beispiele: die Entschlüsselung des Humangenoms, Studien zur Genexpression oder das neugewonnene bessere Verständnis von Proteinstrukturen – all dies sind Resultate des Strebens nach einem besseren Verständnis der Rolle erblicher Faktoren und der Umwelt für die Gesundheit und den Verlauf von Krankheiten des Menschen und der Suche nach neuen Pharmazeutika.

Die heutige Bioinformatik ist mehr als gut gerüstet, jene rechenintensiven Bereiche der biomedizinischen Forschung zu unterstützen, die beispielsweise mittels statistisch basierter Mustererkennungsmethoden *quantitative* Korrelationen untersuchen. Dagegen wird von verschiedenen Seiten¹⁰ eine geeignete *qualitative* Grundlage für diese Forschung vermisst. Um biologisch relevante quantitative Korrelationen erkennen und die dadurch gewonnenen Informa-

⁹ Vgl. Robert Stevens *Bioontology Page*, <http://www.cs.man.ac.uk/~stevensr/ontology.html>.

¹⁰ Vgl. z.B. Ouzounis et al. 2003; Rosse und Mejino 2003; Ceusters, Smith und Goldberg 2005.

tionen sinnvoll verarbeiten zu können, sind entsprechende Begriffe und Kategorien notwendig, die im Kontext einer qualitativen Theorie zu behandeln sind – einer synoptischen Theorie, die unter anderem mit sehr allgemeinen Begriffen wie Art, Spezies, Teil, Ganzes, Funktion und Prozess arbeiten müsste.

Biologen selbst haben *mitunter* ein etwas vages Verständnis von der Bedeutung dieser Termini, das allerdings für die Bedürfnisse ihrer wissenschaftlichen Arbeit völlig ausreicht. Missverständnisse können in der Kommunikation zwischen Wissenschaftlern unter anderem dadurch vermieden werden, dass zur Veranschaulichung relevante Gegenstände und Prozesse im Labor genutzt werden. Die informationstechnische Verarbeitung biomedizinischen Wissens verlangt aber nach expliziten formalen Definitionen. Solche Definitionen wiederum sind nur durch eine umfassende formale Theorie der entsprechenden Kategorien und Relationen verfügbar zu machen. Wie bereits erwähnt, wird eine solch umfassende Theorie in der Informatik eine „Ontologie“ genannt. Das Entwickeln der benötigten Ontologie bedeutet, dass die im Laufe der Zeit hervorgebrachte Menge an Terminologie- und Kategoriensystemen in ein einziges übersichtliches Ganzes zu verschmelzen ist. In den 90er Jahren waren umfangreiche Bemühungen zur Vereinheitlichung der Fachtermini darauf ausgerichtet, sie letztlich auf eine solch einheitliche Basis zu stellen. Die biomedizinische Informatik brachte Ansätze wie MeSH, die *NCBI Taxonomy*, SNOMED-CT oder die *Gene Ontology* sowie – als übergreifende Integrationsplattform – das *Unified Medical Language System* (UMLS) hervor.¹¹ Gestützt auf diese Systeme wurden die jeweiligen Gebiete nach und nach durch robuste und allgemein akzeptierte *kontrollierte Vokabulare* indiziert und von Experten in einer Weise annotiert, die auf Dauer die Kompatibilität und Wiederverwendbarkeit elektronisch gespeicherter Information sichern sollte. Diese kontrollierten Vokabulare trugen viel dazu bei, eine neue Phase der terminologischen Präzision und Ordnung in der biomedizinischen Forschung einzuläuten, sodass die erhoffte Integration biologischer Informationen greifbar schien.

Diese Anstrengungen beschränkten sich aber zu sehr auf die Terminologien und die mit Terminologien arbeitenden Verfahren des Computers. Die bloße syntaktische Exaktheit der Termini, wie sie in kontrollierten Vokabula-

¹¹ Vgl. <http://www.nlm.nih.gov/research/umls>.

ren gesammelt und geordnet sind, stand zu sehr im Vordergrund; die eigentliche ontologische, d.h. begriffliche und semantische, Klärung wurde vernachlässigt.

Definitionen wurden zwar mit Termini assoziiert. Diese stammten aber aus den medizinischen Wörterbüchern einer früheren Zeit – sie wurden für Menschen, nicht für Computer aufbereitet. Sie sind daher informeller Natur, oft zirkulär und inkonsistent.¹² Die existierenden Terminologiesysteme beruhen daher in aller Regel auf ungenau formulierten Begriffen und unscharfen Regeln zur Klassifikation. Diese Regeln liefern bei der Anwendung durch Menschen mit entsprechendem praktischem Wissen akzeptable Ergebnisse (für wiederum entsprechend erfahrene Kollegen); sie sorgen aber zunehmend für Schwierigkeiten bei der elektronischen Verarbeitung – sofern sie sich überhaupt dafür eignen. Dadurch aber geht entscheidendes Potential verloren, denn logisch strukturierte Definitionen sind eine notwendige Voraussetzung für das konsistente (und „intelligente“) Navigieren zwischen Informationsinhalten durch automatische Deduktions-Systeme. Während entsprechend qualifizierte, interessierte und motivierte Menschen mit ungenau gefassten Inhalten umgehen können, sind für elektronische Informationsverarbeitungssysteme exakte und gut strukturierte Definitionen unverzichtbar.¹³

1.7 Die Rolle der Philosophie

Bislang ist es den Bio- und Medizininformatikern selbst nicht gelungen, ein ontologisch fundiertes Instrumentarium für die Integration ihrer Daten bereitzustellen. Bisherige Ansätze, zum Beispiel das *Semantic Network* des UMLS,¹⁴ lassen immer deutlicher Probleme zutage treten, die aus der Vernachlässigung von in der Philosophie, der Logik und speziell in der Definitionstheorie allgemein anerkannten Prinzipien für die Entwicklung ontologischer Theorien erwachsen.¹⁵ Termini werden mit Konzepten verwechselt, diese wiederum mit den durch die Wörter bezeichneten Sachen selbst bzw.

¹² Beispielsweise stellen Köhler et al. 2006 für die in der *Gene Ontology* enthaltenen Definitionen gravierende Mängel hinsichtlich von Nichtzirkularität und Verständlichkeit fest.

¹³ Vgl. Smith, Köhler und Kumar 2004.

¹⁴ Vgl. McCray 2003.

¹⁵ Vgl. Smith 2004a.

mit den Prozeduren, die angewendet werden, um Wissen über diese Sachen zu erhalten. Blutdruck wird zum Beispiel mit dem Messen von Blutdruck identifiziert. Körperliche Systeme, wie das Kreislaufsystem, werden als „begriffliche Entitäten“ klassifiziert, ihre Teile aber, zum Beispiel das Herz, als „physikalische Entitäten“. Grundlegende philosophische Unterscheidungen finden keine angemessene Beachtung: So fehlt ein klares Verständnis des Verhältnisses zwischen Funktion und Prozess; beide werden etwa (zum Beispiel im Rahmen der *Gene Ontology*) mit „Tätigkeiten“ gleichgesetzt – und das, ohne diesen Begriff weiter zu erläutern.

Da die Kommunikation zwischen Computerprogrammen jedoch wesentlich fehleranfälliger ist als die zwischen Menschen, verlangt der Einsatz computergestützter Systeme in Biologie und Medizin zwangsläufig nach maximaler Klarheit und Genauigkeit – insbesondere der grundlegenden und in allen Systemen verwendeten Konzepte und Relationen wie die Teil-Ganzes-Relation (*part_of*) oder die Lokalisierung (*localised_in*). Allein eine auf philosophischen Prinzipien beruhende ontologische Theorie der entsprechenden allgemeinen Kategorien und Relationen erscheint geeignet, diese Klarheit und Genauigkeit zu gewährleisten.

Eine solche ontologische Theorie könnte nicht nur die sinnvolle Interpretation der vom Computer gelieferten Ergebnisse, sondern darüber hinaus auch eine bessere Kommunikation zwischen Wissenschaftlern verschiedener Disziplinen ermöglichen, die mit unterschiedlichem implizitem Hintergrundwissen arbeiten und daher oft Schwierigkeiten haben, gegenseitiges Verständnis zu erreichen.

Ein Instrument für eine dementsprechend bessere Kommunikation ist das durch das *Department of Biological Structure* der *University of Washington* in Seattle entwickelte *Foundational Model of Anatomy* (FMA), das im Vergleich mit sonstigen bioinformatischen Systemen neue Maßstäbe setzt. Das FMA bildet den strukturellen Aufbau des menschlichen Körpers von der makromolekularen bis zur makroskopischen Ebene ab und liefert ein robustes und konsistentes Schema für das Klassifizieren anatomischer Einheiten auf der Basis expliziter Definitionen. Dieses Schema dient zugleich als Grundlage für den *Digital Anatomist*, eine computergestützte Visualisierung des menschlichen Körpers, sowie als Muster für zukünftige Systeme, die eine exakte Darstellung der Pathologie, der physiologischen Funktionen und der Genotyp-Phänotyp-Beziehungen ermöglichen sollen. Von entscheidender Bedeutung ist, dass die Anatomie-Informatik des FMA explizit auf von Aristoteles übernommenen

Ideen zur sinnvollen Struktur von Definitionen beruht.¹⁶ Die Definition einer Klasse im FMA, zum Beispiel eine Definition für „Herz“ oder „Organ“, bestimmt dementsprechend das gemeinsame Wesen, das die entsprechenden Instanzen teilen. Dies geschieht durch die Spezifikation (a) eines *Genus*, d.h. einer umfassenderen Klasse, die die gegebene Klasse einschließt, zusammen mit (b) den *Differentiae*, die diese Instanzen innerhalb der breiteren, einschließenden Klasse charakterisieren. Die modulare Struktur der Definitionen des FMA erleichtert sowohl das effiziente Verarbeiten und Überprüfen auf Fehler als auch die konsistente Erweiterung des Gesamtsystems. Zugleich garantiert diese modulare Struktur, dass die Klassen des FMA einen echten Kategorienbaum sowohl im Sinne der alten aristotelischen als auch der von Aristoteles beeinflussten Linnéschen (Bio-)Ontologie bilden.

Diese Umsetzung der aristotelischen Lehre des *Definitio fit per genus proximum et differentiam specificam* (also des Erstellens der Definition durch Angabe des nächstgelegenen Genus und des spezifischen Unterschieds) wird mit dem aktuellen Erkenntnisstand der Biologie kombiniert. Welche Klassen in der konkreten Domäne der wissenschaftlichen Anatomie vorkommen, wird mittlerweile nicht mehr auf der Basis der sichtbaren Körperteile entschieden, sondern ist Gegenstand empirischer Forschung im Rahmen der Genetik. Phänomenologisch erkennbare anatomische Strukturen werden erst nach dem Nachweis struktureller Gene, deren koordinierter Ausdruck (*expression*) in der Entwicklung von Organismen des jeweiligen Typs die entsprechenden Instanzen hervorruft, als echte Klassen in das FMA aufgenommen.

1.8 Die Vielfältigkeit der Lebensformen

Die rasche Entwicklung der biologischen Forschung bringt ein neues Verständnis sowohl der Vielfalt der Ausprägungen als auch der gleichzeitig erstaunlich geringen Variationsbreite der Grundphänomene des Lebens mit sich. Es gibt einerseits eine Vielfalt der *substantiellen Formen des Lebens*, zum Beispiel Mitochondrien, Zellen, Organe, Organsysteme, ein- und mehrzellige Organismen, Arten, Familien, Gesellschaften, Populationen sowie Embryonen und andere Lebensformen in verschiedenen Phasen der Entwicklung. Andererseits existieren bestimmte Grundbausteine der *prozessualen Formen des*

¹⁶ Vgl. Michael, Mejino und Rosse 2001.

Lebens in vielfältigen Variationen, zum Beispiel Stoffwechsel und Abwehr von Pathogenen, pränatale Entwicklung, Kindheit, Adoleszenz, Altern, Verhalten, Wachsen, Wahrnehmen, Reproduktion, Gehen, Sterben, Handeln, Kommunizieren, Lernen, Lehren, Sozialverhalten und Evolution. Schließlich finden sich bestimmte Prozesstypen, wie zum Beispiel Zellteilung und der Transport von Molekülen zwischen Zellen, in jeder Phase der biologischen Entwicklung.

Um ein konsistentes System ontologischer Kategorien und damit verbundener Prinzipien zu entwickeln, das sowohl die Spezifität dieser verschiedenen Formen des Lebens als auch die verbindenden Zusammenhänge zwischen ihnen verständlich machen kann, ist eine Reihe von Fragestellungen zu betrachten. Ihre sorgfältige Behandlung ist umso wichtiger, weil die bestehenden biomedizinischen Informationssysteme sie bislang oft ignoriert oder nur unzureichend berücksichtigt haben. Gleichzeitig sind diese Fragestellungen aber auch von intrinsisch philosophischem Interesse, und sie zeigen, wie philosophische Forschung an der Grenze zwischen Informatik und empirischer Biologie an bisher nicht beachteter praktischer Relevanz gewinnen kann.¹⁷

Im Folgenden sollen einige dieser Fragen entfaltet werden. Dafür soll zunächst eine Auseinandersetzung mit Positionen stattfinden, die dafür eintreten, dass es in der Ontologie nicht um das Seiende als solches, sondern um Begriffe oder sprachlichen Ausdrücke der Menschen für das Seiende ginge. In Abgrenzung von solchen Positionen wird gezeigt werden, dass es die Aufgabe der Ontologie ist, die Realität zu repräsentieren bzw. die Einzelwissenschaften bei dieser Aufgabe zu unterstützen.

¹⁷ Smith, Williams und Schulze-Kremer 2003.

Kapitel 2

Realitätsrepräsentation: Das Ziel der Ontologie

BARRY SMITH

2.1 Idealismus

Die Aufmerksameren unter den Philosophen mit Interesse an der Ontologie sind immer wieder erstaunt, dass viele Forscher auf dem Gebiet der Wissensrepräsentation und in den angrenzenden Bereichen der Informatik sich der einen oder anderen Form von Idealismus, Skeptizismus oder Konstruktivismus verschrieben haben. Darunter befinden sich auch viele Forscher, die an der Entwicklung von Ontologien beteiligt sind. Zu diesen Formen von Idealismus, Skeptizismus oder Konstruktivismus gehören zum Beispiel:

- die Ansicht, dass es so etwas wie eine objektive Realität nicht gibt, mit der die Begriffe oder allgemeinen Ausdrücke in unserer Wissensrepräsentation korrespondieren würden;
- die Ansicht, dass wir nicht wissen könnten, wie die objektive Realität beschaffen ist, sodass es keinen praktischen Nutzen bringen würde, wenn wir eine solche Korrespondenz etablieren wollten;
- die Ansicht, dass der Ausdruck „Realität“ in jedem Fall nichts anderes als eine Konstruktion aus Begriffen bezeichnet, sodass jedes Begriffssystem prinzipiell denselben Anspruch darauf hätte, seine eigene „Realität“ oder „mögliche Welt“ zu konstituieren.

Alle dieser drei Ansichten sind heute in der Gestalt des Postmodernismus oder des Kulturrelativismus anzutreffen, wo sie auf die Behauptung hinauslaufen, dass die von den Naturwissenschaften hervorgebrachten Theorien der objektiven Realität nicht mehr als kulturelle Konstrukte sind, vergleichbar mit Astrologie und Hexerei. In der Welt der Künstlichen-Intelligenz-Forschung gehen sie oft mit konstruktivistischen Ideen einher, wie sie zum Beispiel von

dem chilenischen Biologen Humberto Maturana vorgebracht wurden.¹⁸ Dieser meint, dass selbst Biologie und Physik nicht Widerspiegelungen einer objektiven Realität sind, sondern vielmehr bloße „Konzeptualisierungen“, die dazu dienen, uns an eine Welt anzupassen, die wir selber durch unsere subjektive Erfahrung erschaffen. Diese subjektivistischen Auffassungen der Umwelten menschlichen Verhaltens als einer Vielzahl „subjektiver Welten“, die auf das jeweilige Verhalten und die kognitiven Anschauungen des Menschen exakt zugeschnitten sein sollen, haben tiefe Wurzeln, die vielleicht bis auf Kants Begriff einer „phänomenalen“ Welt zurückreichen und die heute noch im so genannten „methodologischen Solipsismus“ amerikanischer Kognitionswissenschaftler wie Jerry Fodor ihre Spuren hinterlassen.

Wir finden dieselbe Idee, angewandt auf das Verhalten des Tieres, auch in der neuerdings wieder sehr einflussreichen „konstruktivistischen Biologie“ Jakob von Uexkülls. Nach von Uexküll gibt es verschiedene Realitäten, die durch das biologische Verhalten verschiedener Tiere bestimmt sind. Alle Tiere, vom einfachsten bis hin zum komplexesten, sind an ihre entsprechenden Realitäten mit gleicher Vollständigkeit angepasst. Einem einfachen Tier entspricht eine einfache Welt, einem komplexen Tier eine „artikulierte“, komplexe und strukturierte, Welt. Von Uexküll geht so weit zu behaupten, dass es keine Realität außer diesen verschiedenen subjektiven Welten gibt: *„Alle Wirklichkeit ist subjektive Erscheinung – dies muß die große grundlegende Erkenntnis auch der Biologie bilden.“*¹⁹ Von Uexküll soll zu seiner relativistischen Umweltlehre bei einem Spaziergang in den Wäldern bei Heidelberg gekommen sein. Er sah eine Buche an und stellte fest:

„Dies ist nicht eine Buche, sondern meine Buche, die ich in allen Einzelheiten mit meinen Sinnesempfindungen aufgebaut habe. Was ich von ihr sehe, höre, rieche oder taste, sind nicht Eigenschaften, die ausschließlich der Buche zu eigen sind, sondern es sind die von mir hinausverlegten Merkmale meiner Sinnesorgane.“²⁰

Die daraus resultierende Ontologie kann als eine biologische Monadologie beschrieben werden. Von Uexkülls konstruierte Wirklichkeiten sind voneinander abgetrennte, fensterlose Monaden:

¹⁸ Vgl. z.B. Maturana und Varela 1987.

¹⁹ Vgl. Uexküll 1928, 2.

²⁰ Zit. nach Schmidt 1980, 10 (aus ungedruckten autobiographischen Aufzeichnungen).

„Vielleicht wird mich auch niemand verstehen. Aber die Tatsache bleibt doch: ‚Eppur non si move‘ [Die Erde bewegt sich nicht.] Nicht ich bewege mich um die Sonne, sondern die Sonne geht an meinem Himmelsgewölbe auf und unter. Das Gleiche geschieht an hunderttausend anderen Himmelsgewölben. Immer ist es eine andere Sonne, immer ein anderer Raum, in dem sie sich bewegt.“ (Brief an Chamberlain, 23. Oktober 1923)

Der Biologe zeigt uns, wie die Welt eines Tieres dieses „wie ein festes, aber unsichtbares Glashaus umschließt“. Die Welt um uns wird mit „zahllosen schillernden Welten“ bevölkert.²¹ Jedes Tier, jedes Lebewesen hat seine eigene, private Bühne.

In diesem Sinne definiert der Informatiker Tom Gruber eine „Ontologie“ als „eine explizite Spezifizierung einer Konzeptualisierung“,²² und Definitionen im Sinne Grubers wurden und werden immer noch von den meisten akzeptiert, die Ontologien entwickeln. Ein aktuelles Beispiel bietet die Ontologie-Internetseite *owlseek.com*, die Ontologie wie folgt definiert:

„Wir können niemals die Realität in ihrer reinen Form kennen; wir können sie nur durch unsere Sinne und Erfahrungen interpretieren. Jeder hat deshalb seine eigene Perspektive der Realität. Eine Ontologie ist eine formale Festlegung einer Perspektive. Wenn zwei Menschen übereinkommen, in ihrer Kommunikation dieselbe Ontologie zu benutzen, dann sollte es in der Kommunikation zu keinerlei Zweideutigkeit kommen. Um dies zu ermöglichen, kodifiziert eine Ontologie die Semantik, die innerhalb eines Wissenskorpas zur Repräsentation und zum Schlussfolgern verwendet wird.“²³

Solche Ansichten haben sich nicht zuletzt deshalb verbreiten können, weil ein großer Teil der Arbeit zur Ontologie auf den im Bereich der Wissensrepräsentation üblichen Praktiken beruht, die es als selbstverständlich erachten, dass Wissensrepräsentation es nicht mit der Realität zu tun hat, sondern vielmehr mit Begriffen, die als menschliche Schöpfungen angesehen werden.

²¹ Uexküll 1928, 62.

²² Gruber 1993, 199 („an explicit specification of a conceptualization“).

²³ <http://www.owlseek.com/whatis.html> (6. März 2006): „We can never know reality in its purest form; we can only interpret it through our senses and experiences. Therefore, everyone has their own perspective of reality. An ontology is a formal specification of a perspective. If two people agree to use the same ontology when communicating, then there should be no ambiguity in the communication. To enable this, an ontology codifies the semantics used to represent and reason with a body of knowledge.“

2.2 Zwei Argumente für die begriffszentrierte Auffassung und ihre Widerlegung

Ein erstes Argument für diese Annahme könnte wie folgt formuliert werden: Wissen existiert im Bewusstsein von Menschen. Daher können diese nur insoweit Wissen von den Dingen in der Realität haben, als sie den Anforderungen entsprechen, die die Voraussetzungen dafür sind, dass etwas in unser Bewusstsein gelangt. Die Menschen können daher kein Wissen von Entitäten haben, wie diese an und für sich sind, sondern nur von ihren eigenen Begriffen.

David Stove weist mit Recht darauf hin, dass dieses Argument dieselbe Form hat wie das folgende – womit es klar als fehlschlüssig ausgewiesen ist:²⁴

Wir können Austern nur insofern essen, als sie uns unter den physiologischen und chemischen Bedingungen gegeben sind, die die Bedingungen der Möglichkeit ihres Gegessenwerdens sind. Also können wir Austern nicht so essen, wie sie an und für sich sind.

Ein zweites Argument beginnt mit der Voraussetzung, dass es viele wissenschaftliche Aussagen gibt, die im weiteren Verlauf der Wissenschaftsgeschichte als Irrtümer identifiziert worden sind, in der Vergangenheit aber als Bestandteil des Wissens angesehen wurden. Unter den heutigen wissenschaftlichen Meinungen sind sicherlich ebenfalls einige, die in eben dieser Weise fehlassifiziert sind. Es ist also möglich, so das Argument, dass unser wissenschaftliches Wissen falsche Meinungen enthält. Unter diesen befinden sich auch solche, die durch Sätze ausgedrückt werden, die allgemeine Ausdrücke wie „Phlogiston“ oder „Äther“ enthalten, die – wie man heute weiß – auf nichts in der Welt referieren, sondern nur auf unsere eigenen Begriffe.

Der fehlschlüssige Charakter dieses Arguments beruht auf seiner Vernachlässigung der Zeit. Gewiss wissen wir, dass falsche Meinungen einst irrtümlich als zum Wissen gehörend angesehen wurden. Aber das beweist nicht, dass das Wissen einst tatsächlich falsche Meinungen umfasste. Vielmehr zeigt es nur, dass falsche Meinungen einst irrtümlich als Wissen fehlassifiziert wurden. Gewiss ist auch ein Teil dessen, was wir derzeit als Wissen ansehen, irrtümlich als solches klassifiziert. Jedoch sind der offenkundige Fortschritt von Wissen-

²⁴ Vgl. Franklin 2002.

schaft und Technik (und sein erstaunlicher kumulativer Charakter) Grund genug zu der Annahme, dass die große Masse dessen, was wir heute als Wissen ansehen, richtig als solches klassifiziert ist und dass „Äther“ und „Phlogiston“ Ausnahmen darstellen und nicht die allgemeine Regel. Die angemessene Erwiderung auf das Problem des Irrtums ist also, Fehler zu korrigieren, sobald sie entdeckt werden, und zwar unabhängig davon, ob Ontologien gebaut werden oder es um irgendein anderes wissenschaftliches Unterfangen geht.

Die begriffszentrierte Auffassung – die es hier zu widerlegen gilt – hat im Gegensatz dazu auf das Problem der leeren allgemeinen Ausdrücke wie „Phlogiston“ damit reagiert, jedem Ausdruck eine Referenz zu garantieren. Dafür nimmt sie an, dass alle allgemeinen Ausdrücke in jedem Fall nur auf Begriffe referieren, also auf Artefakte des menschlichen Denkens. Dadurch verabschiedet sie das Ziel, die Realität in den Griff zu bekommen, und ersetzt es durch das viel einfacher zu erreichende Ziel, begriffliche Entitäten zu begreifen, die wir Menschen selbst erschaffen haben, sei es als Erkenntnissubjekte im Allgemeinen oder als Wissenschaftler im Besonderen.

In vielen Kontexten gehen Ontologen natürlich immer noch mit Begriffen um, und zwar, korrekterweise, insofern sie mit Begriffen als *meanings* zu tun haben, m.a.W. mit Begriffen als den abstrakten Entsprechungen sprachlicher Ausdrücke. Die Ontologen reden davon, Begriffe zu „definieren“, oder davon, dass gewisse Allgemeinbegriffe eine „weitere Bedeutung“ haben als andere, speziellere Begriffe. Sie verstehen dabei Begriffe letztendlich als linguistische Gebilde, die als Werkzeuge dienen können (analog zu Teleskopen oder Mikroskopen), Gebilde also, die benutzt werden können, um einen kognitiven Zugang zu Entitäten in der Wirklichkeit zu erhalten. Solange Begriffe in diesem Sinn als transparente *meaning-entities* aufgefasst werden, die zum Gegenstand der Linguistik oder Psychologie gehören, ist ihre Verwendung in der Informatik unschädlich. Zu oft aber kommt es zu einer heimtückischen Verschiebung des Fokus: Begriffe werden nicht mehr als transparente Werkzeuge angesehen, sondern unter der Hand zum eigentlichen Gegenstand der Ontologie. Das Werkzeug des Ontologen wird damit zum eigentlichen Fokus seiner Bemühungen, als ob Biologen, statt Zellen und Moleküle zu untersuchen, ihre Zeit damit verschwenden würden, eine Wissenschaft des Mikroskops und der in den Mikroskopen der Biologen konstruierten Welten zu entwickeln.

Der Einfluss der begriffszentrierten Auffassung ist nicht nur ein Produkt der Herkunft der in Informationssystemen angewandten Ontologie aus dem

Gebiet der Wissensrepräsentation. Er hat sich auch dadurch etabliert, dass viele Arbeiten in der Ontologie sich mit der Repräsentation bestimmter Bereiche, wie Handel, Gesetz oder öffentliche Verwaltung, beschäftigen, die sich mit den Ergebnissen menschlicher Konvention und Übereinkunft befassen – und damit mit Entitäten, die in gewissem Sinne bloß „begrifflich“ sind.²⁵

Heute werden jedoch mehr und mehr Ontologien in enger Kooperation mit jenen Experten entwickelt, die an der Nahtstelle zwischen den Informatik-Disziplinen und den empirischen Wissenschaften arbeiten, und unter diesen Bedingungen übt die begriffszentrierte Auffassung einen verheerenden Einfluss auf den Fortschritt der Ontologie aus. Im Folgenden wird eine Analyse dieser Ansicht und eine Auswahl einiger Probleme, die sie mit sich bringt, vorgestellt werden. Im Anschluss daran soll eine alternative Auffassung von Ontologie als einer Disziplin skizziert werden, die in der Repräsentation der in der Realität vorzufindenden Universalien und Einzeldinge wurzelt.

2.3 Wie man „Begriff“ definiert

In der gegenwärtigen Literatur zur Ontologie gibt es nur wenige überzeugende Versuche, den Ausdruck „Begriff“ (und verwandte Ausdrücke wie „Konzeptualisierung“ oder „begriffliche Entität“) zu definieren. Zum Teil liegt das daran, dass diese Ausdrücke es mit Sachen zu tun haben, die so fundamental für die menschliche kognitive Architektur sind (vergleichbar in dieser Hinsicht mit Ausdrücken wie „Identität“ oder „Gegenstand“), dass Versuche, sie zu definieren, in charakteristischer Weise durch Zirkularität ausgezeichnet sind. Beispielsweise definiert das *Semantic Network* des *Unified Medical Language System* (UMLS)²⁶ *idea* oder *concept* als „ein abstrakter Begriff, wie zum Beispiel ein sozialer, religiöser oder philosophischer Begriff“. Gelegentlich werden auch ausgefeiltere Definitionen angeboten:

„Begriffe, auch als Klassen bekannt, werden in einem weiten Sinne verwendet. Sie können abstrakt oder konkret sein, einfach oder zusammengesetzt, real oder fiktiv. Kurz, ein Begriff kann alles sein, über das etwas gesagt wird, und könnte daher auch

²⁵ Vgl. Frank 1996.

²⁶ Vgl. McCray 1993.

die Beschreibung einer Aufgabe, Funktion, Handlung, Strategie, Schlussfolgerungsprozesses etc. sein.“²⁷

Dieser Abschnitt veranschaulicht, wie in großen Teilen der einschlägigen Literatur Begriffe entweder von den Entitäten in der Realität oder von Namen oder Beschreibungen auf Seiten der Sprache nicht klar unterschieden werden.

Ein anderes (zufällig ausgewähltes) Beispiel für diese Konfusion bietet die *Biological Pathways Exchange Ontology* (BIOPAX), die „vier grundlegende Begriffe“ definiert: die „*top-level* Klasse Entität“ und drei „Unterklassen Reaktionskette, Interaktion und physikalische Entität“. Für die oberste Klasse *entity* wird dann die folgende Definition angegeben: „Jeder Begriff, auf den wir uns als eigenständige Einheit beziehen werden, wenn wir biochemische Reaktionsketten beschreiben, zum Beispiel eine Reaktionskette, eine Interaktion oder eine physikalische Entität.“²⁸

Die Tendenz, Begriffe und Entitäten zu vermischen, findet sich auch in der Linguistik, beispielsweise in Formulierungen wie der folgenden:

„Wir sind in der Lage, begriffliche Welten von beliebiger Komplexität zu konstruieren, die Entitäten und Phänomene beinhalten, die kein direktes Gegenstück in der mit der Außenwelt verknüpften Erfahrung haben. Von solcher Art sind die Welten der Träume, Geschichten, Mythologien, der Mathematik, Voraussagen über die Zukunft, Fluchten in die Imagination und linguistische Theorien. Jeder von uns hat viele begriffliche Welten konstruiert, die sich hinsichtlich des Genres, der Komplexität, Konventionalität, Abstraktheit, des Grades der Verwurzelung usw. unterscheiden. *Für viele linguistische Zwecke sind alle diese Welten gleichberechtigt mit der einen, die wir als ‚Realität‘ hervorheben.*“²⁹

²⁷ Corcho/Gomez-Perez 2000, 81: „Concepts, also known as classes, are used in a broad sense. They can be abstract or concrete, elementary or composite, real or ficti[t]ious. In short, a concept can be anything about which something is said, and, therefore, could also be the description of a task, function, action, strategy, reasoning process, etc.“

²⁸ Nachzulesen unter http://www.biopax.org/Downloads/Level1v0.5.2/biopax-level1-v0.5.2_Ontology_Documentation.pdf (6.3.2006): „Any concept that we will refer to as a discrete unit when describing biological pathways, e.g. a pathway, interaction or physical Entity.“

²⁹ Langacker 1987, 113 (Kursivierung hinzugefügt): „[...] we are capable of constructing conceptual worlds of arbitrary complexity involving entities and phenomena that have no direct counterpart in peripherally connected experience. Such are the worlds of dreams, stories, mythology, mathematics, predictions about the future, flights of the imagination, and linguistic theories. All of us have constructed many conceptual worlds that differ in

Aber während es für die Zwecke des Linguisten akzeptabel sein mag, Zellen und Moleküle genauso zu behandeln wie die ontologischen Entsprechungen von Mythen und Märchen, was immer diese auch sein mögen, ist eine entsprechende Unterscheidung unumgänglich, wenn Ontologien mit dem Ziel der Unterstützung der Naturwissenschaften entwickelt werden sollen.

2.4 Die linguistische Lesart von „Begriff“

Die zentrale Lesart des Ausdrucks „Begriff“ (*concept*) in der Literatur zur Wissensrepräsentation und verwandten Gebieten leitet sich von der Einsicht her, dass verschiedene Ausdrücke, auch aus unterschiedlichen Sprachen, dieselbe Bedeutung haben können – wie „dog“, „chien“ und „Hund“. „Begriff“ wird dann anstelle von „Name“ oder „Wort“ als ein Mittel verwendet, das es erlaubt, von den zufälligen syntaktischen Unterschieden abzusehen und stattdessen jene Arten von Beziehungen zwischen Ausdrücken zu betrachten, die für das Schlussfolgern (*reasoning*) wichtig sind. Manchmal wird der Begriff ausdrücklich mit der Bedeutung identifiziert, die einschlägige Ausdrücke gemeinsam haben. Manchmal wird er eher als etwas Psychologisches angesehen – als eine Art Vorstellung, die von all jenen in ihrem Bewusstsein geteilt wird, die den Ausdruck verwenden. Manchmal wird der Begriff als eine logische Konstruktion gesehen, in der Terminologie von *WordNet* zum Beispiel als ein *synset*, d.h. als eine Menge von Wörtern, die in einem gegebenen Kontext *salva veritate* gegeneinander ausgetauscht werden können.³⁰

Ein offensichtliches Problem der begriffszentrierten Auffassung von Ontologie ergibt sich daraus, dass es schwer zu verstehen ist, wie auf ihrer Grundlage die Qualität von Ontologien bewertet werden kann. Intuitiv gesehen ist eine Ontologie dann eine gute, wenn sie mit der Realität korrespondiert, wie sie jenseits unserer Begriffe existiert. Wenn aber Wissen selbst mit Wissen von unseren Begriffen identifiziert wird und wenn eine Ontologie eine bloße Spezifizierung einer Konzeptualisierung ist (wie Gruber meint), dann scheint die Unterscheidung zwischen guten und schlechten Ontologien obsolet zu werden.

genre, complexity, conventionality, abstractness, degree of entrenchment, and so on. *For many linguistic purposes all of these worlds are on a par with the one we distinguish as ‚reality‘.*“

³⁰ Vgl. Fellbaum 1998.

Dieses Problem würde in anderen Disziplinen zu Recht als schmerzlich empfunden werden. Wie ist es dann aber möglich, dass die linguistische Lesart es vermag weiterhin Anhänger in der Wissensrepräsentation und in verwandten Gebieten zu haben? Wohl nur dadurch, dass diese Lesart selten ohne fremde Beigaben vertreten wird. Der Ausdruck „Begriff“ wird beispielsweise manchmal unter der Annahme verwendet, dass er Konnotationen hat, die normalerweise mit Ausdrücken wie „Eigenschaft“, „Art“ oder „Universalie“ verbunden sind – mit Ausdrücken also, die in ihrer normalen Verwendung keine Entitäten bezeichnen, die Produkte menschlicher Erkenntnis sind. Dieses Zusatzgepäck ist es, das für das Übergewicht der verworrenen Interpretation von „Begriff“ verantwortlich ist, auf die bereits hingewiesen wurde.

Können die Theorien zur Wissensrepräsentation durch ein Insistieren auf eine konsistente und rein linguistischen Lesart verbessert werden, wonach Begriffe immer Bedeutungen sind? Oder indem auf eine rein psychologische Lesart bestanden wird, wonach Begriffe immer Denkkonstruktionen (Ideen) eines Menschen oder einer Kultur sind? Unglücklicherweise nein. Denn dies würde zu dem Ergebnis führen, dass die Wissensrepräsentation zu einem Zweig der Linguistik oder Psychologie verwandelt würde, wodurch die Wissensrepräsentation ihren Anspruch verspielen würde, das Wissen zu modellieren, das menschliche Subjekte haben – im Gegensatz zu ihren bloßen Meinungen. Die Verwendungen von Sprache zur Formulierung wahrer bzw. falscher Aussagen sind, vom linguistischen und vom psychologischen Standpunkt aus, beide aus dem gleichen Stoff geschnitten. Man erfasst kein Wissen, wenn man etwa die Meinungen beschreibt, die in bestimmten Kulturen weit verbreitet sind und in denen Begriffe wie *Entfernung von Implantaten, die durch Außerirdische eingesetzt wurden* oder *Energieheilung nach Chios* eine Rolle spielen.

2.5 *Is_a* und die linguistische Lesart

In Ontologien sollen nicht nur Entitäten, sondern auch wichtige Beziehungen zwischen diesen repräsentiert werden. Solche Beziehungen sind zum Beispiel die *is_a*-Relation, die etwa zwischen einer Spezies und ihrem Genus besteht, und die *part_of*-Relation, die zwischen einem Teil und dessen Ganzem besteht. Gemäß der linguistischen Lesart sind Aussagen, die *is_a* und andere Beziehungen zwischen Begriffen betreffen, Aussagen über Bedeutungen oder Vorstellungen. Ein Satz wie

lytische Vakuole is_a Vakuole

ist demnach, auch wenn es anders aussieht, keine Aussage über lytische Vakuolen, vielmehr ist es eine Aussage über den Sprachgebrauch. Diese besagt, dass die dem Namen „lytische Vakuole“ von dieser oder jener Gruppe von Sprachverwendern zugeordnete Bedeutung enger oder spezifischer ist als die Bedeutung, die dem Namen „Vakuole“ zugeordnet ist.

Diese Interpretation ist erwartungsgemäß besonders verbreitet in Arbeiten über Terminologien und Thesauri. Dort besteht nicht zuvorderst Interesse an *is_a*-Relationen im strengen Sinn (und nicht an wissenschaftlichen Gesetzen), sondern eher an verschiedenen Arten von Beziehungen der „Assoziation“ zwischen (linguistisch konzipierten) Begriffen und dem Netzwerk, das sie bilden. Statistikbasierte Mustererkennungstechniken können auf solche Netzwerke angewendet werden, um Aufgaben des Informationsabrufs und der Informationsgewinnung zu unterstützen (*information retrieval*, *information extraction*) – und für diese Zwecke mag es ohne Bedeutung sein, ob die Begriffe, aus denen solche Netzwerke bestehen, mit einer externen Realität korrespondieren oder nicht.³¹

Ähnliches gilt auch im Bereich der Beschreibungslogik (*Description Logic*, DL), die heutzutage in der Wissensrepräsentation sehr einflussreich ist. Dort wird „Begriff“ standardmäßig als eine Abkürzung von „Begriffsbeschreibung“ (*concept description*) verwendet wird.³² Das bedeutet, dass in DL-Kreisen

³¹ Man beachte, dass sich die Dinge nicht wesentlich ändern, wenn der linguistischen Lesart eine präzise technische Spezifizierung gegeben wird, wie z.B. in der *Standard Upper Ontology*, die ein *SUO_concept* definiert als ein Quadrupel $\langle p, t, d, [s] \rangle$, wobei gilt:

- „p is a predicate defined by a definition or axioms in KIF;
- t is an English term (word or multiword phrase);
- d is an English documentation which attempts to precisely define the term;
- s is an optional English syntactic category represented by one of the following character strings: ‚noun‘, ‚intransitive verb‘, ‚transitive verb‘, [etc.]“

(<http://suo.ieee.org/email/msg01175.html>; 6. März 2006).

„KIF“ steht hier für „Knowledge Interchange Format“. Es ist eine Datenrepräsentationssprache, die es ermöglichen soll, Wissen so zu repräsentieren, dass es in maschinenlesbarer Form zwischen verschiedenen Programmen ausgetauscht werden kann. Auch in dieser Datenrepräsentationssprache würden Sätze wie „Lytische Vakuole *is_a* Vakuole“ in Sätze verwandelt werden, die überhaupt nicht von Vakuolen handeln, sondern (unplausiblerweise) vielmehr von mengentheoretischen Gegenständen, die aus syntaktischen Zeichenfolgen als Urelementen bestehen.

³² Vgl. Baader et al. 2003. – Man beachte, dass „Begriffsbeschreibung“ keineswegs als „Beschreibung eines Begriffs“ verstanden werden darf.

die Rede von Begriffen als Rede von bestimmten syntaktischen Entitäten verstanden wird. Solche Rede ist sicherlich semantisch motiviert, jedenfalls in dem Sinne von „Semantik“, der von Tarski und von der mengentheoretischen Modelltheorie bekannt ist.³³

Jede DL-Begriffsbeschreibung repräsentiert, mit Bezug auf irgendeine gegebene Interpretation, eine Ansammlung von Gegenständen, von denen postuliert wird, dass sie die Eigenschaft teilen, die durch die Beschreibung angegeben wird. Jedoch reicht selbst dies nicht aus, um Begriffen einen Anker in der externen Realität zu geben, denn die besagten Gegenstände können bloß abstrakte mathematische Postulate sein – und üblicherweise sind sie es auch. Wenn also gesagt wird, dass DL die in einer Ontologie verwendeten Ausdrücke mit einer „präzisen Semantik“ ausstattet, dann sollte bedacht werden, dass der Sinn von „Semantik“, um den es hier geht, den Verweis auf eine mathematische Abstraktion beinhaltet. Das ist jedoch weit von einem normalen Verständnis von Semantik entfernt, nach dem diese das Zusammenspiel von Ausdrücken, Bedeutungen und korrespondierenden Entitäten in der Realität behandelt.

2.6 Die technische Lesart von „Begriff“

Die Schwierigkeiten mit der linguistischen Lesart haben zur Herausbildung einer weiteren, technischen Lesart von „Begriff“ geführt, einer Lesart, die am besten anhand ihres Gebrauchs des Ausdrucks „begriffliches Modell“ veranschaulicht wird.

Teilweise pflegen die Entwickler von begrifflichen Modellen, selbst wenn diese zur Unterstützung naturwissenschaftlicher Forschung gedacht sind, eine Ausdrucksweise, die den Anschein erweckt, ihre Aufgabe wäre das Modellieren von *Daten* oder *Informationen*.³⁴ Wenn dies tatsächlich der Fall wäre, dann wären die Modelle noch einen Schritt weiter als die Daten selbst von der zugrunde liegenden Realität entfernt, mit der die Wissenschaftler eigentlich zu tun haben. Dagegen ist jedoch anzumerken, dass der Ausdruck „Information“ – so wie der Ausdruck „Modell“ und der Ausdruck „Semantik“ – oft

³³ Vgl. insbesondere Tarski 1935.

³⁴ Vgl. Paton et al. 2000.

selbst Gegenstand derjenigen Konfusionen ist, die mit dem Ausdruck „Begriff“ in Arbeiten zur Wissensrepräsentation und verwandten Gebieten einher gehen. Betrachten wir die tatsächliche Praxis des Modellierens genauer, dann wird offenkundig, dass die fraglichen Modellierer tatsächlich damit beschäftigt sind, Modelle von Entitäten in der Realität zu entwerfen, also zum Beispiel Modelle der Organisation des Genoms, und nicht nur Modelle von *Informationen* über diese Organisation, die in dieser oder jener Datenbank enthalten sind.

Der Ausdruck „Begriff“ selbst bezieht sich, nach der technischen Lesart, auf Entitäten, die von den Modellierern erschaffen werden. Begriffe sind Geschöpfe des informationstechnischen Bereiches, die (in einem schwer zu erklärenden Sinn) existieren vermittelt ihrer Repräsentationen in Software, in UML-Diagrammen, XML-Repräsentationen, in Axiomensystemen, oder Ähnlichem. Eine solche Erschaffung von Begriffen ist nicht unbedingt eine triviale Angelegenheit. Nicht jede Ansammlung von Programmzeilen kann so interpretiert werden, dass sie mit einem begrifflichen Modell verbunden ist. Um als derart interpretierbar zu gelten, muss der Programmcode eine Art Simulationstest bestehen. Das bedeutet, dass die Ausführung des Programmcodes Relationen zwischen Inputs und Outputs liefern muss, die Relationen zwischen korrespondierenden Entitäten in der Realität entsprechen. Die einschlägigen Input- und Output-Begriffe müssen, so wie sie funktionell durch das Programm miteinander verbunden sind, in diesem Sinne korrespondierende Entitäten in der Realität modellieren, d.h. in einer Art von Isomorphismus zu ihnen zu stehen. In dem Ausmaß, in dem die technische Lesart von Begriffen überhaupt Sinn macht, muss sie sich also ebenfalls auf die Realität berufen, wie sie außerhalb des menschlichen Bewusstseins existiert.

2.7 Eine ontologische Wende

Die bisherigen Überlegungen zeigen, dass Ontologien zur Unterstützung der Naturwissenschaften durch die Kultivierung einer Disziplin verbessert werden können, die der Repräsentation von Entitäten gewidmet ist, wie sie in der Realität existieren. Diese wissenschaftliche Disziplin wäre der philosophischen Ontologie ziemlich ähnlich, wie sie von Philosophen wie Aristoteles, Roman Ingarden, Roderick Chisholm, Ingvar Johansson oder Jonathan Lowe prakti-

ziert wurde oder wird.³⁵ Im Rahmen einer solchen Disziplin würden wir nicht über Begriffe als linguistische oder informationstechnische Artefakte sprechen, sondern vielmehr über Universalien – also über diejenigen Aspekte der Realität, die allgemeinen Ausdrücken in wissenschaftlichen Aussagen korrespondieren. Die Einzeldinge (*particulars* oder *tokens*), mit denen wir es zu tun haben, wenn wir zum Beispiel Experimente in den Naturwissenschaften durchführen, sind Instanzen von solchen Universalien, welche in der realen Welt, in Raum und Zeit existieren. Der Ausdruck „Universalie“ bezeichnet dann, was die korrespondierenden Instanzen – zum Beispiel alle Wale, alle Enzyme – gemeinsam haben. Universalien sind Invarianten in der Realität.

Universalien und ihre Instanzen genießen damit eine symbiotische Beziehung: Die einen können nicht ohne die anderen existieren. Aussagen wie:

- *Mensch is_a Säugetier*
- *Stoffwechsel is_a physiologischer Prozess*
- *Zellkern part_of Zelle*
- *Zelle part_of eukaryotischer Organismus*

können sowohl als Aussagen über Universalien interpretiert werden als auch als abgekürzte Versionen von Aussagen über die korrespondierenden Instanzen.

Aussagen wie „*Wal is_a Säugetier*“ oder „*Regulierung der Protein-Kinase-Aktivität part_of Protein-Aminosäure-Phosphorylation*“ vermitteln genau deswegen Wissen, weil sie Relationen zwischen Entitäten in der Realität repräsentieren, Relationen, zu denen wir durch den Fortschritt der Wissenschaft kognitiven Zugang erhalten haben, die aber selbst unabhängig von unseren kognitiven Aktivitäten bestehen. Sie vermitteln nicht nur extensionale Relationen, die der mengentheoretischen Teilmengen-Relation entsprechen, sondern vielmehr gesetzesartige Relationen zwischen Universalien, wie sie durch wissenschaftliche Forschung entdeckt werden.³⁶

³⁵ Vgl. Cohen 2000 (zu Aristoteles), Ingarden 1964/1965/1974, Chisholm 1996, Johanson 2004, Lowe 2002.

³⁶ Vgl. Armstrong 1978.

Die Berücksichtigung der Realität von Universalien ermöglicht es also, das Problem des Unterschieds zwischen guten und schlechten Ontologien zu lösen:³⁷

- Schlechte Ontologien sind (unter anderem) jene, bei denen den allgemeinen Ausdrücken die Beziehung zu korrespondierenden Universalien in der Realität und dadurch auch zu korrespondierenden Instanzen fehlt.
- Gute Ontologien sind Repräsentationen der Realität. Die Tatsache, dass solche Repräsentationen möglich sind, zeigt sich daran, dass bereits vieles dafür geleistet wurde. Dies schlägt sich dann in den wissenschaftlichen Lehrbüchern nieder, wenn auch immer auf bestimmten Ebenen der Granularität und zu einem bestimmten Grad an Genauigkeit, Detailliertheit und Vollständigkeit.

Es scheint nun eine Grundannahme vieler Arbeiten auf dem Gebiet der Wissensrepräsentation zu sein, dass sich diesbezüglich etwas ändert, wenn Computer ins Spiel kommen und wissenschaftliche Lehrbücher durch elektronisch gespeicherte Daten ergänzt werden – als ob in Computern gespeicherte Ausdrücke aus irgendeinem Grund unfähig sind, sich auf dieselbe Weise wie Ausdrücke in gedruckten wissenschaftlichen Texten auf Entitäten in der Realität zu beziehen. Ihre Annahme, dass Computer-Repräsentationen Repräsentationen spezieller Artefakte sein müssen (etwa von Begriffen, Modellen oder Zeichenketten), verteidigen Wissensrepräsentations-Experten oft damit, dass reale physikalische Entitäten (wie Zellen, Organismen oder Krankheiten) nicht in einem Computer gespeichert werden können. Diese Begründung zeigt aber, dass sie einfach die Natur der Repräsentation missverstehen. Denn wer so argumentiert, begeht einen Fehler, der ganz analog ist zu dem der Akademiker von Lagou in „Gullivers Reisen“, die annahmen:

„[...] da Wörter nur Bezeichnungen für Dinge sind, sei es zweckdienlicher, wenn alle Menschen die Dinge bei sich führten, die zur Beschreibung der besonderen Angelegenheit, über die sie sich unterhalten wollen, notwendig seien. [...] das bringt nur die eine Unbequemlichkeit mit sich, daß jemand, dessen Angelegenheiten sehr umfangreich und von verschiedener Art sind, ein entsprechend größeres Bündel von Dingen auf dem Rücken tragen muß [...].“³⁸

³⁷ Vgl. Bittner und Smith 2003.

³⁸ Swift 1996, 251.

Die Auffassung von Ontologie als Realitäts-Repräsentation löst aber nicht nur einige im weiteren Sinne philosophische Konfusionen, die unter informationstechnologischen Ontologen verbreitet sind. Sie kann auch jenen eine recht spezifische Art von praktischer Hilfe anbieten, die daran beteiligt sind, Ontologien zur Unterstützung empirischer Wissenschaft zu bauen, indem sie es ermöglicht, formal strenge Definitionen für fundamentale ontologische Relationen zu formulieren. Dies wird das Thema von Kapitel 8 sein.

Übersetzung: Ludger Jansen

Kapitel 3

Granulare Partitionen

THOMAS BITTNER UND BARRY SMITH

In den vorangegangenen Kapiteln wurde gezeigt, welche ontologischen Grundbegriffe unserer Klassifikation der Realität zugrunde liegen und welche Relationen zwischen den Elementen einer Ontologie bestehen können. Die Tatsache, dass es unterschiedliche Ebenen der Betrachtung gibt – ob wir etwa den gesamten Organismus, ein Organ, ein Gewebe oder eine einzelne Zelle betrachten – wurde bislang im Wesentlichen ausgeklammert. Gerade hinsichtlich biomedizinischer Fragestellungen tauchen solche Probleme jedoch häufig auf. Zur Analyse dieses Problemfeldes wird der Begriff *Granularität* eingeführt. Die Realität lässt sich in unterschiedlichen „Körnigkeiten“ wahrnehmen, je nachdem, welches Interesse der Wahrnehmende verfolgt. Diese Körnigkeiten müssen in die Ontologie einfließen, denn sonst wäre diese zweifelsohne unvollständig. Mag die Stufe der Granularität, also die Betrachtungsebene, auch durch ein Erkenntnisinteresse geleitet sein, so wird die Körnigkeit doch in den erwähnten Fällen keinesfalls vom menschlichen Erkenntnisapparat auf die Wirklichkeit projiziert. Organismen bestehen tatsächlich aus Organen, Zellen und Molekülen, also aus Elementen, die unterschiedliche Stufen der Körnigkeit repräsentieren. Diese Elemente existieren in der Wirklichkeit und nicht nur in unserer Wahrnehmung. Die Erforschung feiner und feinsten Körnigkeiten ist ein wesentlicher Bestandteil der Wissenschaft. Im Alltag hingegen spielen feinere Körnigkeiten in der Regel eine untergeordnete Rolle. Die gerade aufgezählten Beispiele (Organismen, Organe, Zellen, Moleküle) stehen für Ebenen der Körnigkeit, die im Bereich der Biologie und Medizin von herausragender Bedeutung sind.

Darüber hinaus werden durch menschliches Handeln neue Granularitätsstufen geschaffen, zum Beispiel durch die Aufteilung des politisch-administrativen Raums in Landkreise, Postleitzahlen und Postbezirke. Diese werden auf die Wirklichkeit von uns Menschen oktroyiert; den Naturwissenschaften sind sie gänzlich unbekannt.

3.1 Granularität – die „Körnigkeit“ der Realität

Stellen wir uns den Montblanc vor – mit all seinen Kaninchen, hügeligen Ausläufern und seinen Moränen. Die Wirklichkeit rund um den Montblanc lässt sich auf unterschiedliche Weisen einteilen: Wenn wir Jäger sind, dann mögen wir tatsächlich die Kaninchen als einen Teil des Berges sehen, sind wir dagegen Geologen, so werden wir nur das Gestein – eventuell erweitert um eine gewisse Menge an Luft, die die Aushöhlungen und Tunnel füllt – als Teil des Berges gelten lassen, als Geochemiker werden wir auch eine dünne Schicht organischen Materials dazuzählen, als Skifahrer wünschen wir uns natürlich den Schnee als Teil des Berges, und sind wir Regierungsvertreter von Frankreich oder Italien, gehören in unsere Karte des Berges leicht unterschiedliche Bestimmungen davon, wo die Grenze verläuft. Wenn wir mit einem Mikroskop ausgerüstet sind, wird die Frage nach der Zugehörigkeit oder Nicht-Zugehörigkeit mikroskopisch kleiner Partikel zu dem Berg auftauchen. Welches sind die *Wahrmacher*, die dafür verantwortlich sind, ob ein Partikel ein *Teil* des Berges ist? Beim Nachdenken darüber könnte die Hypothese aufgestellt werden, dass es nicht *eine* wahre Antwort auf die Frage gibt, wer der Träger des Namens „Montblanc“ ist. Viel eher bestehen zu jeder Zeit viele Antworten, viele Päckchen der Realität, die den Namen „Montblanc“ verdienen.

Ganz ähnlich verhält es sich mit jedem von uns, genauer mit jedem Organismus. Wenn wir von Hans sprechen, denken wir nicht an alle Teile von Hans oder seine momentane Umgebung. Wir denken nicht an die Zellen in Hans' Arm oder an die Fliege neben seinem Ohr oder etwa die Neutrinos, die durch seinen Körper wandern. Diese Dinge fallen wahrscheinlich nicht in den Bereich unserer Aufmerksamkeit. Viel eher wird Hans als ein einzelnes, einheitliches Objekt wahrgenommen. Ein Molekularbiologe hat eine andere Perspektive und nimmt dementsprechend wahr, dass Hans von Augenblick zu Augenblick unterschiedliche Teile hat. Es handelt sich hierbei jedoch nicht einfach um ein Problem des Erkennens. Auch ein allwissendes Wesen würde sich hinsichtlich der Frage, was genau zu Hans gehört oder wo die Begrenzung des Montblanc verläuft, in der gleichen Ungewissheit befinden wie wir.

Dass Hans von einem Augenblick zum nächsten einige Moleküle hinzugewinnt, andere verliert, ist für unsere alltäglichen Betrachtungsweisen irrelevant: Es liegt unterhalb der Schwelle dessen, was wir beachten müssen. Unsere Wahrnehmung ist so entwickelt, dass sie ein *grobkörniges* Verhältnis zur Rea-

lität hat. Dadurch werden kleine, feinkörnige Bestandteile derjenigen Dinge, die unser Erkenntnisapparat in den Vordergrund rückt, ignoriert. Auf diese grobkörnigen Gegenstände referieren wir in aller Regel auch in der Alltagssprache. Wir nehmen also die Vielheit nicht wahr, da sie hinter dem einen Gegenstand, der sich im Fokus unseres Alltagsinteresses befindet, zurücktritt.

Die Art, wie wir auf die Gegenstände in der Realität referieren, führt zu einer Einteilung der Realität in zwei Domänen: in die Vordergrunddomäne, die das relevante Objekt enthält, und in die Hintergrunddomäne, die alle Gegenstände enthält, die nicht im Fokus unserer Aufmerksamkeit stehen.

Solche Einteilungen werden im Folgenden als Partitionen bezeichnet. Im Folgenden wird die Theorie der Partitionen genauer erläutert. Zunächst soll allerdings nochmals auf spezifische Probleme eingegangen werden, die durch die Vordergrund-Hintergrund-Partition entstehen. Es ist offensichtlich, dass aus der Tatsache, dass ein Objekt in der Vordergrundpartition enthalten ist, nicht folgt, dass sich alle seine Teile ebenfalls in dieser befinden. Denn jede Partition hat eine eigene Granularität, d.h. nur Gegenstände im Bereich einer bestimmten Größenordnung werden wahrgenommen. Nur solche Teile, die über einer gewissen Größenschwelle liegen, werden durch die jeweilige Aufteilung erfasst. Wenn wir hier von „Größe“ reden, so tun wir dies selbstverständlich in einem verallgemeinerten Sinne. Partitionen sind abstrakte Gitternetze, wie zum Beispiel das Periodensystem der Elemente. Die räumliche Ausdehnung der Gegenstände, die darunter fallen, also deren Größe, spielt hierbei keine direkte Rolle. Jedoch sind Partitionen jeweils spezifischen Granularitäten zugeordnet. In Mendelejews Periodentafel der Elemente zum Beispiel haben wir nur die eine Granularität der Elemente: Verbindungen und andere nicht elementare Stoffe werden nicht abgebildet.

3.2 Partitionen als Lösungsmöglichkeit von Granularitätsproblemen

Aus der Existenz der Granularität folgt hinsichtlich Referenz und Wahrnehmung ein ernstes Problem für traditionelle Anschauungen. Dieses Problem steht in Zusammenhang mit klassischen philosophischen Problemen, deren Ursprung in der Bestimmung liegt, dass die Beziehung zwischen Teil und Ganzem transitiv ist. Ein Beispiel hierfür liefert die Frage, was Marie sieht, wenn Hans die Hand hebt. Nach der oben genannten Definition der Beziehung zwischen Teil und Ganzem müssen alle drei folgenden Sätze wahr sein:

- (a) Die Moleküle in Hans sind ein Teil von Hans.
- (b) Hans ist ein Teil dessen, was Marie sieht.
- (c) Die Moleküle in Hans sind nicht Teil dessen, was Marie sieht.

Diese Sätze können nicht gleichzeitig wahr sein, wenn das folgende attraktive Transitivitätsprinzip für die Teil-von-Beziehung (*part_of*) zutrifft:

- (d) Wenn x ein Teil von y, und y ein Teil von z ist, dann ist x ein Teil von z.

Die Unvereinbarkeit resultiert hier aus der Selektivität unserer Intentionalität. Beispielsweise beziehen sich kognitive Akte oft unter einer bestimmten Beschreibung auf Objekte. Dieses Problem kann durch traditionelle Ansätze nicht gelöst werden. Zwei Alternativen kommen hier in erster Linie in Frage: zum einen die mathematische Mengentheorie, zum anderen die Mereologie, die Lehre von Teil und Ganzem.³⁹ Mengen als abstrakte Gegenstände helfen uns nicht weiter, weil nur etwas Konkretes Objekt der Wahrnehmung sein kann. Die Mereologie kann schon eher weiterhelfen, da sie sich auf konkrete Summen oder Ganzheiten bezieht. Die in (d) formulierte Transitivität der Teil-von-Beziehung ist aber ein zentraler Bestandteil zumindest der klassischen Formulierungen der Mereologie. Der einzige Ausweg aus dieser Problematik ist unseres Erachtens die Formulierung einer neuen Theorie, die wir die Theorie der granularen Partitionen nennen möchten. Gegenstand dieser Theorie sind komplexe multidimensionale Partitionen. Diese Theorie soll es uns erlauben, das soeben vorgestellte Problem zu lösen.

Stellen wir uns hierzu ein Schachbrett mit Figuren darauf vor. Konzentrieren wir uns ausschließlich auf das, was für das Schachspiel relevant ist, nicht also auf eventuelle Gegenstände im Umfeld des Brettes, zum Beispiel den Tisch, auf dem es steht, die Kaffeetasse darauf, die Moleküle im Holz oder die Wespen, die herumfliegen. Die Fokussierung auf das, was für das Schachspiel relevant ist, bringt eine gewisse Granularität mit sich: Wir interessieren uns für das Brett und die Figuren darauf; nicht für die Moleküle in dem Brett oder für seine Teile. Es gibt aber noch mehr zu sagen: Unser Interesse für Brett und Figuren würde nicht durch eine bloße Auflistung befriedigt, sondern wir interessieren uns für die Konstellation der Figuren auf dem Brett.

³⁹ Vgl. Simons 1987; Smith 1998; Ridder 2002.

Eine Partition ist dementsprechend eine Einrichtung, die einerseits den Fokus auf diejenigen Objekte lenkt, die bedeutsam sind. In dieser Hinsicht ist sie wie eine Liste, die einige Dinge aufzählt und damit an diese erinnert. Andererseits enthält eine Liste nie alle Dinge. Eine Partition kann entsprechend unbedeutende Objekte ignorieren oder sogar verbergen. Darüber hinaus gibt sie uns auch Aufschluss darüber, wie sich die Objekte in ihrem Fokus zueinander verhalten.

3.3 Partitionen als strukturierte Gitter

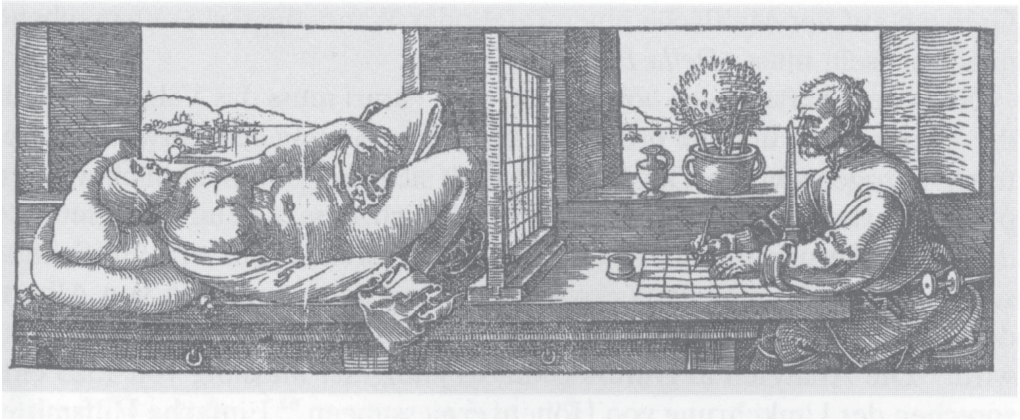
Um diese Zusammenhänge zu verstehen, müssen wir detaillierter auf den Begriff der Partition und auf einige Aspekte der damit verbundenen Zellen zu sprechen kommen. Zunächst muss dafür die Tatsache betont werden, dass Partitionen von Anfang an eine sozusagen „eingebaute“ Granularität besitzen. Eine politische Karte Frankreichs ist ein gutes Beispiel für eine solche Partition: Sie bildet die 91 französischen *départements* oder die 311 *arrondissements* ab. Diese Karte wendet ein grobkörnigeres bzw. ein feinkörnigeres Gitter von Zellen – den kleinsten Einheiten der Partition – auf einen bestimmten Ausschnitt der Realität an.

Eine Partition ist das ontologische Analogon eines eventuell beschrifteten Gitters, wie es in den Postfächern einer Poststelle oder im Warenlager eines Autoteilelieferanten zu finden ist. Damit ein solches Gitter erfolgreich angewendet werden kann, muss es aus Zellen (Verteilerfächern) bestehen, die so beschaffen sind, dass sie die Objekte enthalten, die für uns in diesem Bereich der Realität von Interesse sind. Gleichzeitig muss die Beschaffenheit der Zellen dazu geeignet sein, gewisse Objekte auszuschließen.

Wir können uns eine Partition auch als ein Netz vorstellen, das über den relevanten Bereich der Objekte gelegt wird. Es ist durchsichtig – wie die gitterartigen Instrumente, durch die manche Renaissancekünstler auf ihr Bildobjekt blickten, um es besser abbilden zu können (Abbildung 3.1). Das bedeutet, dass es die Gegenstände, auf die es angewendet wird, in keiner Weise verändert.⁴⁰

⁴⁰ Vgl. Smith 2001a.

Abb. 3.1: Gitter als Zeichenhilfe in der Renaissance – aus Albrecht Dürers *Unterweysung der Messung* (2. Aufl., Nürnberg 1538, fol. Q 3v)



Die Realität, auf die wir Partitionen anwenden, existiert, wie auch immer sie ist – mit all ihren Teilen und ihrer räumlich-zeitlichen Koordinierung. Sie ist unabhängig und unberührt von unseren Einteilungen und unseren Bemühungen, sie theoretisch zu durchdringen. Die Analyse auf unterschiedlichen Granularitätsebenen soll, das haben wir an einigen Beispielen bereits gesehen, verschiedenen Ebenen der Realität gerecht werden. Es ist ein zentrales Anliegen der Wissenschaft, die unterschiedlichen Ebenen der Realität einzufangen. Dabei ist jedoch zu beachten, dass granulare Partitionen sowohl Bona-fide-Objekte als auch Fiat-Objekte enthalten können. *Bona fide* sind solche Objekte, die unabhängig von menschlichen Erkenntnisprozessen und von menschlichen Sprachen existieren, während Fiat-Objekte solche sind, die irgendwann einmal durch menschliche Akte eingeführt wurden. Die französischen *départements* sind zumeist Fiat-Objekte, wie die Franche-Comté, zum Teil aber Bona-fide-Objekte, wie Martinique.

In diesem Falle ist die Anordnung der Zellen in den jeweiligen Partitionen rein räumlich. In den entsprechenden Landkarten (die selbst Partitionen darstellen) entspricht die Lage benachbarter Zellen einer ähnlich benachbarten Lage in der geographischen Realität, auf die sich die Karten beziehen. In anderen Fällen ist die Positionierung der Zellen linear geordnet, wie etwa bei einem Thermometer. Natürlich können auch komplexere Kriterien zur Ordnung der Zellen herangezogen werden, etwa hierarchische, wie das Beispiel der biologischen Arten in der Taxonomie zeigt.

Listenpartitionen, die Mengen im mathematischen Sinne am ähnlichsten sind, sind zum Beispiel Aneinanderreihungen von Eigennamen in einer Volkszählungsliste. Eigennamen selbst sind sehr einfache Partitionen, die auf die Realität angewendet werden, um ein spezifisches Objekt zu verfolgen, das von einem Moment zum nächsten identisch bleibt. Dies ist möglich, obwohl sich alle Dinge kontinuierlich verändern und sowohl Teile verlieren als auch dazugewinnen.

3.4 Die Theorie der granularen Partitionen als Alternative zu Mengentheorie und Mereologie

Eine andere einfache und für den kognitiven Alltag der Menschen äußerst wichtige Partition können wir die Vordergrund-Hintergrund-Partition nennen. Diese hat nur zwei Zellen, einerseits eine Zelle für das Objekt, das zu einer gegebenen Zeit im Vordergrund unserer Aufmerksamkeit steht, zum Beispiel Hans, wenn ich „Hans“ rufe, andererseits eine Zelle für alles andere – in diesem Fall für die Umwelt, aber u.a. auch für die Teile von Hans. Die Vordergrundzelle erfasst folglich nur Hans, alle anderen Granularitätsebenen, wie beispielsweise die der Moleküle oder der Organe, sind in der Hintergrundzelle enthalten.

Es existiert, wie bereits aufgezeigt wurde, eine Vielzahl anderer möglicher Partitionsformen. Stellen wir uns vor, wir stehen auf einer Brücke über einer Autobahn und schauen auf die unterschiedlichen Modelle der Autos, die unter uns vorbeiziehen. Oder wir sind Postangestellte, die Briefe in passende Bündel sortieren, oder Laboranten, die Bakterien nach Spezies und Subspezies sortieren. Vielleicht stellen wir uns auch vor, wir erstellen in einem Museum eine Liste der vorhandenen Fossilien, oder als Hotelportiers Listen von Hotelgästen in einer bestimmten Nacht. In all diesen Fällen verwenden wir ein Gitter genau bezeichneter Zellen, und wir erkennen gewisse Gegenstände in diesen Zellen. In all diesen Fällen haben wir es mit *granularen Partitionen* im hier intendierten Sinne zu tun. Granulare Partitionen spielen bei allen Tätigkeiten eine Rolle, bei denen benannt, aufgelistet, sortiert, gezählt, katalogisiert oder vermessen wird. Solche kognitiven Tätigkeiten führen Menschen in ihrem Umgang mit der Welt aus, und Partitionen sind kognitive Werkzeuge, die entwickelt wurden, um die unterschiedlichen Tätigkeiten der Auflistung, der Vermessung und der Klassifizierung zu ermöglichen.

Wie wird diese kognitive Rolle der Partitionen theoretisch erfasst? Annähernd der gesamte Bereich aktueller Arbeiten zu *common-sense reasoning* und *natural language semantics* basiert im Wesentlichen auf Vorstellungen aus der naiven Mengentheorie. Diese bildet die Grundlage der Semantik der Prädikatenlogik erster Stufe und vermittelt Letzterer auch die Fundierung der analytischen Metaphysik.⁴¹ Die Theorie granularer Partitionen, die wir in diesem Kapitel erläutern, soll als Alternative zur Mengentheorie sowohl in der formalen Ontologie als auch in der Darstellung der menschlichen Kognition dienen, da sie grundlegende Probleme, wie sie durch die Anwendung der Mengentheorie verursacht würden, vermeidet.

Der Grundgedanke der Mengentheorie war die Klärung basaler Begriffe der Mathematik, wie zum Beispiel *Zahl*, *Ordnung* und *Funktion*. Durch die Mengentheorie wurde die Entwicklung einer neuen logischen Grundlage der Arithmetik und der Analysis ermöglicht.⁴² Die Mengentheorie befasst sich mit Mengen von Objekten (die „Elemente“ der Mengen genannt werden) und ihrer Ordnung in Untermengen. Eine Menge wird durch die Gesamtheit aller in ihr enthaltenen Elemente bestimmt. Sieht also Marie Hans, so sieht sie, mengentheoretisch betrachtet, die Menge aller Teile von Hans. Ändert sich diese Menge, zum Beispiel durch das Absterben und Ablösen von Hautzellen, dann ist Hans nicht mehr dieselbe Menge. Hans ist demnach selbst in eine zeitliche Folge von verschiedenen Mengen aufgelöst.

In einer mengentheoretischen Betrachtung werden Arten, Spezies und Genera als Mengen der ihnen zugehörigen Einzelfälle interpretiert, Subspezies als Teilmengen dieser Mengen. Zwar wird die Mengentheorie der Granularität, die unseren Kategorisierungen der Realität zugrunde liegt, gerecht, da sie Objekte als Elemente behandelt, d.h. als einzelne, ganze Einheiten, deren weitere Teile nicht erkennbar sind. Aber die Mengentheorie bringt eine Reihe von Problemen mit sich. Die Tatsache, dass sie keinen Unterschied zwischen natürlichen Mengen (zum Beispiel die Menge aller Katzen, also $\{x \mid x \text{ ist eine Katze}\}$) und *Ad hoc*-Mengen (zum Beispiel $\{\text{Mond, Napoleon, Gerechtigkeit}\}$) macht, ist dabei von erheblicher Bedeutung.

⁴¹ Smith 2005a.

⁴² Quine 1963.

Darüber hinaus führt die Mengentheorie bei der Behandlung der Zeit zu Problemen. Biospezies existieren als gleiche Entitäten, auch wenn alle ihre Instanzen ausgetauscht werden. Maria bleibt mit sich identisch als dieselbe Person, auch wenn alle ihre Zellen ausgetauscht werden. Letzteres ist ein klares Anwendungsproblem der Mengentheorie, denn zwei Mengen sind nur dann identisch, wenn sie aus denselben Elementen bestehen. Wenn wir die Spezies Katze als Menge ihrer Instanzen modellieren, dann entstehen immer neue, unterschiedliche Spezies, wenn Katzen geboren werden oder sterben. Ebenso verhält es sich, wenn wir einen Organismus als die Menge seiner Zellen definieren. Jedes Mal, wenn Zellen dazukommen oder verschwinden, würde ein neuer Organismus entstehen.

Weitere Probleme für die Mengentheorie ergeben sich bei der Behandlung von Beziehungen zwischen Entitäten unterschiedlicher Granularitätsebenen. Ein Organismus ist die Gesamtheit seiner Zellen, aber derselbe Organismus ist auch die Gesamtheit seiner Moleküle und ebenfalls die Gesamtheit seiner Atome. Diese drei *Gesamtheiten* sind identisch. Die korrespondierenden *Mengen* aber sind verschieden, denn sie bestehen aus unterschiedlichen Elementen.

In jüngerer Zeit hat es Versuche gegeben, die beschriebenen Probleme durch die Anwendung der Mereologie als Grundlage ontologischer Forschung zu vermeiden. Ein Vorteil der Mereologie besteht darin, dass sie die Beziehungen zwischen dem Ganzen und seinen Teilen auf unterschiedlichen Ebenen der Granularität realistisch erfassen kann. Alle Ganzheiten (von Zellen, Molekülen etc.), die oben bereits erwähnt wurden, sind mereologisch betrachtet ein und dasselbe. Die Mereologie ist daher eine Theorie davon, wie das Ganze als Summe seiner Teile zu verstehen ist. Weiterhin hat die Mereologie im Vergleich mit der Mengentheorie den Vorteil, dass ihre Anwendung auf mittlere Ebenen der Ontologie, die für *common-sense reasoning* von erheblicher Bedeutung sind, einfacher ist. Denn bei der Mengentheorie muss zunächst eine Ebene von Urelementen angegeben werden, d.h. eine Ebene von solchen Objekten, die selbst nicht Mengen sind und aus denen gemeinsam mit den Mengen sich das Universum der Mengentheorie zusammensetzt. Um die Mereologie anwenden und über Ganzheiten quantifizieren zu können, ist dies hingegen nicht erforderlich. Auf die Urelemente gehen alle höherstufigen Elemente des mengentheoretischen Universums zurück, und diese Urelemente müssen festgelegt werden, bevor die Maschinerie für die Konstruktion der Mengen selbst in Gang gesetzt werden kann. In der Mereologie dagegen ist eine Festlegung auf ein Universum von Urelementen, also nicht weiter teilba-

ren Einheiten, nicht erforderlich. Mereologische Summierungen und Teilungen können quasi mittendrin beginnen.

Jedoch birgt auch die Mereologie Probleme. Zum einen ist auch hier die Behandlung von Entitäten, die im Lauf der Zeit Teile hinzubekommen oder verlieren, unklar: Wenn ein Ganzes mit der Summe seiner Teile identifiziert wird, was geschieht dann, wenn diese Teile sich ändern? Zum anderen gibt es in der mereologischen Betrachtungsweise keine Möglichkeit, zwischen intrinsischen Einheiten, wie Organismen, und *Ad hoc*-Zusammenschlüssen, wie Sandhaufen, zu unterscheiden. Ein weiteres Problem der Mereologie ist allerdings besonders zu beachten: Werden Aussagen über ein Ganzes im Rahmen einer mereologischen Untersuchung getroffen, so geschieht das automatisch über alle seine Teile und alle Ebenen der Granularität. Treffen wir also Aussagen über Hans, dann treffen wir mereologisch betrachtet immer Aussagen über alle seine Teile, also seine Organe, Zellen und Moleküle. Diese Betrachtungsweise trägt jedoch der selektiven Natur der Intentionalität nicht Rechnung. Unsere Wahrnehmung richtet sich oft auf grobkörnige Ganzheiten, ohne feinkörnigere Teile zu beachten: Wenn wir an Marie denken, denken wir nicht an die Moleküle in Maries Arm. Es gibt in der Mereologie bislang keine Möglichkeit, die Vorteile, die die Mengentheorie für solche Phänomene bietet, zu übertragen. Dies zu ändern ist ein wesentliches Ziel der Theorie granularer Partitionen, die dementsprechend ein Ergebnis der Bemühungen ist, die Vorteile von Mereologie und Mengentheorie zu nutzen, ohne ihre Schwächen zu übernehmen.

3.5 Typen granularer Partition

Einige Typen granularer Partition sind *flach* in dem Sinne, dass sie lediglich Listen darstellen. Andere wiederum sind strukturiert, zum Beispiel in hierarchischer Form: Sie bestehen aus Zellen und Unterzellen. Letztere sind in den Ersteren enthalten. Einige Partitionen beziehen sich auf unabhängig existierende Unterteilungen der Objekte innerhalb der Natur (zum Beispiel auf die Unterteilung von Hadronen in Mesonen und Baryonen). Andere Partitionen – zum Beispiel solche, die vom Türsteher einer Diskothek oder von einer Kommission zur Einteilung von Wahlkreisen vorgenommen werden – kreieren selbst eine Trennung der Objekte, manchmal kreieren sie sogar diese Objekte selbst. Sehr unterschiedliche Partitionen können auf ein und denselben Bereich von Gegenständen angewendet werden. Die Personen in einem Ge-

bäude können zum Beispiel nach ihrem Geschlecht, ihrer sozialen Klasse, ihrer Sozialversicherungsnummer oder ihrer Blutgruppe aufgeteilt werden.

Sicherlich ist inzwischen deutlich geworden, dass die Theorie der Partition sehr allgemein gefasst ist. Demgemäß bedient sie sich auch eines Objektbegriffs, der hochgradig allgemein ist. Wir gehen davon aus, dass ein Objekt ein Teil der Realität ist: ein Individuum, ein Teil eines Individuums, eine Gesamtheit von Individuen (zum Beispiel eine biologische Art), eine räumliche Region, eine politische Einheit (Verbandsgemeinde, Bundesland, Nation) oder auch das Universum als Ganzes. Ein Objekt im partitionstheoretischen Sinne ist alles, was durch irgendeine Zelle der Partition erkannt werden kann.

Wie schon angedeutet, können Objekte entweder *bona fide* oder *fiat* sein.⁴³ Bona-fide-Objekte sind Objekte, die unabhängig von der menschlichen Tätigkeit der Partition existieren, zum Beispiel der Mond, mein Lehnstuhl, dieses Stück Käse. Fiat-Objekte existieren lediglich aufgrund der Tätigkeit der Partition – wenn zum Beispiel ein rechter Arm durch eine Fiat-Grenze vom Rest des Körpers oder die westliche Hemisphäre durch eine Fiat-Grenze von der östlichen Hemisphäre getrennt wird. In einigen Fällen beziehen sich die Zellen der Partition auf bereits existierende Fiat-Objekte, in anderen Fällen entstehen die Fiat-Objekte erst durch die Projektion des Partitionsrasters auf den entsprechenden Ausschnitt der Realität. Beispiele dafür sind die Partitionen, die die Staaten Wyoming oder Montana erzeugen, oder diejenige, die eine Bevölkerung in Personen unterschiedlicher Steuerklassen unterteilt. Sind Fiat-Objekte auf diese Art und Weise einmal entstanden, können zukünftige Partitionen einfach auf sie Bezug nehmen, ohne dass diese Objekte nochmals erzeugt werden müssten. Es gibt somit Partitionen, die Fiat-Objekte einfach anerkennen und übernehmen.

Annäherungsweise kann eine granulare Partition betrachtet werden als die mereologische Summe ihrer konstitutiven Zellen zusammen mit der Struktur, die diese Zellen verbindet. Die Zellen in einer granularen Partition zeigen gewisse Eigenschaften, über die Einermengen der Mengentheorie nicht verfügen. Der Grund hierfür ist, dass, während eine Einermenge durch ihr Element definiert wird, eine granulare Partition durch ihre Zellen definiert wird. Die Zellen der Partition sind so, wie sie sind, unabhängig davon, ob Gegen-

⁴³ Vgl. Smith 2001b.

stände in ihnen enthalten sind oder nicht. Eine Karte von Mitteleuropa unterscheidet sich von einer Karte von Zenda, obwohl es in beiden Fällen in der Realität nichts gibt, auf das die Karte sich bezieht. „Morgenstern“ und „Abendstern“ wurden lange Zeit als Bezeichnungen für zwei unterschiedliche Zellen in der astronomischen Partition von Himmelskörpern verwendet, obwohl, wie sich später herausstellte, nur ein Objekt existiert, das sich in beiden Zellen befindet.

Wenn jemand denkt, es gäbe Dodos, dann begeht er einen anderen Fehler als jemand, der denkt, es gäbe einen Planeten innerhalb der Merkurbahn. Für die Mengentheorie gibt es aber nur *eine* leere Menge. Dem mengentheoretischen Ansatz mangelt es daher an einer Möglichkeit, zwischen solchen unterschiedlichen Arten von Fehlern zu differenzieren.

Ebenso wie es vorkommen kann, dass wir unser Teleskop in eine Richtung drehen und nicht finden, was wir suchen, kann es geschehen, dass wir unsere Partition auf einen Bereich anwenden, in dem keine Objekte in den entsprechenden Zellen zu finden sind. Es ist also möglich, dass einige Zellen in einer Partition leer bleiben (es ist sogar möglich, dass alle Zellen einer Partition leer sind). Dies bedeutet jedoch keinesfalls, dass in der Theorie granularer Partition ein Analogon zu der leeren Menge der Mengentheorie existiert. Denn die leere Menge ist notwendig leer; im Gegensatz dazu ist eine Zelle in einer Partition bestenfalls *per accidens* leer, d.h. die Zelle ist leer, weil wir einen Fehler in unserer Partitionierung der Realität begangen haben.

Die Theorie der Partitionen hat folglich insofern eine größere explanatorische Kraft als die Mengentheorie, als sie besser mit den vielfältigen Weisen, wie Menschen kognitiv mit Objekten in der Realität in Beziehung stehen, vereinbar ist. Mit Blick auf ihre Konsequenzen ist die Theorie der Partitionen jedoch in vielerlei Hinsicht viel schwächer als die Mengentheorie, denn die Axiome der Mengentheorie implizieren eine ganze Hierarchie von Mengen, Mengen von Mengen und so weiter, *ad infinitum*. Durch diese Struktur ist die Mengentheorie ein Instrument mit enormen mathematischen Anwendungsmöglichkeiten. Im Gegensatz dazu ist die Theorie der Partitionen, wie die Mereologie, nicht auf eine Kooperation mit der Mathematik ausgerichtet. Sie ist vielmehr ein Instrument, das entwickelt wurde, um klassifikatorischen, kognitiven Akten gerecht zu werden, die Menschen für menschliche Zwecke ersinnen und anwenden.

Es gibt noch einen weiteren bedeutsamen Unterschied zwischen der Mengentheorie und der Theorie der Partitionen: Im Rahmen Letzterer sind Parti-

tionen und Gegenstände in zwei völlig unterschiedlichen Bereichen enthalten. Partitionen selbst sind niemals Gegenstände der Partitionierung, und es existieren daher keine Partitionen von Partitionen. Daraus folgt, dass die Theorie der Partitionen kein Gegenstück zu Mengen von Mengen oder zu den unterschiedlichen Arten, auf die eine Menge (einerseits als Element, andererseits als Untermenge) in einer Menge enthalten sein kann, kennt. Nichtsdestoweniger stellt die Theorie der Partition einen Rahmen dar, in dem Theoriebildung über Relationen zwischen kognitiven Artefakten (zum Beispiel Landkarten oder Listen) und der Realität, auf die sich diese Artefakte beziehen, möglich ist, wie im nächsten Abschnitt zu sehen sein wird.

3.6 Die granulare Partition als System von Zellen

3.6.1 Eine zweiteilige Theorie

Es ist an der Zeit, eine ontologische Theorie granularer Partitionen vorzulegen, denn die Ergebnisse von Partitionierungen sind in jedem Falle granular, das heißt, sie funktionieren nicht nach den Gesetzmäßigkeiten der Mereologie – die Theorie, die sonst der Realisierung dieser Aufgabe am nächsten kommt. Wie bereits erwähnt, kann gemäß der Mereologie immer von der Existenz eines Objektes in der Vordergrunddomäne auf die Existenz all seiner Teile in dieser Domäne geschlossen werden. Die formale Theorie der Partition, wie sie hier nun eingeführt wird, besteht aus zwei unabhängigen Teilen:

A: einer Theorie über die Relationen zwischen Zellen, Unterzellen und den Partitionen, in denen diese enthalten sind,

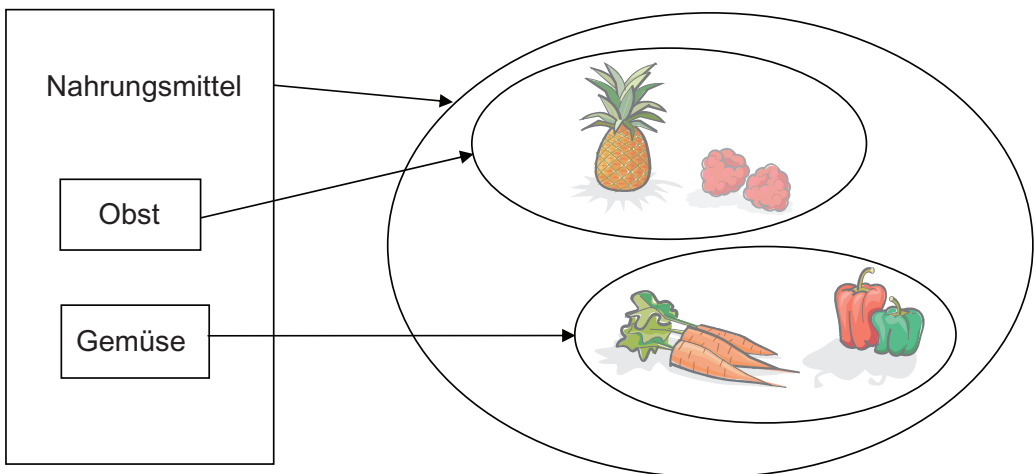
B: einer Theorie über Partitionen und die Gegenstände der Realität.

Das Gegenstück zu A im mengentheoretischen Zusammenhang wäre die Untersuchung der Relationen zwischen den Teilmengen einer einzigen Menge. Das Gegenstück zu B wäre die Untersuchung der Relationen zwischen einer Menge und ihren Elementen. Diese beiden mengentheoretischen Gegenstücke zu A und B sind jedoch für unsere Zwecke zu eng miteinander verbunden, weil in der Mengentheorie die Relationen zwischen Teilmengen durch die Relation „ist ein Element von“ definiert werden, denn eine Menge A ist genau dann Teilmenge einer Menge B, wenn alle Elemente von A auch in B enthalten sind.

Im Gegensatz zur Vorgehensweise in der Mengentheorie werden die entsprechenden Relationen in der Theorie der Partitionen folglich unabhängig voneinander definiert. Die Theorie der Partitionen verabschiedet sich also von dem Gesetz der Mengentheorie, das besagt, dass eine Menge ausschließlich durch ihre Elemente definiert wird. Eine Zelle in der Partition ist definiert durch ihre Position in Letzterer und daher durch ihre Relationen zu anderen Zellen. Diese Faktoren sind die Grundlage der Relationen, die in Theorie A behandelt werden. Die Fragestellung von Theorie B, welche Gegenstände der Realität in den Zellen enthalten sind, ist ein weiterer Aspekt, der durch andere Vorgehensweisen und fallbezogen gelöst werden muss. Kurz gefasst kann gesagt werden, dass die Zellen auf die Objekte projiziert werden wie Scheinwerferlichter, die die Gegenstände in ihrem Lichtkegel erhellen.

Der linke Teil von Abbildung 3.2 zeigt, wie Zellen organisiert und benannt sind. Dies ist der Gegenstandsbereich von Theorieteil A. Theorieteil B bestimmt hingegen die Art, wie die Zellenstruktur auf die Realität projiziert wird, nämlich entsprechend den Pfeilen, die den linken mit dem rechten Teil der Abbildung verbinden.⁴⁴

Abb. 3.2: Beziehungen zwischen Zellen und Gegenständen in der Wirklichkeit



⁴⁴ Wie in der Abbildung zu sehen ist, haben Zellen von Partitionen oft eine Bezeichnung (ein *label* oder eine Etikettierung), die der Bezeichnung der Gegenstände, die eventuell darunter fallen, entspricht.

3.6.2 Die Unterzellenrelation

Theorie A ist im Grunde eine Theorie über die Wohlgeformtheit von Partitionen. Sie widmet sich Eigenschaften, die Partitionen aufgrund der Relationen zwischen Zellen zukommen, sowie Operationen, die auf den Zellen, aus welchen diese Partitionen bestehen, ausgeführt werden. Für Theorie A ist die Verbindung der Partition zur Realität unerheblich.

Zellen innerhalb einer Partition können in eine andere Zelle eingebettet sein – so, wie die Spezies „Rabenkrähe“ in der Klasse (im taxonomischen Sinne) der *Aves* (Vögel) enthalten ist, die wiederum im Unterstamm *Vertebrata* enthalten ist. Wann immer eine Zelle auf diese Art in einer anderen enthalten ist, nennen wir sie eine Unterzelle der anderen. Dabei ist wichtig, dass die Unterzellenrelation Bestand haben kann unabhängig von der Frage, ob Objekte in den Zellen enthalten sind, wie zum Beispiel bei der Unterzelle „männliche Dodos“ und der Zelle „Dodos“, die beide ein Teil der Klassifikation ausgestorbener Tiere sind.

Wenn eine Zelle z_1 in der Partition A zu Zelle z_2 in einer Unterzellenrelation steht, dann wird dies in der Formalisierung durch das Zeichen „ \subseteq “ ausgedrückt. Daraus ergibt sich die Formel: $z_1 \subseteq_A z_2$. (In Fällen, in denen Missverständnisse ausgeschlossen werden können, werden wir den Hinweis auf die Partition entfallen lassen.)

Aus dem Gesagten ergibt sich die Postulierung der ersten generellen Bedingung für alle Partitionen wie folgt:

MA1 Die Unterzellenrelation \subseteq ist reflexiv, antisymmetrisch und transitiv.

Das bedeutet für jede Partition: Jede Zelle ist eine Unterzelle ihrer selbst. Wenn von zwei Zellen jede Unterzelle der jeweils anderen ist, sind sie identisch; wenn die Zelle z_1 eine Unterzelle von z_2 ist und z_2 eine Unterzelle von z_3 , dann ist z_1 eine Unterzelle von z_3 . Man kann sich diese Unterzellen einer Zelle in einer gegebenen Partition als einen besonderen Fall von *Teilen* einer Zelle vorstellen. Es sind jene Teile, die in derselben Partition enthalten sind, als eigenständige Zellen.

3.6.3 Die Existenz einer maximalen Zelle

Alle Zellen in einer Partition sind Unterzellen einer maximalen Zelle, die den gesamten Gegenstandsbereich der Partition umfasst. Die maximale Zelle ist demnach definiert als die Zelle in einer Partition, zu der alle anderen Zellen dieser Partition in einer Unterzellenrelation stehen. Daraus ergibt sich die zweite generelle Bedingung:

MA2 Jede Partition hat eine einzige maximale Zelle.

Die Motivation zur Einführung dieser Bedingung ist einfach: Wenn man sich eine Partition mit zwei maximalen Zellen vorstellt, müsste entweder diese Partition durch eine neue, übergeordnete maximale Zelle komplettiert werden, die die beiden vorherigen maximalen Zellen kombiniert, oder man hätte es tatsächlich nicht mit einer Partition zu tun, sondern mit zwei unterschiedlichen Partitionen, die verschieden behandelt werden müssten.

Die maximale Zelle einer Partition A nennen wir auch ihre *Wurzel* (*root*, $r(A)$). Die maximale Zelle einer Partition enthält, wie bereits gesagt, alle Zellen, die in der Partition vorkommen. MA2 impliziert, dass es keine Partitionen gibt, die gänzlich leer sind in dem Sinne, dass sie keine Zellen enthalten.

3.6.4 Die Bedingung der endlichen Kette

Aus der Transitivität der Unterzellenrelation entsteht eine Einbettung von Zellen innerhalb einer Partition in der Form einer Kette, welche die maximale Zelle (die Wurzel) als erstes Glied hat. Eine solche Kette hat die folgende Form: $z_1 \supset z_2 \supset \dots \supset z_n$. Das Ende einer solchen Kette nennen wir minimale Zelle oder Blatt (*leaf*). Daraus ergibt sich als weitere Bedingung für Partitionen:

MA3 Jede Zelle in einer Partition ist durch eine endliche Kette unmittelbar aufeinander folgender Zellen mit der Wurzel der Partition verbunden.

Eine Zelle z_2 ist nur dann der unmittelbare Nachfolger von Zelle z_1 , wenn z_2 eine Unterzelle von z_1 ist und keine Zelle z_3 existiert, für die $z_1 \supset z_3 \supset z_2$ gültig wäre.

MA3 schließt jedoch nicht die Möglichkeit aus, dass eine Zelle innerhalb einer Partition unendlich viele unmittelbare Unterzellen (auch Tochterzellen

genannt) haben kann. Die Forderung der Endlichkeit der Ketten lässt demzufolge die Frage offen, ob Partitionen selbst endlich sind.

Wenn wir beim Zählen der Autos auf der Autobahn feststellen, dass unsere Kategorisierung eine Zelle mit dem Namen „rote Autos“ und eine Zelle mit dem Namen „Chevrolets“ enthält, dann wissen wir, dass mit unserer Partition etwas nicht stimmt. Ein Problem ergibt sich daraus, dass wir eventuell einige Fahrzeuge schon doppelt gezählt haben. Ein weiteres Problem besteht darin, dass es zwischen diesen beiden Zellen keine natürliche Verbindung gibt. Sie gehören offensichtlich zu unterschiedlichen Partitionen. Um diese Probleme zu vermeiden, fordern wir, dass alle Partitionen die folgende Bedingung erfüllen: Jedes Paar unterschiedlicher Zellen innerhalb einer Partition steht entweder in einem Unterzellenverhältnis zueinander oder es besteht zwischen den beiden kein Zusammenhang. Folglich ist die vierte Bedingung:

MA4 Wenn sich zwei Zellen in einer Partition überschneiden, dann ist eine von ihnen eine Unterzelle der anderen.

Aus MA3 und MA4 kann durch eine einfache *reductio* gefolgert werden, dass die Kette, die jede Zelle einer Partition mit der Wurzel verbindet, eindeutig ist.

3.6.5 Das Verhältnis zwischen granularer Partition und Realität

Es wurde darauf hingewiesen, dass die Theorie granularer Partitionen sich in zwei Theorieteile unterteilen lässt. Theorieteil A, dessen Gegenstand im Wesentlichen die Relationen innerhalb einer Partition sind, wurde eingehend erläutert. Im Folgenden soll nun auf Theorieteil B eingegangen werden, der das Verhältnis von Partitionen zu Gegenständen in der Wirklichkeit thematisiert.

Partitionen werden als Inventare, Bilder oder Karten (auch „Ontologien“) bestimmter Bereiche der Realität geschaffen. In Abschnitt 3 ist bereits der Vergleich mit dem Gitter eingeführt worden, das in der Renaissance als Zeichenhilfe angewendet wurde. In gewissem Sinne gleichen Partitionen allerdings auch den Elementarsätzen, wie sie Wittgenstein in seinem *Tractatus logico-philosophicus* einführt. Elementarsätze bestehen für Wittgenstein aus einfachen Zeichen (Namen), die in einer bestimmten Reihenfolge angeordnet sind. Jeder Name bildet einen Gegenstand in der Realität ab. Ein Elementarsatz ist dann wahr, wenn die einfachen Zeichen darin im Verhältnis zueinander stehen wie die durch sie bezeichneten Gegenstände in der Welt. In diesem Sin-

ne, so Wittgenstein, ist ein wahrer Elementarsatz ein Abbild der Sachverhalte in der Welt.⁴⁵

Die Tatsache, dass ein Elementarsatz eine Ansammlung von Namen in einer spezifischen Ordnung ist, verhält sich äquivalent zu der These, dass eine Partition ein Komplex aus Zellen ist, welche in einer spezifischen Ordnung arrangiert sind.

Es gibt allerdings durchaus Unterschiede: Für Wittgenstein steht fest, dass jeder (echte) Name ein Objekt abbildet, ebenso wie für jedes Objekt ein Name existiert. Im Hinblick auf Partitionen verhält sich dies anders, denn hier kann die Abbildung fehlschlagen. Es sind Partitionen denkbar, in deren Zellen nichts enthalten ist, zum Beispiel die Partition, welche die Götter der Azteken auflistet. Jede Form von Fiktionen, aber auch Pläne, die noch nicht in die Realität umgesetzt wurden, gehören ebenfalls zu dieser Art Partition. Natürlich interessieren uns vornehmlich solche Partitionen, die tatsächlich Elemente enthalten und nicht bloß auf leere Bereiche angewendet werden. Ziel der Wissenschaft ist es, solche Partitionen zu kreieren.

Wenn eine Abbildung erfolgreich ist, dann ist das Objekt, das durch eine Zelle abgebildet wird, in der Zelle enthalten. Man kann auch sagen, das Objekt ist in der Zelle *lokalisiert*. Der Begriff der Lokalisation entspringt der Beschäftigung mit ontologischen Gegebenheiten hinsichtlich räumlicher Aufteilungen, zum Beispiel in der Geographie. Ein gutes Fallbeispiel für Relationen hinsichtlich der Lokalisation in der Realität und in der Partition ist beispielsweise der Ort eines Bahnhofes und die Lokalisation eines entsprechenden Symbols auf einer Karte. Neben der „Lokalisationsrelation“ gibt es natürlich noch weitere Relationen, wie zum Beispiel das Verhältnis einer Instanz (Tibbles) zu ihrer Art (Katze). Für unsere Zwecke ist es jedoch ausreichend sich vorzustellen, dass ein abgebildeter Gegenstand in der entsprechenden Zelle einer Partition enthalten ist.

3.7 Granulare Partition und biomedizinische Forschung

Auf den ersten Blick mag es scheinen, als sei die Beschäftigung mit Granularität ein unnötiges, kompliziertes Additivum zur traditionellen Ontologie. Je-

⁴⁵ Vgl. Wittgenstein 1922, 4.01 und 4.25.

doch gerade Beispiele aus dem biomedizinischen Bereich zeigen, dass granulare Ebenen in der Realität existieren und dementsprechend auch beachtet werden sollten.

Am Beispiel „Krankheit“ lässt sich deutlich ersehen, dass im biomedizinischen Umfeld auf granulare Betrachtungsweisen nicht verzichtet werden kann. Die heutige Biomedizin zieht den ganzen Menschen in Betracht, d.h. der Körper als Ganzes, die Organsysteme, einzelne Organe, spezifische Gewebe und einzelne Zellen und Moleküle, aber auch psychosoziale Faktoren des Krankheitsgeschehens werden untersucht und therapiert. Eine Krankheit wie Krebs, deren Genese durch Faktoren auf der molekulargenetischen Ebene bestimmt wird, wirkt sich selbstverständlich auf die höheren Ebenen der Granularität aus, sogar darüber hinaus auch auf psychische und soziale Aspekte des Lebens eines Patienten.⁴⁶ Andererseits kennt die Medizin Fälle, bei denen der Patient zwar über Beschwerden klagt, ein Befund auf einer feineren Granularitätsebene jedoch unauffällig ist. Ein Beispiel hierfür ist die Entzündung des Wurmfortsatzes des Blinddarms. Der Patient klagt dabei über die typischen Symptome, und der Wurmfortsatz wird entfernt; der histologische Befund ist jedoch unauffällig. Die Ursachen hierfür sind noch weitgehend unklar. Psychosomatische Zusammenhänge sind allerdings keinesfalls das einzige Erklärungsmodell, das für dieses Phänomen herangezogen wird.⁴⁷ Dieses Beispiel zeigt, dass das Individuum als krank angesehen werden kann (grobe Granularitätsebene), obwohl die Histologie keine pathologischen Veränderungen zeigt, sich also in einer feineren Granularitätsebene keine Anzeichen für eine Krankheit finden.

Die granularen Partitionen, die wir verwenden, sind kognitive Artefakte. Die entsprechenden granularen Ebenen in der Wirklichkeit sind kausal wirksam. In der Pharmakotherapie werden chemische Stoffe eingesetzt, die die Befindlichkeit des Patienten positiv beeinflussen. Diese Stoffe wirken zunächst auf der molekularen Ebene. Durch die Therapie wird jedoch eine Wirkung auf ein Organ, ein Organsystem und den gesamten Patienten erzielt. Die von uns verwendeten granularen Partitionen existieren also real, unabhängig von unserer Erkenntnistätigkeit, und sie wirken aufeinander, sind also tatsächlich Aspekte ein und desselben Gegenstandsbereiches.

⁴⁶ Vgl. Schulz 2005.

⁴⁷ Vgl. Brochhausen 2002.

Die moderne Medizin, die ein Zusammenspiel von molekularbiologischen Grundgegebenheiten, pharmazeutisch-chemischen Wirkungen und psychosozialen Wechselwirkungen auf den Patienten darstellt, ist ohne die Verwendung granularer Partitionen nicht denkbar. Unterschiedliche Partitionen mit unterschiedlichen Granularitätsebenen stellen keineswegs konzeptionell bedingte unterschiedliche Interpretationsweisen dar. Es handelt sich viel mehr um eine durch das Erkenntnisinteresse geleitete Kategorisierung realer Objekte.

Übersetzung: Mathias Brochhausen

Kapitel 4

Klassifikationen

LUDGER JANSEN

Dinge zu klassifizieren ist seit alters her eine Standardtätigkeit für Wissenschaftler, und so verwundert es nicht, dass sich Philosophen seit zweieinhalb Jahrtausenden Gedanken über das Klassifizieren gemacht haben, angefangen bei Platon und Aristoteles bis hin zur modernen Wissenschaftstheorie. Um einige der Ergebnisse dieses Nachdenkens zusammenzufassen, soll zunächst eine Klassifikationsparodie diskutiert werden: die „chinesische“ Klassifikation der Tiere von Jorge Luis Borges.⁴⁸ Das, was an dieser Klassifikationsparodie komisch erscheint, zählt natürlich zu dem, was in einer idealen Klassifikation vermieden werden sollte (Kap. 4.1). Doch all jene Elemente, die an dieser Parodie komisch erscheinen, kommen auch in dezidiert wissenschaftlichen Klassifikationen vor (Kap. 4.2). Dass wird anhand von Beispielen aus der Terminologie-Datenbank des amerikanischen *National Cancer Institute* (NCI) gezeigt werden, dem *NCI Thesaurus*. Zum Teil sind diese Abweichungen vom klassifikatorischen Ideal abhängig von den technischen Randbedingungen einer solchen Datenbank (Kap. 4.3). Eine Arbeitsteilung zwischen mehreren Informationssystemen – zwischen einer auf Vollständigkeit angelegten Referenzontologie auf der einen und auf bestimmte Anwendungen zugeschnittenen Anwendungsontologien auf der anderen Seite – könnte einige der Probleme lösen (Kap. 4.4).

4.1 Chinesische Tiere: Wie man eine gute Klassifikation erstellt

In einer „gewissen chinesischen Enzyklopädie“, so erzählt Jorge Luis Borges, seien die Tiere in die folgenden Gruppen eingeteilt:

⁴⁸ Vgl. Borges 1966.

1. Tiere, die dem Kaiser gehören,
2. einbalsamierte Tiere,
3. gezähmte Tiere,
4. Milchschweine,
5. Sirenen,
6. Fabeltiere,
7. herrenlose Hunde,
8. in diese Gruppierung gehörige,
9. die sich wie Tolle gebärden,
10. unzählbare,
11. die mit einem ganz feinen Pinsel aus Kamelhaar gezeichnet sind,
12. und so weiter,
13. die den Wasserkrug zerbrochen haben,
14. die von weitem wie Fliegen aussehen.⁴⁹

Wir haben es hier mit einer ausgezeichneten Parodie von Klassifikationen zu tun. Um sich leichter auf sie beziehen zu können, soll diese erfundene Klassifikation im Folgenden als „CTT“, als „Chinesische Tier-Taxonomie“ bezeichnet werden. CTT wirkt dadurch komisch, dass sie einige Sachen grundlegend anders macht, als man es in einer wissenschaftlichen Klassifikation machen sollte. Gute Klassifikationen beruhen also im Gegenschuß darauf, genau diese Fehler zu vermeiden. Was ist es also, das uns in CTT lustig vorkommt? Was können wir von CTT lernen? Hier sind einige der Regeln für das Anfertigen von guten und nützlichen Klassifikationen, gegen die CTT verstößt:

- *Strukturiertheit.* Gute Taxonomien sind strukturiert. Sie berücksichtigen, dass Typen sich in Untertypen aufteilen. In CTT sind alle Gruppen gleichberechtigt. Nun sind Sirenen aber Fabeltiere, (5) mithin eine Unterart von (6). Gefragt ist also eine Hierarchie von Gattungen und Arten.
- *Disjunktivität.* Wenn wir eine solche Hierarchie von Typen und Subtypen haben, dann gilt: Alles, was einen Subtyp instantiiert, instantiiert auch den dazugehörenden Typ. In einer zoologischen Klassifikation (die CTT ja wä-

⁴⁹ Borges 1966, 212. – Als Quelle für die Taxonomie gibt Borges „Dr. Franz Kuhn“ an. Es gibt zwar einen deutschen Sinologen und Übersetzer zahlreicher chinesischer Texte dieses Namens, aber unter seinen Veröffentlichungen ist keine Quelle für CTT zu finden. Vermutlich hat Borges hier in parodistischer Absicht eine falsche Fährte gelegt. Vgl. dazu <http://www.linguistlist.org/issues/7/7-1446.html>. Meinen Zweifel an der Seriosität von Borges' Verweis auf Kuhn und den Hinweis auf diese Seite verdanke ich Jan Westerhoff.

re) gilt beispielsweise, dass alle Tiere, die Säugetiere sind, auch Wirbeltiere sind. Auf derselben Ebene der Klassifikation sollten die verschiedenen Typen jedoch disjunkt sein: Kein Ding sollte zu zwei Typen derselben Ebene gehören, wie ja auch kein Tier sowohl ein Säugetier als auch ein Reptil ist oder sowohl ein Wirbeltier als auch ein Wirbelloses. Wenn Typen derselben Ebene diese Forderung erfüllen, sind sie disjunkt. Die Typen in CTT erfüllen (zumindest nicht notwendigerweise) diese Forderung nicht: Typ (1) der Tiere, die dem Kaiser gehören, kann ja auch gezähmte Tiere umfassen, also Tiere, die zu Typ (3) gehören.

- *Exhaustivität.* Taxonomien enthalten idealerweise alle Entitäten desjenigen Bereiches, den sie zu klassifizieren vorgeben. CTT ist jedoch weit entfernt davon, alle Tiere zu umfassen, wenn davon abgesehen wird, dass beliebige Tiere unter Typ (8) oder auch unter den Typ (13) „und so weiter“ subsumiert werden können. Exhaustivität und Disjunktivität werden oft mit der Formulierung „gemeinsam exhaustiv und paarweise disjunkt“ in einem Atemzug genannt; im Englischen wird diese Forderung oft mit „JEPD“ abgekürzt (für: *jointly exhaustive, pairwise disjoint*).
- *Verzicht auf Ambiguität.* Gute Taxonomien spielen nicht mit Mehrdeutigkeiten ihres Oberbegriffs. Sind Fabeltiere, gemalte Tiere und tote Tiere im gleichen Sinne Tiere wie herrenlose Hunde? Wohl nicht. Die Typen (2), (5), (6) und (11) passen aus diesem Grund nicht in das Ordnungsschema hinein. Gemalte Tiere sind eben keine Tiere, sondern Bilder, die Tiere darstellen.
- *Einheitlichkeit.* Gute Taxonomien haben einen wohldefinierten Bereich, aus dem sie ihre Unterscheidungsmerkmale wählen. CTT hingegen beweist eine große Kreativität, Ordnungsmerkmale aus möglichst verschiedenen Bereichen zu verwenden: (1) sortiert nach dem Eigentümer, (4) nach der Artzugehörigkeit, (7) nach der Abwesenheit eines Eigentümers plus Artzugehörigkeit, (9) nach dem Verhalten, (13) nach den Auswirkungen des Verhaltens und (14) nach der Wirkung auf einen entfernten Beobachter.
- *Keine Meta-Typen.* Gute Taxonomien vermeiden „Meta-Typen“, die nur durch die Kategorisierung selbst zustande kommen, denn solche Meta-Typen können zu paradoxen Effekten führen. In CTT ist (8) eine solcher Meta-Typ: „Tiere, die zu CTT gehören“. Gehört ein Tier zu CTT? Dann gehört es zu (8). Gehören alle Tiere zu CTT? Dann gehören alle Tiere zu (8). Alle Tiere, die zu (1) bis (7) oder (9) bis (14) gehören, gehören also zu

(8). Gehört ein Tier zu CTT, aber nicht zu diesen Klassen, ist dies auch kein Problem: Es kann schließlich auch zu CTT gehören, wenn es nur zu (8) gehört. (8) ist also ein sehr merkwürdiger Typ von Tier. Klassifikationen, die (8) enthalten, führen zu Problemen, die strukturell dem semantischen Paradox des so genannten Wahr-Sagers entsprechen, das sich an einem Satz wie „Dieser Satz ist wahr“ entzündet. Dieser Satz ist hinsichtlich seines Wahrheitswertes unbestimmt, weil er beliebig bewertet werden kann. Wenn angenommen wird, er sei wahr, dann ist der Fall, was er behauptet, nämlich dass er wahr ist – und das ist genau das, was für die Wahrheit eines Satzes notwendig ist. Wird hingegen angenommen, er sei falsch, dann ist nicht der Fall, was er behauptet, wie dies für einen falschen Satz auch angemessen ist. Jeder der beiden Wahrheitswerte „wahr“ und „falsch“ kann dem Wahr-Sager also konsistent zugeordnet werden. Genauso konsistent können Tiere, die nicht zu den übrigen Typen von CTT gehören, (8) zugeordnet werden oder nicht. Eine solche Möglichkeit der willkürlichen Zuordnung ist freilich sehr merkwürdig.

Noch schlimmer wird es mit einer Russellschen Variante von CTT, nämlich CTT*, die statt des Typs (8) den Typ (8*) enthält:

8*. Tiere, die nicht zu CTT* gehören.

Ein solcher Typ führt zu Problemen, die der Russellschen Antinomie oder dem Lügner-Paradox strukturell entsprechen: Gehört ein Tier zu den Typen (1) bis (7) oder (9) bis (13), dann gehört es zu CTT* und damit nicht zu (8*). So weit ist die Sache klar. Gehört ein Tier aber nicht zu diesen Typen, geraten wir in eine paradoxe Situation. Denn wenn das Tier nun auch nicht zu (8*) gehören würde, würde es zu gar keinem Typ von CTT* gehören, und damit nicht zu CTT*. Tiere, die nicht zu CTT* gehören, gehören aber zu (8*). Wenn man davon ausgeht, dass das Tier nicht zu den übrigen Typen gehört, folgt also: Wenn etwas nicht zu (8*) gehört, gehört es zu (8*). Aber was auch immer zu (8*) gehört, gehört zu CTT*. Dann jedoch gehört das Tier nicht zu (8*). Wieder vorausgesetzt, dass das Tier nicht zu den übrigen Typen gehört, gilt also auch: Was zu (8*) gehört, gehört nicht zu (8*). Das Auftreten solcher Situationen sollte man in wissenschaftlichen Klassifikationen tunlichst vermeiden.

- *Explizitheit und Präzision.* Gute Taxonomien sind explizit und präzise. „Und so weiter“-Typen wie (12) genügen diesen Ansprüchen selbstverständlich nicht.

- *Ontologische Fundierung.* Gute Taxonomien klassifizieren Dinge aufgrund von entsprechenden Merkmalen. Das schließt Meta-Typen genauso aus wie Typ (12), „und so weiter“, denn zur „und so weiter“-Gruppe gehören Dinge nicht, weil sie ein sie einigendes Merkmal besitzen. Und auch Typ (14), „Die von weitem aussehen wie Fliegen“, klassifiziert nicht direkt aufgrund von Merkmalen der Dinge selbst, sondern aufgrund ihrer Wirkung auf einen entfernten Beobachter.

4.2 Medizindatenbanken:

Wie man eine schlechte Klassifikation erstellt

Wenden wir uns nun einer ernstgemeinten Klassifikation zu, dem *National Cancer Institute Thesaurus* (NCIT). Dieser wurde vom amerikanischen *National Cancer Institute* erstellt, um dessen Kampf gegen den Krebs in vielfacher Weise zu unterstützen: Zum einen stellt der Thesaurus ein online zugängliches Nachschlagewerk dar, zum anderen kann er als ein kontrolliertes Vokabular zur Annotation und Indexierung der für die Erforschung und die Bekämpfung von Krebs einschlägigen Literatur dienen.⁵⁰ Dazu enthält er mehr als 110.000 Ausdrücke und 36.000 Begriffe, die sich auf den Krebs beziehen und für die Krebsforschung wichtig sind. Darunter befinden sich 10.000 Arten medizinischer Diagnosen oder Störungen, mehr als 5.000 anatomische Arten, mehr als 3.500 Chemikalien und Medikamente, etwa 2.000 Arten von Genen etc.⁵¹ Der Thesaurus hat also einen durchaus beeindruckenden Umfangs. Doch seine Anlage erinnert allzu oft an CTT.

4.2.1 Strukturiertheit: Gruppen und Tiere

Anders als CTT besitzt der NCIT eine Hierarchie von Ober- und Untertypen. Doch ist diese Hierarchie oft nicht oder nicht richtig ausgearbeitet. Ein Beispiel für eine fehlende Hierarchisierung bietet der Eintrag *Subgroup*, der vom NCIT wie als eine „subdivision of a larger group with members often exhibiting similar characteristics“ definiert. Nun sollte man annehmen, dass solche Teile von Gruppen auch Gruppen sind, und in der Tat wird dies auch von der

⁵⁰ Vgl. Ceusters, Smith und Goldberg 2005.

⁵¹ Vgl. Fragoso 2004.

Definition von *Group* im NCIT impliziert, denn *Group* wird definiert als „any number of entities (members) considered as a unit“. Die Verbindung zwischen *Subgroup* und *Group* fehlt jedoch im NCIT, und damit fehlt ein Teil der hierarchischen Struktur.

Zudem ist der NCIT in vielen Fällen auch falsch strukturiert. Als Obertyp von *Group* wird beispielsweise *Grouping* angegeben, das definiert wird als ein „system for classifying things into groups or the activity of putting things together in groups“. Aber, wie die philosophische Tradition weiß,⁵² muss die Definition des Supertyps auch von den Subtypen ausgesagt werden können. Aus der Definition von *Grouping* und der Tatsache, dass *Group* als Untertyp von *Grouping* angesehen wird, folgt jedoch, dass eine *Group* ein „system for classifying things into groups or the activity of putting things together in groups“ ist – eine absurde Konklusion.

Die Klassifikation der Tiere im NCIT ist nahezu von ähnlicher Qualität wie die in Borges' CTT. Der Typ *Tier* hat im NCIT die folgenden Untertypen: *Wirbelloses*, *Labortier*, *Wechselwarmes*, *Wirbeltier*. Eine höchst merkwürdige Reihung fürwahr, ist doch erstens schon das Paar *Wirbelloses*/*Wirbeltier* eine vollständige Aufteilung aller Tiere. Zweitens nimmt sich der Typ *Labortier* neben drei natürlichen Klassen höchst seltsam aus, da Labortiere eben keine natürliche Art bilden; die Einteilung verwendet hier folglich Merkmale ganz verschiedener Art. Drittens schließlich ist *Wechselwarmes* ein Untertyp von *Wirbeltier*, gehört damit also gar nicht auf die gleiche Ebene wie sein Obertyp.

4.2.2 Disjunktivität und Exhaustivität: Patienten

Häufig gibt es im NCIT Untertypen desselben Obertyps, die nicht disjunkt sind. Ein Beispiel: Als medizinische Terminologie hat der NCIT natürlich einen Eintrag *Patient*. Dieser Eintrag hat zwei Untertypen: *Krebspatient* und *Ambulanter Patient* (*Cancerpatient*, *Outpatient*). Diese beiden Einträge sind augenscheinlich nicht disjunkt, denn viele Krebspatienten werden ambulant behandelt. Und natürlich sind diese beiden Untertypen auch keine exhaustive Klassifikation der Patienten, da es zahlreiche Patienten gibt, die weder Krebspatienten noch ambulante Patienten sind.

⁵² Vgl. z.B. Aristoteles, *Kategorien* 3.

Normalerweise würde man dieses Beispiel als einen typischen Anwendungsfall einer Kreuzklassifikation ansehen: Wir haben es mit zwei voneinander unabhängigen Merkmalen zu tun, die jeweils vorliegen oder nicht vorliegen können. Miteinander kombiniert bilden diese beiden Merkmale insgesamt vier verschiedene Klassen, in unserem Fall vier Klassen von Patienten, die in Abbildung 4.1 zu sehen sind.

Abb. 4.1: Vier Klassen von Patienten – eine Kreuzklassifikation

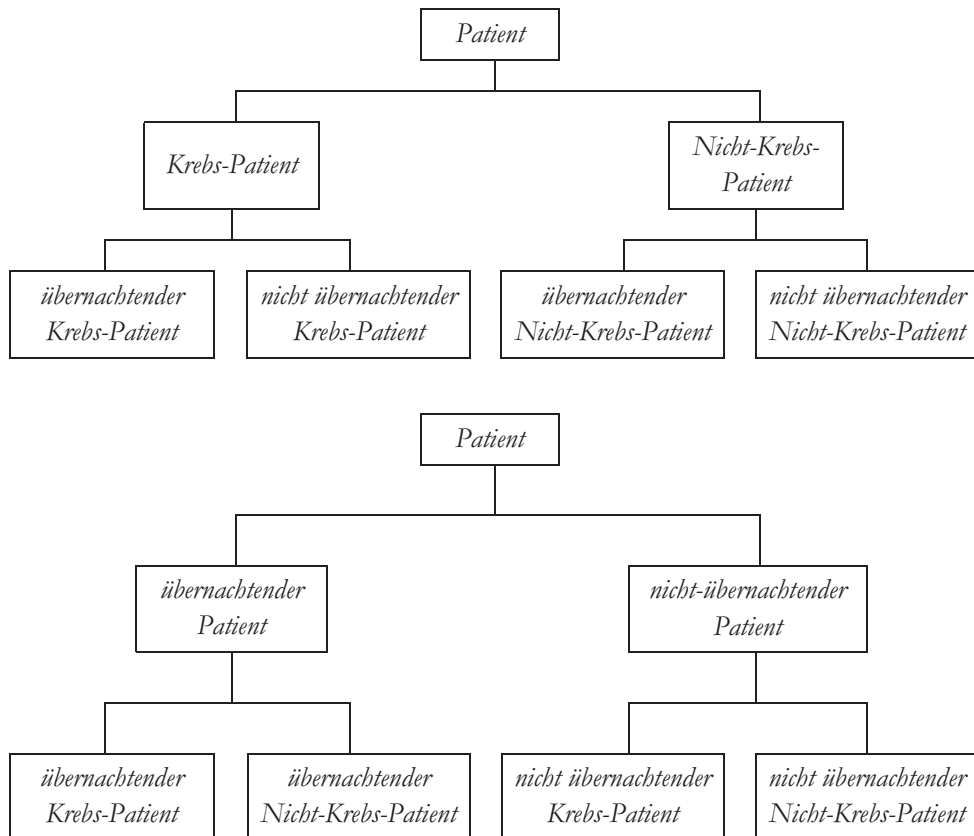
| PATIENTEN | Ambulant? Ja. | Ambulant? Nein. |
|--------------|--|---|
| Krebs? Ja. | <i>Ambulante Krebspatienten</i> | <i>Stationäre Krebspatienten</i> |
| Krebs? Nein. | <i>Ambulante Nichtkrebspatienten</i> | <i>Stationäre Nichtkrebspatienten</i> |

In den Informationswissenschaften stellt man sich ideale Klassifikationen als Baumstrukturen vor. Das steht in der langen Tradition der *Arbor Porphyriana*, des Porphyrischen Baumes, benannt nach dem Neuplatoniker Porphyrios (ca. 234–304), dessen Einleitungsschrift zum Organon des Aristoteles, die *Isagogé*, die zentralen Begriffe des klassischen aristotelischen Begriffsbaumes erläutert, wie sie in Abbildung 4.2 dargestellt werden. Mit Hilfe solcher Bäume können gemäß der Formel *Definitio fit per genus proximum et differentiam specificam* leicht Definitionen nach Aristotelischem Muster erstellt werden: Eine Spezies wird danach so definiert, dass die ihr als nächstes übergeordnete Gattung (das *Genus proximum*) gemeinsam mit dem sie konstituierenden spezifischen Merkmal (der *Differentia specifica*) angegeben wird. Als Definition des Menschen könnte man gemäß dieser Struktur „vernunftbegabtes Lebewesen“ angeben, wobei „Lebewesen“ die übergeordnete Gattung und „vernunftbegabt“ das spezifische Merkmal des Menschen bezeichnet.

Solche Baumstrukturen nennt man in der Informatik auch „gerichtete Graphen“. In ihnen ist eine Richtung ausgezeichnet: Bäume haben einen eindeutigen „Stamm“, das *Genus ultimum*, von dem ausgehend immer feiner werdende Äste abzweigen, die schließlich in den „Blättern“, den Spezies, enden. Jedes Element in einem solchen Baum (jeder „Knoten“ des Graphen) hat einen eindeutigen Obertyp. Versucht man nun aber, eine Kreuzklassifikation, wie die in Abbildung 4.1 dargestellte, in einen solchen Graphen umzuwandeln, erlebt man zwei Überraschungen: Erstens geht die Eindeutigkeit des Ober-

Zweitens stellt sich die Frage, welches der beiden Merkmale in der Hierarchie der Klassifikation zuerst abgearbeitet werden soll: Sollen wir die Patienten zuerst in solche mit bzw. ohne Krebs unterteilen und diese beiden Patientenklassen jeweils in solche, die ambulant und solche, die stationär behandelt werden? Oder sollen wir vielmehr die Patienten zuerst in einerseits ambulant und andererseits stationär zu behandelnde unterteilen, und dann diese beiden Klassen jeweils in Unterklassen von Patienten, die an Krebs leiden oder die nicht an Krebs leiden? Wir haben also die Wahl zwischen den beiden in Abbildung 4.4 dargestellten Baumstrukturen.

Abb. 4.4: Zwei alternative Baumdiagramme



Auf der untersten Ebene der Bäume, der Ebene der „Blätter“, ergeben sich in beiden Fällen dieselben vier Typen. Vermutlich wäre es für die medizinische Praxis völlig irrelevant, welche der beiden Möglichkeiten wir wählen würden. Aus philosophischer Sicht ist eine solche Arbitrarität, also die Mög-

lichkeit zu einer willkürlichen Entscheidung dieser Frage, allerdings ein bemerkenswertes Phänomen. In Kapitel 9 wird eine Diagnose der Ursache dieser Arbitrarität vorgeschlagen werden, aus der sich dann auch eine Empfehlung zum Umgang mit diesem Phänomen ergibt. An dieser Stelle sei nur soviel angedeutet: Eine Kreuzklassifikation beruht gerade darauf, dass sie nach dem Vorliegen bzw. Nichtvorliegen zweier voneinander unabhängiger Merkmale fragt. Im Falle der Patienten im NCIT sind dies die Fragen:

- (Q1) Aus welchem Grund wird der Patient behandelt?
 (Q2) Bleibt der Patient über Nacht?

Abb. 4.5: Mehrdimensionale Klassifikation in SNOMED II⁵³

| | | |
|---------------------------------|-------------------------------|---|
| Welche morphologische Struktur? | Morphologie | M |
| Findet sich wo? | Topographie | T |
| Was ist die Ursache? | Ätiologie (<i>etiology</i>) | E |
| Mit welchem Effekt? | Funktion | F |
| Bei welcher Krankheit? | Krankheit (<i>disease</i>) | D |
| Welche Prozeduren sind erfolgt? | Prozedur | P |
| Zusammenhang mit dem Beruf? | Beruf (<i>job</i>) | J |

Eine Möglichkeit, solche Aspekte voneinander zu trennen, ist die „mehrachsig“ oder „mehrdimensionale“ Klassifikation. Dieses Verfahren wird zum Beispiel von SNOMED, der *Systematized Nomenclature of Human and Veterinary Medicine*, angewandt, die vom amerikanischen *College of American Pathologists* entwickelt worden ist.⁵⁴ In der Version 3 unterscheidet SNOMED elf verschiedene Klassifikationsachsen, die mit 17 Qualifikatoren verknüpft werden können. Abbildung 4.5 listet einige dieser „semantischen Achsen“ von SNOMED auf. Nicht für jedes Krankheitsbild wird jede dieser Achsen benötigt, aber indem mehrere dieser Achsen herangezogen werden, kann zum Beispiel eine Virusenzephalitis bei einem Waldarbeiter kodiert werden als

TX2000 M40000 E30000 J63230,

⁵³ Dugas und Schmidt 2003, 80. Zur Kritik an SNOMED vgl. Bodenreider et al. 2007.

⁵⁴ Vgl. <http://www.snomed.org> und Winger 1984.

wobei der mit „T“ beginnende Teil der Kodierung den Ort der Krankheit, der mit „M“ beginnende Teil den betroffenen Körperteil, der mit „E“ beginnende Teil die Ursache der Krankheit (den Virus) und der mit „J“ beginnende Teil den Beruf des Betroffenen angibt.

4.2.3 Uniformität: Labortiere

Patienten zugleich nach ihrer Krebsdiagnose und nach ihrem Übernachtungsstatus zu klassifizieren, führt nicht nur zu Problemen mit der Disjunktivität und Exhaustivität, sondern verstößt zugleich auch gegen das Uniformitätsgebot: Merkmale aus zwei ganz verschiedenen Bereichen werden hier zusammengebracht. Noch drastischer als bei der Klassifikation der Patienten fällt dies bei der Klassifikation der Labortiere im NCIT auf, die, soviel steht fest, für die Krebsforschung äußerst wichtig sind. Dies lässt sich auch daran erkennen, dass der Obertyp *Laboratory_animal* im NCIT in zwölf vielfältige Untertypen unterteilt wird. Die Merkmale, mit Hilfe derer diese Untertypen gebildet werden, stammen allerdings aus ganz unterschiedlichen Bereichen. Der NCIT verstößt hier also gegen das Uniformitätsgebot.

Einige der Untertypen von *Labortier* basieren auf Dingen, die den fraglichen Tieren widerfahren sind. Eine *Genetically_Engineered_Mouse* wird zum Beispiel vom NCIT definiert als eine „Maus, die durch das Hinzufügen neuer genetischer Charakteristika genetisch verändert wurde“. In diesem Beispiel wird das Erleiden der DNA-Manipulation als Wesen der *Genetically_Engineered_Mouse* angegeben. Andere Untertypen wie *Control_Animal* basieren auf der jeweiligen Rolle, die das Tier innerhalb eines Versuchaufbaus einnimmt. Denn Kontrolltiere, so vermerkt der NCIT, sind „die Tiere in einer Studie, die nicht die zu testende Behandlung erfahren“.

Diese Definitionen berufen sich folglich auf Unterscheidungsmerkmale aus ganz unterschiedlichen Bereichen. Sie stammen aus ganz unterschiedlichen Kategorien: natürliche Arten, Leiden, funktionale Rollen. Diese kategorialen Unterscheidungen (mit denen sich das nächste Kapitel näher befassen wird) sollten in einer guten Klassifikation berücksichtigt werden.

4.2.4 Meta-Typen und „Anderes“

Auch hinsichtlich der Explizitheit und Präzision lässt der NCIT zu wünschen übrig. So, wie es in CTT einen Eintrag „und so weiter“ gibt, gibt es im NCIT einen Eintrag *Other*, und zwar als Untertyp des Typs *General_Modifier* (ein Un-

tertyp von *Qualifier*, das wiederum ein Untertyp von *Properties_and_Attributes* ist), der vom NCIT als „different than the one(s) previously specified or mentioned“ definiert wird. Außer der Entsprechung zum bloßen „Andere(r/s)“ gibt es im NCIT noch ca. 80 andere Einträge der Form „Andere F“, zum Beispiel *Carcinoma,_Other,_of_the_Mouse_Pulmonary_System*.⁵⁵

Ganz wie CTT besitzt der NCIT auch Meta-Typen, also Typen, die ihrerseits von der Klassifikation abhängig sind, von der sie ein Teil sind. So enthält der NCIT zum Beispiel die Kategorie *NCI-Thesaurus_Property*, die ein Untertyp von *Property* ist und definiert wird als eine „specific terminology property present in the NCI Thesaurus“. Meta-Typen kommen im NCIT sogar in der obersten Ebene der Klassifikation vor. In dieser Ebene listet der NCIT nämlich den Typ *Retired_Concept* auf, den er definiert als ein „concept [which] has been retired, and should not be used except to deal with old data“. Hier geraten, um Freges Terminologie zu verwenden, eindeutig *Begriffseigenschaften* und *Begriffsmerkmale* durcheinander.⁵⁶ Während es ohne Zweifel nützlich ist, in einer Klassifikation auch Eigenschaften der vorkommenden Ausdrücke oder Begriffe festzuhalten, so sollten diese doch nicht so behandelt werden, als wären sie unabdingbare Merkmale, die Einzeldinge haben müssen, um die fragliche Universalie zu instantiieren.

4.3 Einschränkende Randbedingungen für Klassifikationen

Die obige Kritik an Borges' CTT und am NCIT hat diese an einem Idealbild von Klassifikationen gemessen. Nach diesem Idealbild besteht eine Klassifikation aus paarweise disjunkten Klassen, die gemeinsam den Gegenstandsbereich ausschöpfen und durch ontologisch fundierte Merkmale konstituiert werden. Es gibt eine Reihe von Gründen, warum real existierende Klassifikationen von diesem Idealbild abweichen.

Eine erste Gruppe von einschränkenden Randbedingungen hängt von dem Gegenstandsbereich ab, der zu klassifizieren ist. Gerade wenn es um die Klas-

⁵⁵ Für eine eingehende Kritik an solchen Formulierungen wie „other“ bzw. „not otherwise specified“ („NOS“) vgl. Bodenreider, Smith und Burgun 2004. – In deutschsprachigen Informationssystemen wird oft der Ausdruck „o.n.A.“ („ohne nähere Angabe“) verwendet.

⁵⁶ Vgl. Frege 1884, § 53 und ders. 1892.

sifikation biologischer Arten geht, besteht das Problem, dass eine große Zahl von Tier- und Pflanzenarten wissenschaftlich noch nicht beschrieben oder noch gar nicht entdeckt worden ist. Zudem werden mit neuen genetischen Methoden Artunterschiede entdeckt, die durch traditionelle phänotypische Methoden nicht unterschieden werden konnten. Schon die schiere Anzahl der Arten bietet eine Garantie dafür, dass den Biologen auf absehbare Zeit die Arbeit nicht ausgehen wird: Allein die Anzahl der Tierarten wird auf etwa 30 Millionen geschätzt. Es mag Bereiche geben, die, wie zum Beispiel die Anatomie des Menschen, so gut wie vollständig und abgeschlossen wissenschaftlich erfasst sind. Andere Bereiche hingegen haben ein stetes Wissenswachstum zu verzeichnen, wie die Zoologie, die Botanik und ganz besonders die Genetik, welche aufgrund der Datenintensität der genetischen Analysen ohne computergestützte Datenverarbeitung heute kaum mehr möglich wäre. Prinzipiell muss jedoch immer mit der Entdeckung weiterer Arten gerechnet werden, nicht zuletzt auch deswegen, weil neue Arten entstehen können. Dies würde eine Grenze für die Exhaustivität einer Klassifikation setzen, die durch den zu klassifizierenden Gegenstandsbereich bedingt ist. Manche Gegenstandsbereiche geben dem Klassifikator auch grundsätzliche Probleme auf. Da die Gene von Bakterien auf vielfache Weise untereinander ausgetauscht werden können und sie sich durch die hohe Teilungsrate schnell ändern können, ist es besonders schwer, bei Bakterien stabile und trennscharfe Gattungen und Arten zu unterscheiden. Auch dies sind Grenzen der Klassifikation, die sich aufgrund des Gegenstandsbereiches ergeben.

Eine zweite Gruppe von einschränkenden Randbedingungen hängt ab von der technischen Seite der Realisierung und Anwendung der Klassifikation. Ganz gleich, ob diese in traditioneller, gedruckter Form oder in Form einer computergestützten Datenbank vorliegt: Der zur Verfügung stehende Speicherplatz ist endlich, ob er nun in Druckseiten oder in Festplattenkapazität besteht. Sollen Computerprogramme automatische Schlussfolgerungen aufgrund der eingegebenen Daten durchführen (*automated reasoning*), gibt es zusätzlich zum Speicherproblem das Problem der Berechenbarkeit. Die nötige Rechenzeit wächst mit der Anzahl der Klassen, die zu verwalten sind, und den Relationen zwischen den Klassen, die repräsentiert werden sollen (vgl. Kap. 8), an. Und je nach gewählter Programmiersprache und der ihr zugrunde

liegenden Beschreibungslogik und ihrer Ausdruckskraft⁵⁷ besteht stets die Gefahr, dass eine gestellte Aufgabe überhaupt nicht berechenbar ist.

Unabhängig von der Leistungsfähigkeit der verwendeten Hard- und Software ergeben sich auch durch den menschlichen Benutzer einschränkende Randbedingungen für Klassifikationen. Denn während es immer leichter und billiger wird, die Speicher der Computer zu erweitern, haben die kognitiven Fähigkeiten ihrer menschlichen Benutzer enge Grenzen. Menschlichen Dokumentatoren in Archiven und Bibliotheken wird empfohlen, nicht mehr als etwa eintausend systematisch angeordnete Schlagworte zum Indexieren von Büchern oder Dokumenten zu verwenden.⁵⁸ Computer können selbstverständlich deutlich mehr Termini verwalten; der *NCI Thesaurus* mit seinen 36.000 Termini ist dabei keineswegs die größte Terminologie-Datenbank. Das *Unified Medical Language System* (UMLS) zum Beispiel umfasste im Jahr 2001 schon 1,9 Millionen Ausdrücke mit über 800.000 unterschiedenen Bedeutungen.⁵⁹ Jedoch sind es menschliche Kuratoren, die diese Datenbanken erstellen, und menschlichen Benutzer, die sie später verwenden. Die Kuratoren sind Datenbank-Experten, die sich oft ausschließlich der Entwicklung dieser Art von Wissensspeichern widmen. Aber spätestens dann, wenn ein Hausarzt seine Abrechnungen aufgrund der Diagnosen-Codierung einer solchen umfangreichen Datenbank erstellen soll, stellt sich erneut die Frage, wie viele Diagnosen-Codes er in seinem Praxisalltag zu beherrschen vermag.

Es sieht so aus, als ob das anvisierte Ideal nicht vollständig realisiert werden kann, weil unsere Wünsche sich wechselseitig beschränken: Wenn einerseits eine vollständige Repräsentation eines Wissenschaftsbereiches angestrebt wird, ist dies vermutlich weit von einem einfachen, verständlichen und benutzerfreundlichen System entfernt. Zudem können Probleme mit der Berechenbarkeit auftreten, wenn Vollständigkeit darin besteht, eine große Menge an Daten anzuhäufen und viele Relationen zwischen den Einträgen zu definieren. Wenn andererseits vereinfachende Formulierungen wie „Andere“ oder „Nicht anderweitig bestimmt“ verwendet werden, entstehen Probleme beim Aktualisieren der Klassifikation, denn in unterschiedlichen Versionen kann „Andere“ ganz unterschiedliche Extensionen haben. Wird jedoch davon

⁵⁷ Für einen Überblick vgl. Nardi und Brachman 2002.

⁵⁸ Vgl. Gaus 2003, 93–94.

⁵⁹ Vgl. Dugas und Schmidt 2003, 81.

abgesehen, solche „Andere“-Typen zu verwenden und stattdessen kurzerhand das JEPD-Kriterium aufzugeben, gehen beträchtliche Möglichkeiten verloren, Schlüsse aus unseren Daten zu ziehen. Denn dann wissen wir zum Beispiel nicht mehr, ob eine Entität, die zu einem Obertyp gehört, auch zu genau einem seiner Untertypen gehört.

4.4 Referenzontologien: Ein Lösungsversuch

Ein jüngerer Vorschlag zur Lösung dieses Dilemmas besteht in einer klaren Aufgabenteilung. Es werden schlicht zwei Arten von Systemen benötigt: Referenzontologien und Anwendungsontologien. Die Referenzontologien sollen ohne Rücksicht auf Speicherprobleme und Rechenzeiten entwickelt werden. Sie sollen den Stand der jeweiligen Wissenschaftsdisziplin, aus der sie stammen, möglichst vollständig widerspiegeln:

„Eine Referenzontologie ist analog zu einer wissenschaftlichen Theorie; sie hat einen einheitlichen Gegenstandsbereich, der aus Dingen besteht, die unabhängig von der Ontologie existieren, und sie versucht, die deskriptive oder repräsentationale Angemessenheit ihrem Gegenstandsbereich gegenüber zu optimieren, in dem höchsten Grad, der mit formaler Strenge und informationstechnischer Nützlichkeit kompatibel ist. Da eine Referenzontologie analog zu einer wissenschaftlichen Theorie ist, besteht sie aus Repräsentationen der biologischen Realität, die korrekt sind, wenn sie im Licht unserer gegenwärtigen Verständnisses betrachtet werden (und sie sollte daher einem regelmäßigen Update im Lichte des wissenschaftlichen Fortschritts unterworfen werden).“⁶⁰

Eine Anwendungsontologie hingegen ist analog einem technischen Produkt wie einem Computerprogramm. Bisher ist es üblich gewesen, für jeden Anwendungsfall von Grund auf neue Ontologien zu entwickeln. Das erschwert folglich den Austausch und das Vergleichen von Daten. Anders ist es, wenn auf eine bereits bestehende Referenzontologie zurückgegriffen werden kann, von der ausgehend man die Anwendungsontologie erhält, indem man eine auf einen bestimmten Zweck hin zugeschnittene Auswahl oder Kombination von Typen der Referenzontologie vornimmt. Verschiedene solcher Anwen-

⁶⁰ Der Quellentext findet sich nun unter dem Titel „The OBO Foundry“ unter <http://www.bioontology.org/wiki/images/8/8b/OBO-Foundry.doc> (eingesehen am 03.02.2011); meine Übersetzung. Dort auch das folgende Zitat.

dungsontologien sind dann durch ihre jeweilige Rückbindung an eine gemeinsame Referenzontologie leicht aufeinander abbildbar.

Während also die Aufgabe der maximal-adäquaten Realitäts-Repräsentation der Referenzontologie zugewiesen wird, übernehmen es die Anwendungsontologien, das Speicher- und Berechenbarkeitsproblem in den Griff zu bekommen und Rücksicht auf die menschlichen Benutzer zu nehmen. Die zur *OBO-Foundry* zusammengeschlossenen Wissenschaftler sehen darin einen entscheidenden Fortschritt:⁶¹ „Die Methode, Anwendungsontologien ausschließlich vor dem Hintergrund von formal robusten Referenzontologien zu entwickeln und ihre Aktualisierung im Lichte der Aktualisierung der zugrunde liegenden Referenzontologie sicherzustellen, kann sowohl diesen Tendenzen der Vermehrung von Ontologien entgegenwirken, als auch die Interoperabilität der Anwendungsontologien sicherstellen, die nach ihren Vorgaben konstruiert worden sind.“

4.5 Exotisches Denken? Oder ein ungeeignetes Werkzeug?

Manche Philosophen haben gemeinsam mit Foucault darin übereingestimmt, dass Borges' CTT den „exotischen Zauber eines anderen Denkens“ offenbart.⁶² Es konnte gezeigt werden, dass CTT in der Tat darin bezaubernd ist, eine große Bandbreite von Fehlern und Problemen illustrieren zu können, die bei der Konstruktion von Taxonomien vorkommen können. Davon abgesehen ist CTT ein großartiges Stück Literatur, aber kein Zeugnis der Wissenschaft. Selbst wenn es ein solches wäre, wäre es kein Beweis für ein exotisches Denken, sondern eher ein Beispiel für eine sehr unpraktische Taxonomie. Es wäre jedenfalls ebensoviel oder ebensowenig ein Beispiel für exotisches Denken wie der NCIT, der seinem Anspruch nach ein wissenschaftliches Produkt ist, aber dieselben Eigentümlichkeiten aufweist, die CTT so seltsam erscheinen lassen. Die diskutierten Teile des NCIT sind allerdings keineswegs Beispiele exotischen Denkens, sondern tatsächliche Beispiele für höchst unpraktische Taxonomien. Das *National Cancer Institute* jedenfalls, das den NCIT geschaffen hat und unterhält, ist nicht mit seinem gegenwärtigen Zustand und seinem mutmaßlichen „exotischen Charme“ zufrieden und will den NCIT

⁶¹ Zum Projekt der *OBO Foundry* vgl. auch Smith et al. 2007.

⁶² Foucault 1974, 17. Vgl. auch Jullien 2004.

dahingehend verbessern, solche Klassifikationsfehler zu vermeiden.⁶³ Dies wäre ein hervorragendes Beispiel dafür, dass technische Anwendungen auf den von der Philosophie gelegten Fundamenten aufbauen können.

⁶³ Review of NCI Thesaurus and Development of Plan to Achieve OBO Compliance, <http://www.cbd-net.com/index.php/search/show/938464> (eingesehen am 24.01.2006). Für weitere Kritik am NCIT vgl. Ceusters, Smith und Goldberg 2005.

Kapitel 5

Kategorien: Die *top level* Ontologie

LUDGER JANSEN

Die Aufgabe der Ontologie ist es, so hat Kapitel 2 gezeigt, die Realität zu repräsentieren bzw. die Wissenschaften bei der Repräsentation der Realität zu unterstützen. Ein wichtiges Mittel dafür haben wir im letzten Kapitel kennengelernt: die Technik der Klassifikation. Doch was sind in einer Klassifikation die obersten Arten? Wie soll ihr *top level* aussehen? Diese Frage soll nun erörtert werden. Dazu sollen einige Vorschläge für solche *top level* Ontologien angesehen werden und mithilfe der im letzten Kapitel erarbeiteten Kriterien diskutiert werden (Kap. 5.1). Aus Sicht der philosophischen Tradition der Ontologie ist die Frage nach der *top level ontology* gleichbedeutend mit der Frage nach den grundlegenden Kategorien. Zunächst muss dafür die Frage geklärt werden, was Kategorien überhaupt sind. Der Ausgangspunkt wird dafür die Kategorienlehre des Aristoteles sein, der diesen Begriff maßgeblich geprägt hat (Kap. 5.2). Das Ziel dieses Kapitels ist jedoch nicht so sehr eine getreue Interpretation der Schriften des Aristoteles, sondern die Entwicklung eines kohärenten Kategorienschemas. Ausgehend von Aristoteles' Liste der Kategorien (Kap. 5.3) werden drei Dichotomien vorgeschlagen, die als Kandidaten für die erzeugenden Prinzipien einer *top level* Ontologie dienen können: Abhängige versus unabhängige Entitäten (Kap. 5.4), Kontinuanten versus Okkurrenten (Kap. 5.5) sowie Universalien versus Einzeldinge (Kap. 5.6). Abschließend werden einige Kategorien komplexer Entitäten diskutiert (Kap. 5.7): Sachverhalte, Mengen und natürliche Klassen.

5.1 SUMO, CYC & Co.

Wie sollte eine Ontologie „ganz oben“ aussehen? Was sind die allgemeinsten Klassen aller Klassifikationen? Dafür sind von Autoren aus der Informatik und der Wissensrepräsentation verschiedene Vorschläge unterbreitet worden. Einige der bekanntesten sind:

- die *OpenCyc Upper Ontology*, die *open source* Version der von dem texanischen Unternehmen *Cycorp* entwickelten Cyc-Technologie, die die größte Implementierung von Allgemeinwissen zur Ermöglichung von Commonsense-Schlussfolgerungen sein soll;⁶⁴
- SUMO, die *Suggested Upper Merged Ontology*, die aus einem *open source* Projekt entstanden ist, das frei verfügbare, nicht-kommerzielle Ontologien zu einem gemeinsamen System zusammengefügt hat – zusammen mit ihren verschiedenen Bereichsontologien soll SUMO die derzeit größte öffentlich zugängliche Ontologie sein;⁶⁵
- der „Sowa-Diamant“ (vgl. Abbildung 5.1), der in graphischer Form die von John F. Sowa vorgeschlagene *top level* Ontologie darstellt, die mit zwei Dichotomien und einer Trichotomie zwölf Kategorien erzeugt;⁶⁶
- BFO, die *Basic Formal Ontology*, die vom *Institute for Formal Ontology and Medical Information Science* (IFOMIS) entwickelt worden ist.⁶⁷

Im Folgenden soll zunächst *OpenCyc* an den im letzten Kapitel entwickelten Qualitätskriterien für Klassifikationen gemessen werden. Der im weiteren Verlauf in Auseinandersetzung mit Aristoteles entwickelte Vorschlag entspricht den Grundzügen der BFO, die auf den drei Dichotomien zwischen unabhängigen und abhängigen Entitäten, Kontinuanten und Okkurrenten und Universalien und Einzeldingen aufbaut. Im Laufe der Entwicklung dieses Vorschlags wird zudem deutlich werden, an welcher Stelle der Sowa-Diamant problematisch ist und nachgeschliffen werden müsste (Kap. 5.8).

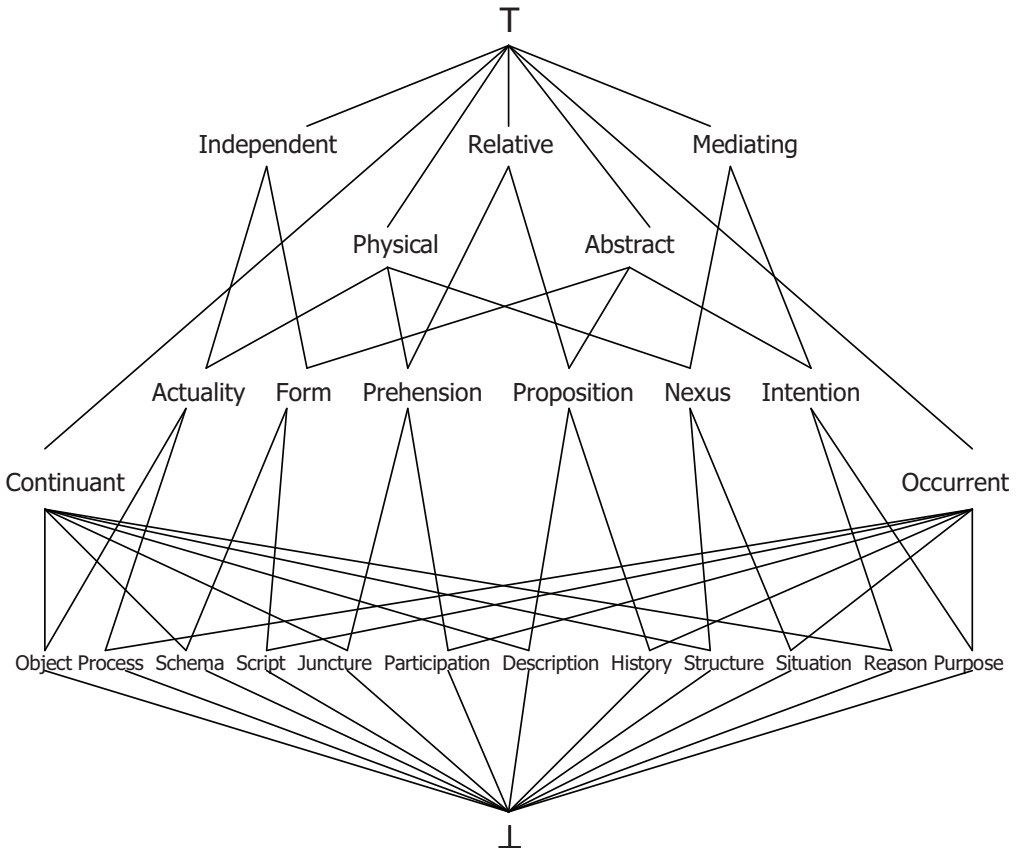
Anders als der völlig symmetrische Sowa-Diamant, in dem jede kombinatorische Möglichkeit auch genutzt wird, ist der *top level* der *OpenCyc Upper Ontology* ein kompliziertes Konglomerat. Die graphische Darstellung dieses Klassifikationssystems gibt davon einen Eindruck (Abbildung 5.2).

⁶⁴ Vgl. <http://www.cyc.com/cyc/opencyc/overview>: „OpenCyc is the open source version of the Cyc technology, the world’s largest and most complete general knowledge base and commonsense reasoning engine.“ (zuletzt eingesehen am 8.8.2006)

⁶⁵ <http://www.ontologyportal.org/> (zuletzt eingesehen am 8.8.2006): „The Suggested Upper Merged Ontology (SUMO) and its domain ontologies form the largest formal public ontology in existence today.“ – Zu SUMO vgl. auch Niles und Pease, 2001.

⁶⁶ Vgl. Sowa 2000 und ders., „Top-Level Categories“, <http://users.bestweb.net/~sowa/ontology/toplevel.htm> (8.8.2006).

⁶⁷ Vgl. <http://ontology.buffalo.edu/bfo> (9.8.2006).

Abb. 5.1: Der Sowa-Diamant⁶⁸

Vor dem Hintergrund der im letzten Kapitel entwickelten Kriterien für Klassifikationen lässt den Betrachter nun gleich die oberste Dichotomie in diesem Diagramm stutzen: Warum sollte die Klasse *Ding* in die Unterklassen *Individuum* und *TeilweiseUnberührbar* aufgeteilt werden? Den Anspruch, dass diese beiden Klassen disjunkt sind, erhebt *OpenCyc* erst gar nicht: *OpenCyc* erlaubt ganz offensichtlich die sich im Diagramm in Karos niederschlagenden multiplen Vererbungsstrukturen. Und gleich auf der nächsten Ebene gibt es die beiden Klassen gemeinsame Unterklasse *TeilweiseUnberührbaresIndividuum*. Aber wieso sollten diese beiden Klassen die Klasse *Ding* ausschöpfen? Das Nicht-Individuelle, die Universalien, kommt im Diagramm als solches nicht

⁶⁸ Quelle: J. F. Sowa, „Top-level Categories“, <http://users.bestweb.net/~sowa/ontology/toplevel.htm> (8.8.2006).

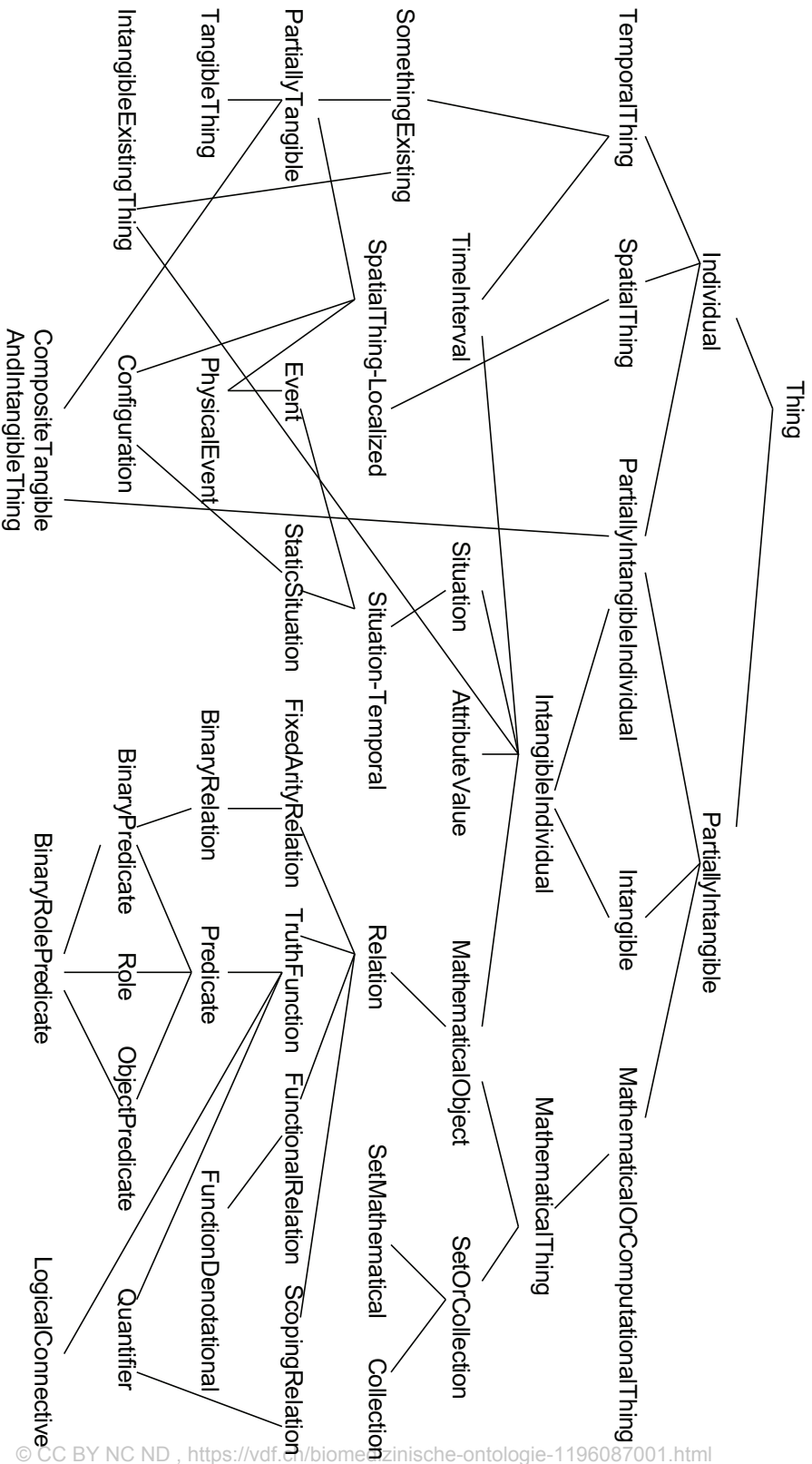


Abb. 5.2: Die *OpenCYC Upper Ontology*

Quelle: <http://www.cyc.com/cycdoc/upperont-diagram.html> (8.3.2008).

vor; die Gegenstücke zum Unberührbaren, *TeilweiseBerührbar* und *BerührbaresDing* finden sich erst drei bis vier Ebenen weiter.

Es wird im Diagramm nicht hinreichend zwischen den klassifizierenden Differenzen (wie *TeilweiseBerührbar*) und den dadurch erzeugten Klassen (wie *BerührbaresDing*) unterschieden. Liest man die verbindenden Linien, wie dies bei einem Klassifikationssystem möglich sein sollte, im Sinne der *is_a*-Relation, dann kommt in diesem Fall grammatischer Unsinn heraus: *BerührbaresDing is_a TeilweiseBerührbar*. Hier ist das subsumierende *is_a* nicht angebracht; angemessen wäre vielmehr eine prädikative Struktur: *BerührbaresDing ist TeilweiseBerührbar*. Abgesehen davon verwundert es, dass ausgerechnet der Berührbarkeit eine so prominente Stellung eingeräumt wird und nicht solchen Eigenschaften wie raumzeitliche Lokalisierung oder Materialität, die viel grundlegender zu sein scheinen als diese und nicht den Bezug auf ein Drittes – den Berührer – erfordern. Außerdem ist „berührbar“, wie viele Dispositionsprädikate, ein äußerst mehrdeutiger Ausdruck; zum Beispiel werden auch die Angehörigen der niedrigsten indischen Kaste und schüchterne Frauen „unberührbar“ genannt. Jedoch sind diese Bedeutungsfacetten mit Sicherheit nicht gemeint. Ebenso sind Gott, ein Elektron, die Milchstraße, das Gravitationsfeld der Erde, die Bundesrepublik Deutschland, der Ausdruck „babig“, eine Schallwelle, Bedeutungen, Nachbarschaft, Freiheit, ein Fußballspiel, eine Stunde, der Schnee von gestern, die e-Funktion, ein Computerprogramm, meine Vorstellung vom Mond und ein in Epoxidharz eingegossener Stein allesamt unberührbar, aber doch aus ganz unterschiedlichen Gründen – und diese Gründe scheinen mir auf die eigentlich relevanten ontologischen Aspekte abzuheben.

Auch im Detail erscheinen die in *OpenCyc* vorgesehenen Subsumptionsbeziehungen problematisch zu sein. *ZeitIntervall* ist sicherlich ein *ZeitlichesDing*, aber ist es ein *Individuum*? Jedenfalls nicht im Wortsinne der Unteilbarkeit (oder genauer: der Unteilbarkeit in zwei Dinge derselben Art wie das Ausgangsding), denn jedes Zeitintervall hat Teile, die selbst Zeitintervalle sind. Andererseits scheint eine *ZeitlicheSituation* doch auch ein *ZeitlichesDing* zu sein. Die Klasse *Relation* wird unter *MathematischesObjekt* subsumiert. Mein Verliebtsein, Nachbarsein und Angestelltsein sind sämtlich Relationen, aber doch alles andere als mathematische Objekte. Ebenso ist meine Briefmarkensammlung eine *Sammlung* (*Collection*), aber sie ist ebenfalls kein *MathematischesObjekt* und durch und durch berührbar, also keineswegs ein *TeilweiseUnberührbaresDing*.

Die im Diagramm vorkommenden Oder-Ausdrücke *MathematischesOder-InformationstechnischesDing* und *MengeOderKollektion* sind keine ontologisch-soliden Klassifikationsprinzipien, da einiges dafür spricht, die Oder-Verbindung zweier Universalien nicht selbst als Universalie anzusehen.⁶⁹ Seltsam ist auch die Klasse *EtwasExistierendes* – enthalten denn die übrigen Klassen Dinge, die nicht existieren? Hier wird die Begriffseigenschaft Existenz⁷⁰ mit einem Begriffsmerkmal verwechselt. Die sehr differenzierte Unterteilung der Relationen schließlich beruht vorwiegend auf logischen Überlegungen – diese sind aber von der Ontologie der Relationen ganz unabhängig.⁷¹

Dies alles sind Gründe genug, sich für die obersten Ebenen von Klassifikationssystemen eine einheitlichere und konsistentere Form zu wünschen. Eine solche soll im Folgenden entwickelt werden in Auseinandersetzung mit einem der ältesten Entwürfe für eine solche *top level* Ontologie: der Kategorienliste des Aristoteles.

5.2 Was sind Kategorien?

Soviel wir wissen, war Aristoteles der erste, der das griechische Wort *kategoria* als philosophischen Fachbegriff verwendet hat. Ursprünglich ist das Substantiv *kategoria* und das dazugehörige Verb *katégorein* in der Rechtssprache beheimatet. Dort bedeutet *kategoria* „Anklage“ und *katégorein* „anklagen“. Wohl weil eine Anklage etwas von jemandem behauptet, kann das Verb auch „kundtun, behaupten“ bedeuten. In der Bedeutung von „etwas über etwas aussagen“ verwendet Aristoteles in der Logik die aktivische Verbphrase *katégorein ti tinos*, häufiger aber noch das passivische *katégoreisthai ti tinos* oder *katégoreisthai ti kata tinos* in der Bedeutung „wird von etwas ausgesagt“. Entsprechend verwendet Aristoteles das Substantiv *kategoria* als Terminus technicus für die Prädikation oder für das Prädikat. Außerdem verwendet Aristoteles den Plural des Substantivs in der sortalen Bedeutung „Arten des Prädikats/der Prädikation“ – und erst in dieser Verwendungsweise kann das griechische Wort *kategoria* mit Hilfe des deutschen Wortes „Kategorie“ übersetzt werden.⁷²

⁶⁹ Vgl. Armstrong 1978, II 19–23.

⁷⁰ Vgl. Frege 1884, § 53 und ders. 1892.

⁷¹ Vgl. Jansen 2006.

⁷² Belege für all diese Verwendungsweisen in Jansen 2005a und ders. 2006, 84–85.

Aristoteles' Auffassung von den Kategorien hat sich vermutlich in drei Stufen entwickelt. Zunächst dürfte sich die Kategorieneinteilung, wie in *Topik* I 9, nur auf Prädikatterme bezogen haben. In dieser ersten Stufe dienten die Kategorien als Hilfsmittel zum Finden von Argumenten und zum Vermeiden oder Aufdecken von Fehlschlüssen. Sie hatten ihren Sitz folglich in der Argumentationstheorie. Die zweite Stufe ist in der Kategorienschrift dokumentiert. Dort umfasst die Kategorieneinteilung nicht nur Prädikatterme, sondern auch Subjekterme, denn nun fallen auch Terme für erste Substanzen wie Cicero oder Brunhilde unter die erste Kategorie, die nur als Subjekte von Prädikationen in Frage kommen, nie aber als Prädikate (*Kategorien* 5, 3a 36–37).⁷³ Damit findet schon eine erste Verschiebung weg von der Argumentationstheorie in Richtung Ontologie statt. Der zweite Schritt in Richtung Ontologie folgt mit der dritten Stufe in der *Metaphysik*, in der sich Aristoteles' berühmte Bemerkung findet, dass vom Sein und vom Seienden in so vielen Bedeutungen gesprochen werde, wie es Kategorien gebe. So wurde die Kategorienunterscheidung vollends zum Bestandteil eines der wichtigsten ontologischen Lehrstücke des Aristoteles.⁷⁴

Die Kategorienlehre des Aristoteles war schon in der Antike umstritten und ist in der Geschichte der Philosophie sehr verschieden interpretiert worden. Dies liegt u.a. daran, dass sie schon bei Aristoteles selbst viele verschiedene Facetten hat, die nicht zuletzt dadurch entstanden sind, dass dieser sie selber weiterentwickelte oder zumindest unterschiedliche Schwerpunkte in ihrer Darstellung setzte. Man kann vier idealtypische Interpretationsmöglichkeiten unterscheiden (die oft kombiniert auftreten), nach denen die Kategorien klassifizieren: (1) Subjekte und Prädikate bzw. deren Bedeutungen, (2) Seiendes, (3) mentale oder extramentale Begriffe oder (4) Bedeutungen der Kopula „ist“. ⁷⁵ Für das vorliegende Vorhaben ist das zentral, was wohl die hauptsächliche Auffassung des späten Aristoteles war: dass die Kategorien die obersten Gattungen des Seienden sind.⁷⁶

⁷³ Zur unterschiedlichen Funktion der Listen in *Topik* und *Kategorien* vgl. Ebert 1985.

⁷⁴ Vgl. Kahn 1978.

⁷⁵ Vgl. Bonitz 1853 und Oehler 1986.

⁷⁶ Vgl. Aristoteles, *Metaphysik* III 3, 998b22–27.

5.3 Die zehn Kategorien des Aristoteles

In *Topik* I 9 erwähnt Aristoteles explizit, dass es zehn verschiedene Kategorien gibt, die er anschließend aufzählt. Eine Zehnerliste von Kategorien findet sich in auch in der Kategorienschrift.⁷⁷ Diese zehn Kategorien sind in Abbildung 5.3 zu finden. Aristoteles benennt viele seiner Kategorien mit den Fragewörtern, mit denen man nach den Entitäten der jeweiligen Kategorie fragen würde. Aus den lateinischen Entsprechungen dieser Fragewörter leiten sich viele der heutigen Fachbegriffe für diese Kategorien ab.

Abb. 5.3: Verschiedene Bezeichnungen für die Kategorien des Aristoteles

| Aristoteles' Name | Deutsche Übersetzung | Lateinische Ausdrücke | Moderne Ausdrücke |
|-----------------------|----------------------|------------------------------|---------------------|
| <i>ti esti, ousia</i> | Was ist es?, Wesen | quod est, quiditas, essentia | Wesen |
| <i>poson</i> | Wie viel? | quantum, quantitas | Quantum, Quantität |
| <i>poion</i> | Wie beschaffen? | quale, qualitas | Quale, Qualität |
| <i>pros ti</i> | In Bezug auf was? | relativum | Relativum, Relation |
| <i>pou</i> | Wo? | ubi | Ort |
| <i>pote</i> | Wann? | quando | Zeit |
| <i>keisthein</i> | Liegen | situ | Lage |
| <i>echein</i> | Haben | habitus | |
| <i>poiein</i> | Tun | agere | |
| <i>paschein</i> | Erleiden | pati | |

Kant hat Aristoteles vorgeworfen, dieser sei ganz „rhapsodistisch“ zu seiner Liste der Kategorien gekommen: „Da er aber kein Principium hatte, so raffte er sie auf, wie sie ihm aufstießen“ – auf diese unsystematische Weise, so Kants Vorwurf, konnte Aristoteles sich der Vollständigkeit seiner Kategorien

⁷⁷ Vgl. *Kategorien* 4, 1b 25–27. An vielen anderen Stellen nennt Aristoteles nur einige dieser Kategorien (eine Übersicht über alle 62 Kategorienaufzählungen findet sich bei Oehler 1986, 352–355). Manche Interpreten sehen darin Korrekturen der Zehnerliste. Viele der kürzeren Listen sind aber explizit summarisch oder exemplarisch und erheben daher keinen Anspruch auf Vollständigkeit.

nie gewiss sein.⁷⁸ Spätere Aristoteliker, wie etwa Thomas von Aquin⁷⁹ oder Franz Brentano⁸⁰, haben es unternommen, einen systematischen Zusammenhang zu rekonstruieren, aus dem sich genau die Aristotelischen Kategorien ergeben, und zwar genau in der Reihenfolge, in der sie in der Kategorienschrift genannt und diskutiert werden.⁸¹ Aristoteles selbst, so lässt sich vermuten, hat die Kategorien tatsächlich wohl eher, wie Kant meint, ohne „Principium“ gefunden, nämlich aufgrund seiner Erfahrungen in dialektischen Übungen und philosophischen Diskussionen.

Eines ist hinsichtlich der Kategorienliste des Aristoteles aber auf jeden Fall anzumerken. Die Liste scheint nämlich keineswegs aus gleichartigen oder gleichberechtigten Elementen zu bestehen. Damit ist nicht der Textbefund gemeint, dass innerhalb der Kategorienschrift die „kleinen“ Kategorien des Ortes und der Zeit, der Lage und des Habens nur in einem kurzen überleitenden Abschnitt summarisch behandelt werden. Die Kategorien des Aristoteles sind vielmehr in zwei wesentlich wichtigeren Hinsichten disparat: Sie umfassen sowohl abhängige als auch unabhängige Entitäten (Kap. 5.3) und sowohl Kontinuanten als auch Okkurrenten (Kap. 5.4). Dies sind bereits zwei der ontologische Dichotomien, die als erzeugende Prinzipien der *top level* Ontologie in Frage kommen. Eine dritte Dichotomie, die quer zu diesen steht, wird im Anschluss an diese zu diskutieren sein: die Unterscheidung zwischen Universalien und Einzeldingen (Kap. 5.5).

5.4 Abhängige und unabhängige Entitäten

In der Kategorienschrift unterscheidet Aristoteles zwischen, wie er es nennt, der „ersten“ und der „zweiten Substanz“ (*protê* und *deutera ousia*), d.h. zwischen substantiellen Einzeldingen einerseits und Gattungen von Substanzen andererseits. Von diesen beiden wird der individuellen Substanz von Aristoteles ein ganz besonderer ontologischer Status zugewiesen: „Alles andere“ wird entweder über Einzelsubstanzen als Zugrundeliegendes ausgesagt oder ist in

⁷⁸ Kant, *Kritik der reinen Vernunft*, B 106–107.

⁷⁹ Vgl. Thomas von Aquin, *In Physicorum Aristotelis expositio* III, lectio 5, Nr. 322 [15] und *In Metaphysicorum Aristotelis expositio* V, lectio 9, Nr. 891–892.

⁸⁰ Brentano 1862, 175. Vgl. dazu Simons 1992.

⁸¹ Vgl. Jansen 2007 für einen neuen Vorschlag zur Hierarchisierung der aristotelischen Kategorien mit Hilfe der in diesem Kapitel diskutierten Dichotomien.

ihnen als Zugrundeliegendem (*Kategorien* 5, 2a 34–35; 2b 3–5; 2b 15–17). Auch in späteren Texten weist Aristoteles der ersten Kategorie eine Sonderstellung gegenüber den übrigen Kategorien zu,⁸² die auch „Eigenschaften der *ousia*“ genannt werden.⁸³ Schon Aristoteles ist sich also im Klaren darüber, dass seine zehn Kategorien nicht einfach nebeneinander stehen. Die individuellen Substanzen werden vielmehr von den Entitäten aller anderen Kategorien vorausgesetzt. In der Tat ist es gerade diese Tatsache, die für Aristoteles überhaupt erst die Einheit der Ontologie ermöglicht (*Metaphysik* IV 2).

Üblicherweise werden die „abhängigen“ Kategorien Akzidenzien genannt und so der Substanz gegenüber gestellt. Ein traditionelles Kriterium für die Gegenüberstellung von Substanzen und Akzidenzien findet sich im zweiten Kapitel der Kategorienschrift: Qualitäten und Quantitäten sind „in“ einer Substanz, während Substanzen nicht „in“ einer Substanz sind, sondern mit einer solchen identisch sind. Doch wie dieses „in einem anderen sein“ genau zu verstehen ist, ist nicht ganz klar. Denn ein Herz ist „in“ einem Körper, und ein Bandwurm ist „in“ seinem Wirt. Dies ist nicht die Art des In-etwas-Seins, die Aristoteles gemeint haben kann. Explizit schließt Aristoteles das In-etwas-Sein in dem Sinne aus, in dem das Teil im Ganzen ist, so wie das Herz im Körper. Doch ein Parasit wie der Bandwurm ist nicht Teil seines Wirtes. Das Kriterium der ontologischen Abhängigkeit hilft, dieses Problem zu lösen. Der Bandwurm könnte seinen Wirt verlassen und könnte in einen anderen Wirt übertragen werden. Ein Grinsen, eine bestimmte Größe oder eine bestimmte Farbe können ihren Träger nicht verlassen und weiterexistieren. Es ist eben nicht möglich, dass die Cheshirekatze verschwindet, ihr Grinsen aber zurückbleibt.⁸⁴ Die Länge eines Baumes kann nicht fortexistieren, wenn der Baum zerstört wird. Die Farbe eines Organs kann nicht in einem Raum zurückbleiben, wenn man das Organ aus dem Raum entfernt. Das Grinsen, die Länge oder die Farbe sind für ihre Existenz auf einen Träger angewiesen, eine Substanz, die dieses Grinsen, diese Länge oder diese Farbe unter ihren Eigenschaften hat. Sie können nicht von dieser Substanz auf eine andere Substanz

⁸² Vgl. z.B. Aristoteles, *Metaphysik* XII 4, 1070b 1: *ousia – talla ta katégoroumena*.

⁸³ Aristoteles, *Metaphysik* IV 2, 1003b 6: *ousiai – pathê ousias*; vgl. auch *Metaphysik* XIV 2, 1089b 23: *ousiai – pathê – pros ti*.

⁸⁴ Vgl. Lewis Carroll, *Alice's Adventures in Wonderland*, Kap. 6: „I've often seen a cat without a grin, thought Alice; but a grin without a cat! It's the most curious thing I ever saw in my life!“ (Carroll 1965, 67)

übergehen: Wenn Alice statt der Cheshirekatze zu grinsen anfängt, dann ist es ein *neues* Grinsen.

Fassen wir diese Überlegung zusammen: Substanzen benötigen die Entitäten der anderen Kategorien nicht, um existieren zu können, während die Entitäten der übrigen Kategorien für ihre Existenz Dinge aus der ersten Kategorie benötigen. Substanzen werden daher „ontologisch unabhängig“ genannt, Akzidenzien hingegen werden als „ontologisch abhängige Entitäten“ bezeichnet. Präziser ausgedrückt: Substanzen sind ontologisch unabhängig von Akzidenzien; Akzidenzien sind ontologisch abhängig von Substanzen. Der Begriff der ontologischen Abhängigkeit kann formal durch ein modales Kriterium bestimmt werden:

Def. 5.1 Eine Entität x ist genau dann ontologisch abhängig von einer Entität y , wenn x nicht existieren kann, ohne dass y existiert.

Für Substanzen und ihre Akzidenzien gilt dann: Wenn s eine Substanz und a eines ihrer Akzidenzien ist, dann kann a nicht existieren, ohne dass s existiert. Weil a also in s inhäriert, ist a ontologisch abhängig von s . Umgekehrt inhäriert aber keineswegs alles, was von einer Entität ontologisch abhängig ist, in dieser Entität. Beispielsweise gehen viele Theisten davon aus, dass Gott ein notwendigerweise existierendes Wesen ist, von dem andere Wesen ihr Sein erhalten (zum Beispiel durch einen Schöpfungsakt). Nur Spinozisten hingegen würden alle Entitäten zu Akzidenzien Gottes erklären. Außerdem sind Relationen von jedem einzigen ihrer Relata ontologisch abhängig, aber sie inhärieren in keinem von ihnen für sich allein genommen, sondern – wenn überhaupt – in der Gesamtheit ihrer Relata.

Es ist möglich, dass zwei Entitäten wechselseitig voneinander ontologisch abhängig sind. Einen Patienten kann es nur geben, wenn es einen behandelnden Arzt gibt, und einen behandelnden Arzt nur, wenn es auch einen Patienten gibt. Nun ist das Behandelnder-Arzt-Sein nicht davon abhängig, dass es einen ganz bestimmten individuellen Patienten gibt. Dazu reicht irgendein beliebiger Patient aus. Umgekehrt hört die Existenz der Patienten nicht dadurch auf, dass es einen bestimmten individuellen Arzt nicht mehr gibt. Nur wenn es überhaupt keine Ärzte mehr gibt, gibt es keine Patienten mehr. Behandelnde Ärzte und Patienten sind also *generisch* voneinander abhängig. Dies können wir wie folgt definieren:

Def. 5.2 F -Sein ist genau dann generisch abhängig von G -Sein, wenn nichts ein F sein kann, ohne dass etwas G ist.

Generische ontologische Abhängigkeit ist nach dieser Definition eine Beziehung zwischen Universalien. Ontologische Abhängigkeit wurde bereits so definiert, dass sie eine Beziehung zwischen beliebigen Entitäten ist. Demnach kann ontologische Abhängigkeit auch zwischen Universalien bestehen. Entsprechendes Einsetzen in Def. 6.1 ergibt die folgende Bestimmung für die ontologische Abhängigkeit zwischen Universalien:

Def. 5.3 Eine Universalie F ist genau dann ontologisch abhängig von einer Universalie G , wenn die Universalie F nicht existieren kann, ohne dass die Universalie G existiert.

Das beste Kriterium dafür, dass die Existenz der Universalie F die Existenz der Universalie G voraussetzt, ist die Frage, ob etwas F sein kann, wenn nichts G ist. Letzteres ist aber gerade das Definiens der generischen Abhängigkeit. Es besteht daher kein Unterschied zwischen der generischen Abhängigkeit des F -Seins vom G -Sein und der ontologischen Abhängigkeit der Universalie F von der Universalie G .

Die Gruppe der Akzidenzien kann weiter in relationale und nicht-relationale Entitäten eingeteilt werden. Relationale Entitäten sind solche, die für ihre Existenz von einer Mehrzahl von Trägern ontologisch abhängig sind, nicht-relationale solche, die von einem einzigen Träger ontologisch abhängig sind.⁸⁵

5.5 Kontinuanten und Okkurrenten

In noch einer weiteren Hinsicht ist die Kategorienliste des Aristoteles uneinheitlich: Zwei der aristotelischen Kategorien unterscheiden sich in einer wichtigen Hinsicht von den übrigen, nämlich Tun und Erleiden. Während nämlich ein einziger Zeitpunkt als Bezugspunkt ausreicht, damit gesagt werden kann, dass eine Substanz wie eine Amöbe oder eine Quantität wie eine Länge von 20 Metern oder die Qualität Rot existieren können, kann von einem Tun oder einem Erleiden immer nur in Bezug auf ein ganzes Zeitintervall die Rede sein. Wann auch immer man es mit einem Bakterium zu tun hat, hat man es zu jedem Zeitpunkt des Lebens dieses Bakteriums mit dem ganzen Bakterium zu tun. Der Prozess der Teilung eines Bakteriums hingegen oder ein Hei-

⁸⁵ Vgl. Jansen 2006, 86 Anm. 14; Smith und Ceusters 2007.

lungsprozess finden in der Zeit statt und „entfalten“ sich erst in der Zeit. Diese Entitäten haben zeitliche Teile: Der Teilungsprozess hat einen Beginn und ein Ende; er besteht aus verschiedenen Phasen, die zeitlich aufeinander folgen. Die Amöbe hingegen hat räumliche Teile, die zeitlich zugleich existieren: einen Kern, eine Membran und das Zytoplasma.

Man hat es also mit zwei Arten von Entitäten zu tun, die freilich in enger Beziehung zueinander stehen: Zu einem Organismus gehört ein Leben und zu einem Zustand wie einer Krankheit gehört ein Verlauf, eine Geschichte (die in dann in Patientenakten dokumentiert wird). Gemeinsam ist all diesen Entitäten, dass sich ihre Existenz über mehrere Zeitpunkte hinweg erstreckt. Aber die erste Art von Entitäten ist zu jedem Zeitpunkt ihrer Existenz „ganz“ vorhanden: Jede dieser Ganzheiten stellt dieselbe Entität zu verschiedenen Zeitpunkten dar. Jede dieser Ganzheiten ist demnach mit den anderen „diachron identisch“. Da es sich um Entitäten handelt, die durch die Zeit fortexistieren können (*continue to exist*), werden diese Entitäten „Kontinuanten“ genannt. Die zweite Art von Entitäten hingegen ist zu keinem Zeitpunkt ihrer Existenz „ganz“ da. Diese Entitäten entfalten sich erst in der Zeit, denn sie haben zeitlich aufeinanderfolgende Teile, die nicht miteinander identisch sind, sondern voneinander verschiedene Teile einer solchen zeitlichen Entität sind. Es sind Dinge, die in der Zeit geschehen. Es sind Geschehnisse. Sie werden auch „Okkurrenten“ genannt.

Die Bezeichnungen „Kontinuanten“ und „Okkurrenten“ gehen auf den Cambridge-Logiker William Johnson (1858–1931) zurück. Johnson unterscheidet in seiner Darstellung der Logik *continuants* und *occurents*. Er definiert *continuant* als „that which continues to exist while its states or relations may be changing“.⁸⁶ In jüngerer Zeit hat David Lewis (1941–2001) auf dieselbe Weise zwischen *endurers* und *perdururs* unterschieden:

„Etwas dauert mit (*perdures*) genau dann, wenn es dadurch persistiert, dass es verschiedene zeitliche Teile oder Stadien zu verschiedenen Zeiten hat, obwohl keines seiner Teile als Ganzes zu mehr als einer Zeit gegenwärtig ist. Es währt (*endures*) hingegen genau dann, wenn es dadurch persistiert, dass es als Ganzes zu mehr als einer Zeit gegenwärtig ist.“⁸⁷

⁸⁶ Johnson 1921, 199.

⁸⁷ Lewis 1986, 202. Die Übersetzung von „persist“ als „mitdauern“ und „endure“ als „währen“ übernehme ich von Tegtmeyer 2002.

Von manchen Ontologen werden diese beiden Existenzmodi als eine Unterscheidung von alternativen Theorien für das diachrone Verhalten derselben Entitäten angesehen. David Lewis hat beispielsweise die These vertreten, dass alle konkreten Entitäten angemessen als vierdimensionale *perdurants* (also als Okkurrenten) angesehen werden.⁸⁸ Hier soll hingegen dafür plädiert werden, dass Cicero und das Leben des Cicero zwei ganz verschiedene Existenzweisen aufweisen. Während das Leben eindeutig ein Okkurrent ist, ist Cicero eindeutig ein dreidimensionaler Kontinuant. Es gibt also zwei verschiedene Arten von Entitäten, die nach verschiedenen Theorien für ihr diachrones Verhalten verlangen.⁸⁹ Wir benötigen beide, Kontinuanten und Okkurrenten, um unsere Realität angemessen zu repräsentieren.

So, wie der Unterschied zwischen Kontinuanten und Okkurrenten bisher eingeführt worden ist, stellt das Gegensatzpaar noch keine exhaustive Klassifikation dar. Denn Kontinuanten und Okkurrenten weisen als gemeinsames Merkmal auf, dass beide persistieren, d.h. dass sich ihre Existenz über mehrere Zeitpunkte hinweg erstreckt. Es gibt mindestens zwei Problemfälle, die deswegen von dieser Einteilung noch nicht erfasst werden: instantan existierende Qualitäten und Quantitäten⁹⁰ sowie Zeitpunkte selbst. Ein Zeitpunkt existiert trivialerweise nur an einem Zeitpunkt, nämlich an sich selbst. Und in Wachstums- und Veränderungsprozessen kann es vorkommen, dass instantan existierende Quantitäts- und Qualitätsindividuen einander ablösen: Wenn eine Kugel ideal-kontinuierlich wächst, dann hat die Kugel während dieses Wachstumsprozesses zu keinen zwei Zeitpunkten dieselbe Größe. Wenn eine Fläche kontinuierlich ihre Farbe von, sagen wir, Blau nach Rot verändert, dann hat diese Fläche während dieses Veränderungsprozesses zu keinen zwei Zeitpunkten dieselbe Farbe. Da sich die Existenz dieser instantanen Qualitäten und Quantitäten nicht über mehrere Zeitpunkte hinweg erstreckt, würde es Qualitäten und Quantitäten in der Kategorie der Kontinuanten und außerhalb dieser Kategorie geben. Ebenso würden Zeitintervalle zu den Okkurrenten gehören, Zeitpunkte aber nicht. Dies ist freilich nicht besonders elegant. Daher sollen diese Kategorien leicht modifiziert werden, um diese zunächst „heimatlosen“ Entitäten in sie zu integrieren.

⁸⁸ Einen Überblick über diese Diskussion bietet z.B. Lowe 2002, 49–58.

⁸⁹ Vgl. dazu auch Schnieder 2005.

⁹⁰ Vgl. Johansson 2005.

Wenn man sich ein Bild der Welt zu einem beliebigen Zeitpunkt vorstellt, dann kann man auf diesem Bild Menschen, Tiere, Artefakte, Farben, Größen und Relationen entdecken. Aber Veränderungen, Prozesse oder Ereignisse, die gerade stattfinden, werden auf diesem Bild nicht zu sehen sein. Um diese zu repräsentieren, wird eine Abfolge solcher Bilder benötigt, also ein Film. Um ein vollständiges Bild unserer Welt voller Veränderungen zu bekommen, werden also zwei Arten von Repräsentationen gebraucht:⁹¹ Zum einen werden „Schnappschüsse“ der Welt zu bestimmten Zeitpunkten benötigt, welche die zu diesem Zeitpunkt existenten Kontinuanten umfassen. Solche „Schnappschüsse“ der Welt wollen wir „SNAP-Ontologie“ nennen. Zu den SNAP-Entitäten gehören nun aber nicht nur die Kontinuanten, sondern auch alle nur instantan existierenden Entitäten derjenigen aristotelischen Kategorien, die sonst zu den Kontinuanten gehören. Für jeden Zeitpunkt könnte man eine entsprechende SNAP-Ontologie aufstellen, die die Welt zu diesem Zeitpunkt repräsentiert. Zu den SNAP-Entitäten gehören: Substanzen, Quantitäten, Qualitäten und Relationen, aber auch Grenzen und Kollektive von Substanzen, Orte wie Nischen und Löcher und räumliche Regionen wie Punkte, Linien, Oberflächen und Volumen. Die Orts-Kategorien sollen in Kapitel 6 diskutiert werden.

Zum anderen werden für die Repräsentation von Veränderungen so etwas wie „Filme“ gebraucht, die ganze Zeitspannen darstellen, und die daher „SPAN-Ontologien“ genannt werden sollen. Zu den SPAN-Entitäten gehören: Geschehnisse wie Prozesse und Ereignisse, zeitliche Regionen wie Zeitintervalle und Zeitpunkte als deren Grenzen sowie raumzeitliche Regionen. In Kapitel 7 wird Boris Hennig auf Geschehnisse, die spezifischen Elemente von SPAN-Ontologien, zurückkommen. Die Zeitpunkte gehören nur zu den SPAN-Entitäten, trotz ihrer Nichtausgedehntheit aber nicht zu den SNAP-Entitäten. Eine einzelne SNAP-Ontologie, die die Welt zu einem Zeitpunkt darstellt, ist mit diesem Zeitpunkt zwar als ihr Datum verknüpft, enthält diesen Zeitpunkt aber nicht als eine ihrer Entitäten.

⁹¹ Zum Folgenden vgl. Grenon und Smith 2004.

Abb. 5.4: Das ontologische Viereck⁹²

| | nicht in einem Subjekt (<i>substantiell</i>) | in einem Subjekt (<i>akzidentell, nicht-substantiell</i>) |
|--|--|---|
| von einem Subjekt ausgesagt (<i>universell</i>) | <i>substantielle Universalien</i> Mensch Pferd III. | <i>nicht-substantielle Universalien</i> Weiß-Sein Wissen IV. |
| nicht von einem Subjekt ausgesagt (<i>individuell</i>) | <i>individuelle Substanzen</i> dieser Mensch dieses Pferd I. | <i>individuelle Akzidenzien</i> dieses individuelle Weiß dieses individuelle Wissen II. |

5.6 Universalien und Einzeldinge

Zu den beiden bisher behandelten ontologischen Dichotomien – abhängige versus unabhängige Entitäten, Kontinuanten versus Okkurrenten – kommt noch eine dritte Dichotomie hinzu: die zwischen Universalien und Einzeldingen. Da diese Unterscheidung quer durch alle Aristotelischen Kategorien geht, könnte man sie „transkategorial“ nennen.⁹³ Auch diese Unterscheidung wird in systematischer Weise schon in Aristoteles’ Kategorienschrift vorgenommen. Dort unterscheidet Aristoteles im zweiten Kapitel solche Entitäten, die von anderen Entitäten ausgesagt werden können, und solche, die nicht von anderen Entitäten prädiert werden können. Prädikation verlangt nun aber einen Aspekt der Allgemeinheit. Einzeldinge wie Cicero oder meine bestimmte Körpergröße können nicht von anderen Entitäten ausgesagt werden. Sätze wie „Tullius ist Cicero“ oder „180 cm ist meine Körpergröße“, die die Ausdrücke „ist Cicero“ oder „ist meine Körpergröße“ als Prädikate ent-

⁹² Vgl. Smith 2003a, 18. Zur Geschichte solcher Diagramme vgl. Angelelli 1967, 12. Vgl. auch Wachter 2000, 149. Einer der wichtigsten zeitgenössischen Vertreter einer Ontologie mit diesen vier grundlegenden Kategorien ist E. J. Lowe; vgl. insbesondere Lowe 2006.

⁹³ Vgl. Lowe 2006, 21: „The terms ‚particular‘ and ‚universal‘ themselves, we may say, do not strictly denote categories, however, because they are transcategorical, applying as they do to entities belonging to different basic categories.“

halten, sind keine Prädikationen im technischen Sinn, sondern Identitätsaussagen. Ein allgemeiner Ausdruck wie „Mensch“ kann sowohl als Subjekt als auch als Prädikat von prädikativen Aussagen vorkommen, wie etwa in „Ein Mensch ist ein Wirbeltier“ oder aber „Cicero ist ein Mensch“.

Zusammen mit der Unterscheidung zwischen inhärierenden und nicht inhärierenden Entitäten bekommt Aristoteles eine vierfache Unterscheidung von Entitäten, die man wie in Abbildung 5.4 schematisch darstellen kann, dem so genannten „ontologischen Viereck“ (*ontological square*).

Viele Ontologen akzeptieren nur eine Auswahl der Felder dieses ontologischen Vierecks. David Armstrong versucht beispielsweise, mit den Feldern I und IV auszukommen: mit Einzeldingen und Eigenschaftsuniversalien.⁹⁴ Zu dem gleichen Ergebnis wie Armstrong kommen viele Ontologen, die die Prädikatenlogik erster Stufe als das Werkzeug ihrer Ontologie ansehen. Die Einzeldinge entsprechen dann den Individuenkonstanten („a“, „b“, „c“, ...) und die Eigenschaftsuniversalien den Prädikatbuchstaben („F“, „G“, „R“, ...). Sie sehen Formeln wie „F(a)“ oder „R(a, b)“ als Abbildungen der Wirklichkeit an. Wegen seiner Fixiertheit auf die logisch-syntaktische Struktur „F(a)“ hat Barry Smith diesen Ansatz ironisch als „Fantologie“ bezeichnet.⁹⁵

Wer wie Donald Davidson (1917–2003) bereit ist, in seiner Ontologie auch Ereignisse zuzulassen, akzeptiert zusätzlich Okkurrenten, die in enger Beziehung zu Feld II stehen.⁹⁶ Bertrand Russell (1872–1970) hingegen wollte in seinen späten Jahren ganz auf die Ebene der Individuen verzichten und sich mit den Feldern III und IV begnügen;⁹⁷ dabei war er vermutlich von Leibniz' Lehre vom Individualbegriff beeinflusst.⁹⁸ Nominalistische Philosophen hingegen akzeptieren nur Entitäten aus den beiden unteren Feldern I und II. Manche Philosophen versuchen sogar, nur mit einer dieser beiden Kategorien auszukommen. Für „Tropen-Theoretiker“ sind die individuellen Akzidenzien

⁹⁴ Vgl. Armstrong 1978 und 1997.

⁹⁵ Vgl. Smith 2005a.

⁹⁶ Vgl. Davidson 1990.

⁹⁷ Vgl. z.B. Russell 1940, ch. 6; ders. 1948, Part II, ch. 3 und Part IV ch. 8, ders. 1959 ch.9. Eine ähnliche Position vertritt Hochberg 1965, und ders. 1966, und ders. 1969.

⁹⁸ Russell führt 1948 diese Auffassung explizit auf Leibniz zurück. Vgl. dazu Armstrong 1978, I 90: „[...] while the influence of Leibniz to Russell is clear, it is less clear that Leibniz held this theory of the nature of particulars.“

in Feld II die einzigen fundamentalen Entitäten; sie nennen sie *abstract particulars* oder *tropes* (daher die Bezeichnung „Tropen-Theoretiker“).⁹⁹

Aristoteles jedoch akzeptiert alle vier Zellen des ontologischen Vierecks, das er als Ganzes als eine transparente Aufteilung der Wirklichkeit ansieht. Damit entspricht er unserem Alltagsverständnis, demzufolge Elemente aller vier Felder als existent angesehen würden. Im täglichen Leben gehen wir davon aus, dass George W. Bush in Feld I ebenso existiert wie der indische Elefant in Feld III, die Tugend der Gerechtigkeit in Feld IV und das individuelle Weiß meiner Haut, das irgendwann im Sommer aufhört zu existieren, wenn meine Haut statt seiner einen braunen Farbton annimmt. Ontologen, die auf eines oder mehrere dieser Felder verzichten wollen, vertreten eine reduktionistische Position. Sie müssen eine alternative Erklärung dafür liefern, wieso wir in unserem Alltagsverständnis davon ausgehen, dass diese Dinge existieren. Sie tun dies in der Regel dadurch, dass sie die Existenz der Entitäten in diesen Feldern (oder die Rede über sie) auf Entitäten in anderen Feldern (oder die Rede über sie) zurückführen.

Zwischen den Entitäten in den vier Feldern des ontologischen Vierecks bestehen grundlegende Beziehungen:

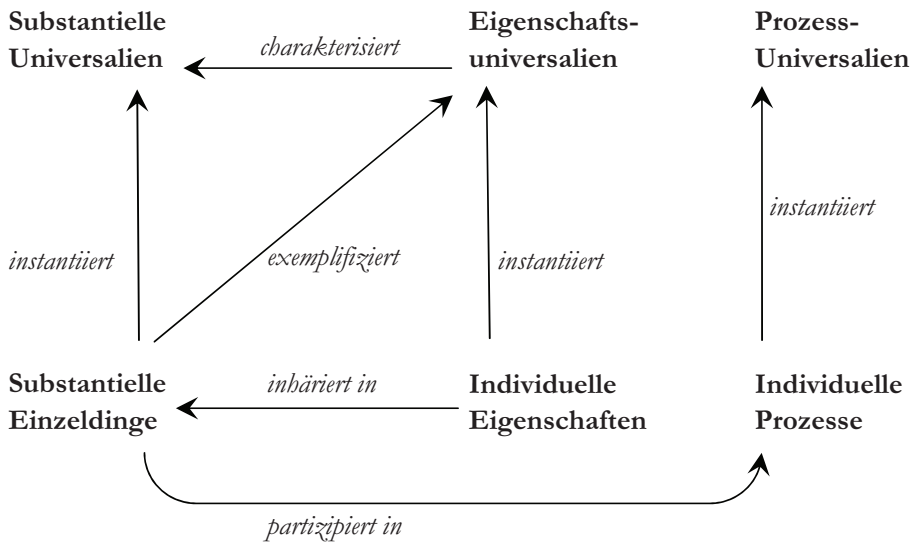
- Individuelle Eigenschaften inhärieren in individuellen Substanzen und charakterisieren diese.
- Nicht-substantielle Universalien charakterisieren substantielle Universalien.
- Individuelle Substanzen instantiieren substantielle Universalien.
- Individuelle Eigenschaften instantiieren Eigenschaftsuniversalien.

Ein Bild der Welt wäre unvollständig, würden nicht auch die Okkurrenten in den Blick genommen werden. Natürlich gibt es auch zwischen diesen und den Kontinuanten wichtige Beziehungen, denn es sind individuelle Substanzen, die an individuellen Prozessen und Ereignissen teilnehmen. Das ontologische Viereck kann folglich zu einem „ontologischen Sextett“ erweitert werden, wie es Abbildung 5.5 zeigt.¹⁰⁰

⁹⁹ Zwei klassische Darstellungen dieser Position sind Williams 1953 und Campell 1990. Vgl. auch Macdonald 1998 und Trettin 2000.

¹⁰⁰ Smith 2005a.

Abb. 5.5: Das ontologische Sextett und die formalontologischen Relationen



Diese Beziehungen der Inhärenz, der Charakterisierung, der Instantiierung und der Partizipation „regeln“ also die Beziehungen zwischen den Entitäten in diesen vier Feldern. Sie sind wichtige formalontologische Relationen: Ganz gleich, welches Gebiet der Wirklichkeit man repräsentieren will, diese Relationen muss man auf jeden Fall berücksichtigen.

5.7 Komplexe Entitäten

Über die bisher diskutierten Kategorien hinaus werden in der modernen Ontologie verschiedene Kategorien komplexer Entitäten diskutiert: Sachverhalte, Mengen, mereologische Summen und Klassen.

Sachverhalte sind all diejenigen komplexen Entitäten, die man mit einem Dass-Satz beschreiben kann. Dass der Ball rund ist und dass die Katze auf der Matte sitzt, sind zwei Beispiele für Sachverhalte. Beide sind Komplexe aus Entitäten, deren kategoriale Zuordnung wir bereits diskutiert haben. Dass ein Mensch krank ist, ist ein Komplex, der aus einer Substanz, diesem Menschen, und einer bestimmten Qualität, der Krankheit, besteht. Der Sachverhalt, dass ein bestimmtes Molekül sich an einen Rezeptor angelagert hat, besteht aus einer Substanz, dem Molekül, einem Substanzteil, dem Rezeptor, und der zweistelligen Relation des Angelagertseins. Sachverhalte können auch andere Sachverhalte als Komponenten haben. Der Sachverhalt, dass der Arzt festge-

stellt hat, dass der Patient einen grippalen Infekt hat, besteht aus einer intentionalen zweistelligen Relation des Festgestellthabens, die besteht zwischen dem Arzt und dem Sachverhalt, dass der Patient einen grippalen Infekt hat. Die These, dass alle Sachverhalte komplexe, also zusammengesetzte Entitäten sind, scheint von Ausdrücken wie „dass es regnet“ in Frage gestellt zu werden, die mit dem unpersönlichen Pronomen „es“ gebildet werden. Zwar können diese sprachlichen Ausdrücke nicht *linguistisch* in ein Prädikat einerseits und einen referierenden Subjektausdruck andererseits zerlegt werden. Das heißt aber nicht, dass die Entitäten, für die sie stehen, nicht *ontologisch* analysiert werden können. Der Sachverhalt, dass es regnet, besteht doch offensichtlich darin, dass Regentropfen eine Ortsveränderung durchlaufen: Er besteht also in einem Kollektiv von Ortsveränderungen, die eine Vielzahl von Wassertropfen durchlaufen.

Mengen sind aus der Mathematik wohlvertraut. Mengen sind Gesamtheiten von Elementen. Als Namen für Mengen dienen in der Regel lateinische Großbuchstaben: A, B, C, ... (häufig mit doppeltem Strich an ihrer linken Seite). Man sagt: Mengen „enthalten“ Elemente. Umgekehrt sagt man, dass Elemente Element von bestimmten Mengen sind (oder auch nicht). Diese Relation „ist Element von“ stellt man durch das Zeichen „ \in “ dar; die Relation „ist nicht Element von“ durch das Zeichen „ \notin “. Darüber hinaus untersucht die Mengentheorie eine Reihe von Verknüpfungen und Beziehungen zwischen Mengen, wie das Bilden der Schnittmenge, der Vereinigungsmenge, die Restmenge und die Teilmengenbeziehung.¹⁰¹

Mengen kann man extensional durch ihren Umfang, aber auch intensional durch ein den Elementen gemeinsames Merkmal angeben. Extensional kann man eine Menge zum Beispiel als durch Kommata getrennte Auflistung der Elemente in geschweiften Klammern (sog. Mengenklammern) darstellen: Die Menge der Primzahlen kleiner als 10 ist $\{2, 3, 5, 7\}$. Aber auch $\{\text{Aristoteles}, 2, \text{das rechte Ohrstück meines Stethoskops}\}$ ist eine Menge: Mengen können aus beliebigen Elementen zusammengesetzt sein. Ohne eine solche Auflistung können Mengen intensional charakterisiert werden, indem angegeben wird, welche Charakteristika die Elemente haben sollen, um zur Menge dazu zu gehören. Eine solche Mengenbeschreibung wäre etwa „die Menge aller

¹⁰¹ Für einen Überblick vgl. z.B. Bucher 1998, Kap. 1.

Patienten“ oder „die Menge aller Patienten mit einer erhöhten Körpertemperatur“. Manchmal gibt man solche Beschreibungen in der Form

$$\{x \mid x \text{ ist ein Patient und hat eine erhöhte Körpertemperatur}\}$$

an, was dann zu lesen ist als „die Menge all derjenigen x , für die gilt: x ist ein Patient und hat eine erhöhte Körpertemperatur“. Weitere Beispiele für solche intensionalen Mengenbeschreibungen sind „ $\{x \mid x \text{ ist rot}\}$ “ und „ $\{x \mid x \text{ ist rund}\}$ “.

Mengen sind genau dann gleich, wenn sie dieselben Elemente enthalten. Die Mengenbeschreibung „ $\{2, 3, 5, 7\}$ “ bezeichnet dieselbe Menge wie die Beschreibung „die Menge der Primzahlen unter 10“, weil jedes Element, das in $\{2, 3, 5, 7\}$ enthalten ist, auch in der Menge der Primzahlen unter 10 enthalten ist und umgekehrt. Die beiden Mengen sind also identisch – die beiden Mengenbezeichnungen bezeichnen ein und dieselbe Menge. Aus diesem Identitätskriterium für Mengen folgt, dass die Elemente einer Menge nicht ausgetauscht und weder vermehrt noch vermindert werden können: andere Elemente, andere Menge. Aus diesem Kriterium für die Mengengleichheit folgt auch, dass Mengen in einem bestimmten Sinn zeitlos sind. Sie können Elemente enthalten, die zu verschiedenen Zeiten oder auch zu gar keiner Zeit existieren. Mengen sind auch raumlos: Wenn die Elemente einer Menge sich im Raum bewegen, hat das auf die Menge überhaupt keine Auswirkung. Weiterhin folgt, dass die Ordnung der Elemente für eine Menge irrelevant ist. Es gilt also:

$$\{a, b\} = \{b, a\}.$$

Weiterhin folgt aus diesem Kriterium, dass das wiederholte Auflisten des Namens eines Elements für eine Menge ebenfalls irrelevant ist. Es gilt:

$$\{a, a\} = \{a\}.$$

Um zu wissen, ob $\{x \mid x \text{ ist rot}\}$ und $\{x \mid x \text{ ist rund}\}$ dieselben Mengen sind, muss man wissen, was für Dinge in der Welt oder im *universe of discourse* vorhanden sind. Würde die Welt nur aus einem roten Kreis, einem gelben Dreieck und einem blauen Quadrat bestehen, dann würden diese beiden Mengenbeschreibungen dieselbe Menge bezeichnen, nämlich die Menge {roter Kreis}. In der wirklichen Welt hingegen gibt es beispielsweise schwarz-weiße Fußbälle, und damit sind die beiden Mengen in der wirklichen Welt nicht identisch. Die Menge, die keine Elemente enthält, nennt man die *leere Menge*.

Aufgrund des Kriteriums für die Mengengleichheit folgt, dass es keine zwei voneinander verschiedenen leeren Mengen gibt.

Mengen sind „raumlos“ und „zeitlos“. Sie zählen daher zu den *abstrakten Entitäten*. Die geschweiften Mengenklammern sind gewissermaßen eine Abstraktionsmaschine: Man nehme den Namen einer konkreten Entität und setze die Mengenklammern um ihn herum. Aus „Cicero“, dem Namen für den Cicero aus Fleisch und Blut, der in Raum und Zeit existiert, wird dann „{Cicero}“ – der Name für eine abstrakte Entität, die raum- und zeitlos existiert, nämlich für jene Menge, die nur aus Cicero als ihrem einzigen Element besteht. Solche Mengen, die nur aus einem einzigen Element gebildet sind, werden das *Singleton* dieses Elements genannt. Auch aus der leeren Menge kann das Singleton gebildet werden, und auch das Singleton des Singleton der leeren Menge ist wieder eine Menge etc. So lassen sich aus Nichts – genauer: aus der leeren Menge – Strukturen erzeugen, die isomorph zur Menge der natürlichen Zahlen sind. Denn jede der drei folgenden Reihen erfüllt die fünf Peano-Axiome, die die natürlichen Zahlen charakterisieren – nur die Interpretation von Nullelement und Nachfolgersein unterscheiden sich:

$$0, 1, 2, 3, \dots$$

$$\emptyset, \{\emptyset\}, \{\{\emptyset\}\}, \{\{\{\emptyset\}\}\}, \dots$$

$$\emptyset, \{\emptyset\}, \{\emptyset, \{\emptyset\}\}, \{\emptyset, \{\emptyset\}, \{\emptyset, \{\emptyset\}\}\}$$

Da das Singleton eines konkreten Dinges eine abstrakte Entität ist, müssen das Singleton und sein einziges Element voneinander verschieden sein. Dieses „Mysterium des Singletons: was unterscheidet a von $\{a\}$?“¹⁰² und die Tricks, die sich mit der leeren Menge spielen lassen, haben einige Philosophen veranlasst, nach einer Alternative zur Mengenlehre Ausschau zu halten: der Mereologie.

Mereologische Summen haben schon im Kap. 3 eine wichtige Rolle gespielt. Es sind Komplexe, die aus beliebigen Teilen gebildet werden können. Ich, mein Pausenbrot und die wärmste Ecke meines Büros können eine solche mereologische Summe bilden. Ebenso wenig wie bei Mengen gibt es keinerlei Einschränkung für die Bildung solcher mereologischen Summen. Und ebenso wie bei Mengen haben viele mereologische Mengen (wie auch das von mir

¹⁰² Simons 2005, 145.

angeführte Beispiel) einen sehr gekünstelten Charakter. Die wenigsten mereologischen Summen jedenfalls sind „natürliche Ganzheiten“ (aber Ganzheiten sind die interessantesten mereologischen Summen). Während Mengen von konkreten Elementen abstrakte Entitäten sind, sind mereologische Summen aus konkreten Entitäten wiederum konkrete Entitäten, die in Raum und Zeit existieren, und zwar solange, wie alle ihre Teile existieren. Den Untergang eines ihrer Teile oder den Austausch von Teilen „überlebt“ auch eine mereologische Summe nicht. Tauscht man ein Teil aus, erhält man eine *andere* mereologische Summe. Man spricht von „echten Teilen“, um auszuschließen, dass das mutmaßliche Teil mit dem Ganzen identisch ist. Ein „unechtes Teil“ kann (analog zu unechten Teilmengen) auch mit dem Ganzen identisch sein.¹⁰³

Teil-Ganzes-Relationen werden in vielen Ontologien als formalontologische Relationen verwendet. Sie sollen daher in Kapitel 8 intensiv diskutiert werden. In Kapitel 3 wurde mit der Theorie der granularen Partitionen bereits ein Ansatz vorgestellt, der als ein dritter Weg zwischen Mengenlehre und Mereologie versucht, die Konkretheit der mereologischen Summen mit der Gestuftheit der Element-von-Relation zu verbinden.

Die Kategorie der *Klassen* ist ein Versuch, die Willkür der Mengenbildung einzudämmen.¹⁰⁴ Oft werden „Menge“ und „Klasse“ als Synonyme verwendet. Mit dem Ausdruck „Klasse“ soll hier jedoch etwas von den Mengen verschiedenes bezeichnet werden, wobei aber nicht dem in der Mengentheorie manchmal anzutreffenden Sprachgebrauch gefolgt werden soll, der einem strengen Mengenbegriff einen lockeren und weiteren Klassenbegriff gegenüberstellt.¹⁰⁵ Wir folgen vielmehr dem jüngeren Vorschlag, den Ausdruck „Klasse“ zu verwenden für „eine Ansammlung aller und nur der Einzeldinge,

¹⁰³ Zur Mereologie vgl. Simons 1987 und Ridder 2002.

¹⁰⁴ Die Theorie der Klassen ist eine recht neue Entwicklung, auch wenn es früher bereits Anstöße gegeben hat, intensionale Elemente mit der Mengentheorie zu verbinden, z.B. in dem Aufsatz von Feibleman 1974. Am intensivsten ausgearbeitet hat die Theorie der Klassen, insbesondere hinsichtlich ihrer Anwendungen für die biomedizinische Ontologie, Ingvar Johansson, dem diese Darstellung am meisten verdankt. Vgl. insbesondere Johansson 2006a und Kap. 11 in diesem Buch, das auf diesem Aufsatz basiert.

¹⁰⁵ Ganz ähnlich werden auch in SUMO „set“ und „class“ nicht als Synonyme behandelt. Vgl. Niles und Pease 2001, 6: „Set‘ is the ordinary set-theoretic notion, and it subsumes ‚Class‘, which, in turn, subsumes ‚Relation‘. A ‚Class‘ is understood as a ‚Set‘ with a property or conjunction of properties that constitute the conditions for membership in the ‚Class‘ [...].“

die unter einen gegebenen allgemeinen Ausdruck fallen“,¹⁰⁶ und so wird dieser Ausdruck hier auch verwendet werden.

Entspricht diesem allgemeinen Ausdruck eine Universalie, können wir von einer *natürlichen Klasse* sprechen: Eine natürliche Klasse ist die Gesamtheit der Instanzen einer Universalie.¹⁰⁷ Während Mengen durch Aufzählung gebildet werden können, erfordern natürliche Klassen die Angaben der Universalien, deren Extension sie sein sollen. Solche natürlichen Klassen sind beispielsweise die Klasse der Wirbeltiere, die Klasse der roten Dinge oder die Klasse der positiv geladenen Teilchen. Zwei natürliche Klassen sind identisch, wenn sie dieselbe Universalie repräsentieren. Weil nicht alle allgemeinen Ausdrücke Universalien repräsentieren, sind nicht alle Klassen natürliche Klassen. Diese nicht-natürlichen Klassen heißen „definierte Klassen“ oder „Fiat-Klassen“, weil ihr Zusammenhalt auf einer bloßen Definition bzw. auf menschlichem Fiat beruht.

Nicht jeder Menge entspricht eine Klasse. Zum Beispiel ist {Aristoteles, 2, das rechte Ohrstück meines Stethoskops} eine durch Aufzählung ihrer Elemente gegebene Menge. Es entspricht ihr aber keine natürliche Klasse, weil es nicht die Extension irgendeiner Universalie ist, und generell entspricht ihr keine Klasse, weil es auch sonst keinen nicht-enumerativen allgemeinen Ausdruck gibt, unter den genau diese drei Dinge fallen. Sprachlich gesehen wird für die Definition einer Klasse also mindestens ein allgemeiner Ausdruck benötigt, während eine Menge im Sinne der Mengentheorie durch Aufzählen ihrer Elemente, also allein mit Eigennamen und definiten Beschreibungen bestimmt werden kann.

Anders als in der Mengentheorie ist es in der Klassentheorie nicht notwendig, zu wissen, welche Dinge es in der Welt gibt, um zu sagen, dass die Klasse der roten Dinge und die Klasse der runden Dinge voneinander verschieden sind. Und während es nur eine leere Menge gibt, kann es viele voneinander verschiedene leere Klassen geben: beispielsweise sind die Klasse aller Phlogiston-Mengen, die Klasse der Perpetuum-mobile-Maschinen oder die Klasse der runden Quadrate sämtlich leer. Da sie aber unterschiedliche Universalien repräsentieren würden, sind sie voneinander wohl unterschieden. Außerdem

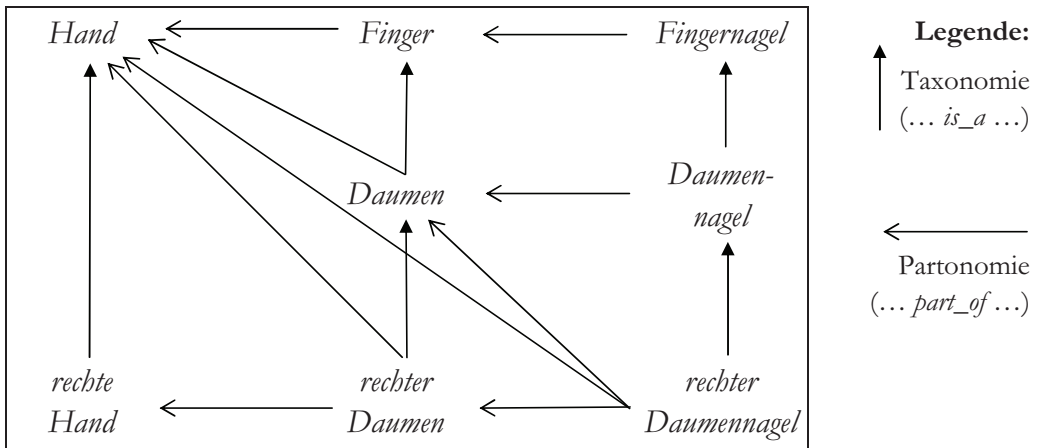
¹⁰⁶ Smith, Kusnierczyk, Schober, Ceusters 2006, 80: „A CLASS is a collection of all and only the particulars to which a given general term applies.“

¹⁰⁷ Vgl. auch Smith et al. 2005, 3; Smith 2005b.

können Klassen im Unterschied zu Mengen einen Austausch ihrer Instanzen überleben. Bei Mengen, so wurde gezeigt, ist dies nicht möglich, da sie ihre Identität gerade ihren Elementen verdanken. Natürliche Klassen bekommen ihre Identität hingegen durch eine Universalie, deren Identität aber unabhängig davon ist, welche Einzeldinge sie instantiieren. Klassen können daher zu verschiedenen Zeiten unterschiedliche Instanzen haben.¹⁰⁸

Das *Klassifizieren*, wie es in Kap. 4 diskutiert worden ist, kann nun verstanden werden als das Einteilen von Entitäten in Klassen, und eine *Klassifikation* entsprechend als das Ergebnis einer solchen Einteilung. Statt von einer Klasse spricht man auch von einem *Taxon* (Plural: *Taxa*; abgeleitet vom griechischen Wort *tattein*, ordnen); entsprechend kann man auch von einer *Taxonomie* reden. Davon zu unterscheiden ist das Einteilen von Entitäten in ihre Teile. Eine solche Einteilung nennt man *Partonomie*. Während eine Klassifikation oder Taxonomie eine Gattung in ihre Arten aufgliedert, gliedert eine Partonomie ein Ganzes in seine Teile. Besonders interessant ist auch die Kombination von Partonomie und Klassifikation, wie sie in Abbildung 5.6 dargestellt ist.

Abb. 5.6: Eine Kombination von Taxonomie und Partonomie¹⁰⁹



¹⁰⁸ Vgl. Smith 2005b.

¹⁰⁹ Nach Zaiß et al. 2005, 64.

5.8 Die ungeschliffenen Kanten des Sowa-Diamanten

Wir sind nun mit dem Instrumentarium ausgestattet, den Sowa-Diamanten genauer unter die Lupe zu nehmen. Dabei wird sich herausstellen, dass er keineswegs so einwandfrei geschliffen ist, wie seine äußerst systematische Anlage glauben macht. Sowa sieht in seiner Ontologie eine Verschmelzung der Prozess-Ontologie von Alfred North Whitehead (1861–1947) und der „triadischen“ Kategorienlehre von Charles Sanders Peirce (1839–1914). Im Lichte der bisherigen Ausführungen in diesem Kapitel muss aber festgestellt werden, dass bei dieser Verschmelzung einiges schief gegangen ist. Die systematische Anlage von Sowas Ontologie besteht in der Kombination dreier Unterscheidungen:

- der Dichotomie *Kontinuant* versus *Okkurrent* (die wir auch verwendet haben),
- der Dichotomie *physikalisch* versus *abstrakt*,
- der Trichotomie *unabhängig/relativ/mediatisierend* (die Sowa auf Peirce zurückführt).

Eine erste Möglichkeit der Kritik bestünde in der Frage, ob die Dichotomie *physikalisch* versus *abstrakt* und die von Peirce inspirierte Trichotomie gute Klassifikationsmerkmale sind. Dieser Frage soll hier nicht nachgegangen werden. Diese beiden Dichotomien und die Trichotomie ergeben aber zusammen genommen zwölf kombinatorische Möglichkeiten. Jede dieser zwölf Kombinationen ergibt für Sowa eine seiner „zentralen“ Kategorien (vgl. Abbildung 5.7), und diese zwölf Kategorien sollen näher in Augenschein genommen werden.

Anders als Sowa meint, sind keineswegs sämtliche Kombinationen seiner Di- und Trichotomien sinnvoll. Beispielsweise kann es gar keine abstrakten Okkurrenten geben:¹¹⁰ Was geschieht, ist niemals abstrakt. Es gibt natürlich Universalien, die von Okkurrenten und nur von Okkurrenten instantiiert werden, aber diese Universalien sind selbst keine sich zeitlich erstreckenden Entitäten, mithin keine Okkurrenten (vgl. Kap. 7). Um ein weiteres Beispiel zu nennen: Für den hier eingenommenen aristotelischen Standpunkt fällt lediglich die Kategorie *Objekt* unter die unabhängigen Entitäten. Alle Okkur-

¹¹⁰ Vgl. Guarino 2001.

ranten und alle abstrakten Entitäten sind notwendig ontologisch abhängige Entitäten.

Einige von Sowa's Kategorien, wie *Mediation* und *Partizipation*, scheinen eher dem zu entsprechen, was wir als Relationen zwischen den Kategorien ansehen, denn Kategorien eigenen Rechts. *Beschreibung* und *Geschichte* hingegen scheinen beide als sprachliche Entitäten aufgefasst werden zu können, die sich nicht hinsichtlich ihres ontologischen Status, sondern hinsichtlich ihres Gegenstandes unterscheiden. Denn eine Beschreibung wird nicht dadurch zu einem Okkurrenten, dass sie eine Beschreibung eines Okkurrenten ist. Analog ist ein Zweck (*Purpose*) nicht deswegen ein Okkurrent, weil er auf die Verwirklichung eines solchen abhebt (was nicht einmal für alle Zwecke gilt). Und genauso wenig ist das allgemeine Schema, nachdem ein Ereignis – etwa eine Operation – verläuft (das *Skript* dieses Geschehnisses) selbst ein Geschehnis (vgl. dazu auch Kap. 7). Darüber hinaus führt Sowa als ein Beispiel für ein Skript ein Notenblatt und die Abfolge von Bildern auf einer Filmrolle an – aber sowohl das Notenblatt als auch die Bilder auf der Filmrolle existieren in Raum und Zeit und sind somit nach Sowa's eigener Definition physikalische und nicht abstrakte Entitäten.

Abb. 5.7: Die zwölf zentralen Kategorien des Sowa-Diamanten¹¹¹

| | <i>Physical</i> | | <i>Abstract</i> | |
|--------------------|-------------------|------------------|-------------------|------------------|
| | <i>Continuant</i> | <i>Occurrent</i> | <i>Continuant</i> | <i>Occurrent</i> |
| <i>Independent</i> | Object | Process | Schema | Script |
| <i>Relative</i> | Juncture | Participation | Description | History |
| <i>Mediating</i> | Structure | Situation | Reason | Purpose |

Sowa hat seinen Diamanten auf die Weise angelegt, dass er die verschiedenen Optionen seiner Di- und Trichotomien so durch Axiome erzeugt, dass die durch Kombinationen dieser Optionen entstehenden zentralen Kategorien diese Axiome von den sie bildenden Optionen „erben“. Aufgrund der schon diskutierten Probleme ist es nicht verwunderlich, dass dies nicht funk-

¹¹¹ Quelle: John F. Sowa, Top-level categories, <http://users.bestweb.net/~sowa/ontology/toplevel.htm> (eingesehen am 8.8.2006).

tioniert. So charakterisiert Sowa Okkurrenten unter anderem dadurch, dass sie aufeinander folgende zeitliche Phasen und Partizipanten als räumliche Teile haben. Die Kategorie *Zweck*, unter welche für Sowa mediatisierende abstrakte Okkurrenten fallen, soll diese Axiome „erben“. Aber Zwecke haben weder aufeinander folgende zeitlichen Phasen noch Partizipanten als räumliche Teile. Das Konstruktionsprinzip des Diamanten ist also nicht durchzuhalten.

Ein weiteres Problem von Sowas Vorschlag ist, dass bei aller Systematik keineswegs alle Entitäten erfasst sind. Den für ihn primitiven Ausdruck „physikalisch“ charakterisiert Sowa beispielsweise dadurch, dass alles, was physikalisch ist, einen Ort einnimmt und zu einer bestimmten Zeit existiert. Aber Örter und Zeiten kommen in seinem Diamanten gar nicht vor, und das, obwohl sie in den entsprechenden Axiomen als Werte für die dort vorkommenden durch Quantoren gebundenen Variablen vorgesehen sind. Es ist schwer zu erkennen, wie sie in die starre Architektur seines Systems zu integrieren wären. Örter und Zeiten stünden schlicht neben dem Diamanten. Und auch, wenn die Physik die ultimative Natur von Raum und Zeit noch nicht in einer *Grand Unified Theory* erfasst hat, ist es doch für den Ontologen unabdinglich, solch wichtige Kategorien in seinem System zu erfassen.

5.9 Ausblick

Die Kritik an *OpenCyc* und dem Sowa-Diamanten zeigt, dass die in der Informatik und im Bereich der Wissensrepräsentation existierenden Vorschläge für die Gestaltung des *top level* von Ontologien vielerlei Defizite aufweisen. Ausgehend von und in Auseinandersetzung mit Aristoteles' Kategorienliste sind hier Vorschläge für eine *top level* Ontologie entwickelt worden, die den Grundsätzen der BFO entsprechen, der *Basic Formal Ontology*: Die drei grundlegenden ontologische Dichotomien abhängig/unabhängig, Kontinuant/Okkurrent und universell/partikular bilden ein Grundgerüst von Kategorien, das durch weitere Unterscheidungen ausgebaut und verfeinert werden kann. Darüber hinaus ist eine Reihe formalontologischer Relationen zu betrachten, die zwischen den Entitäten der verschiedenen Kategorien bestehen. Im weiteren Verlauf des Buches soll das Kategoriengerüst zunächst hinsichtlich räumlicher Kategorien (Kap. 6) und hinsichtlich der Klassifikation von Geschehnissen (Kap. 7) verfeinert werden. Danach können die formalontologischen Relationen erörtert werden.

Kapitel 6

Räumliche Entitäten: Örter, Löcher, Grenzen

BARRY SMITH

6.1 Die Ontologie des Sessels

Das im vorhergehenden Kapitel eingeführte ontologische Viereck ist bereits ein probates Werkzeug für die Aufteilung und die Beschreibung sowohl der Commonsense-Welt als auch der Welt der biomedizinischen Forschung. Es werden aber über das ontologische Viereck hinaus noch einige zusätzliche Mittel benötigt, denn nicht alles in der Welt unseres Handelns und Wahrnehmens ist entweder eine Substanz oder ein Akzidenz. Um diese These zu begründen, sollen zunächst Elemente einer Ontologie des Sessels entwickelt werden. Der Sessel ist ein Artefakt, und nach überlieferter aristotelischer Lehre ist ein Artefakt die Summe seiner substantiellen Teile. Ein Sessel ist also eine Summe von Holz-, Leder- und Polsterstoffen, die selbst als Summen von entsprechenden Fasern oder Molekülen aufzufassen wären, bis hin zur *prima materia* oder zu den sonstigen substantiellen Grundkonstituenten der materiellen Wirklichkeit.

Diese Lehre von Artefakten ist aber nicht hinreichend, wie schon am Beispiel des Sessels zu erkennen ist. In einem Sessel muss man nämlich sitzen können, und um das zu ermöglichen, braucht der Sessel eine Höhlung der richtigen Form und Größe, in die ein Menschenkörper (sitzend) passt. Eine solche Höhlung ist nicht etwa eine Summe von Luftpartikeln, denn das Loch besteht auch dann, wenn es mit einem Menschenkörper gefüllt ist, die entsprechende Summe von Luftpartikeln aber nicht. Das Loch ist vielmehr etwas, was als *negativer Teil* des Gesamtobjekts Sessel aufzufassen ist. Die positiven Teile eines Sessels bestehen aus Materie, die von einem Menschen geformt worden sind. Die negativen Teile entstehen als Nebeneffekt dadurch, dass die sie begrenzenden positiven materiellen Teile geformt werden.

Sehr viele Artefakte haben solche negativen Teile. Man denke an eine Pfeife, eine Piazza, eine Pforte, einen Tempel, an ein altes Paar Schuhe. Ein

Vogelnest, ein Kängurubeutel, ein Hasenloch oder die Routen in einem Verkehrsnetz bestehen fast zur Gänze aus negativen Teilen, und dasselbe gilt für Umwelten oder Nischen – Betten, Zimmer, Kutschen, Cockpits –, in denen wir Menschen wohnen und arbeiten.¹¹² Selbst Organismen haben negative Teile – Atemwege, Verdauungskanäle, Nasen- und Ohrenlöcher –, ohne die sie nicht leben können. Solche negativen Teile gehören zur Wesensstruktur von Organismen und ihren Nischen. Aristoteles versucht mit Hilfe seiner Lehre von Form und Materie diesen Tatsachen gerecht zu werden. In seiner Schrift „Über die Tiere“ (*De Partibus Animalium*) stellt er fest, dass ein Sessel eine Form ist, die in dieser oder jener Materie verkörpert wird.

„Ein Sessel nämlich ist das-und-das in dem-und-dem oder es ist das und das von der und der Art –, daher müsste man wohl auch von der Gestalt sprechen und davon, was für ein Ding es nach unserer Vorstellung sei [...]. Denn die Natur der Form ist entscheidender als die des Stoffes.“ (*De Partibus Animalium* I 1, 640b 26–29)

Es gibt aber keine Form im aristotelischen Sinn ohne einen exakt dazu passenden Stoff; und für Aristoteles ist Stoff immer etwas Positives. Wie kann man mit Hilfe der aristotelischen Formlehre der Tatsache gerecht werden, dass ein Sessel auch negative Teile einschließt, und zwar negative Teile, die – wie der Sessel selbst – etwas Individuelles sind? Nur in dieser individuellen Höhlung kann man sitzen; nur mit Hilfe dieser individuellen Höhlung kann der Sessel seinen Zweck erfüllen.

Eine Auffassung des Sessels, nach welcher die Form entscheidend ist, kann erst dann befriedigen, wenn es bei Aristoteles eine Erklärung dafür gibt, wie sich der Begriff der Form zu Begriffen wie (*individuelle*) *Höhlung* sowie auch zu verwandten Begriffen wie *Grenze*, *Oberfläche*, *Ort*, *Raumregion* und Ähnlichem verhält. In einigen Ausführungen in der *Metaphysik* finden sich Fragmente einer solchen Erklärung, zum Beispiel in *Metaphysik* VI 1, wo Aristoteles sagt, dass viele Substantiva unserer Alltagssprache gerade die Materialisierung von Formen bezeichnen. Er vergleicht in diesem Zusammenhang die beiden Begriffe *stumpfnasig* und *hohl*.

„Der Unterschied zwischen diesen beiden Begriffen besteht darin, dass „stumpfnasig“ die Form in ihrer Verbindung mit der Materie bezeichnet – denn „stumpfnasig“ bezeichnet die Höhlung an einer Nase – bei Hohlheit aber von der sinnlich wahr-

¹¹² Vgl. Smith und Varzi 1999.

nehmbarer Materie abgesehen wird. Wenn nun alle Dinge in der Natur in ähnlichem Sinne genommen werden wie die Stumpfnasigkeit, also zum Beispiel Nase, Auge, Antlitz, Fleisch, Knochen, überhaupt der tierische Organismus, und so auch Blatt, Wurzel, Rinde, überhaupt die Pflanzen – denn der Begriff keines dieser Objekte wird abgetrennt von der Bewegung gedacht, und die Materie wird immer dabei mitgedacht [...].“ (*Metaphysik* VI 1, 1025b 32–1026a 3)

Eine Nase ist zum Beispiel eine spezifische Form (ob als Zweck oder Funktion, ob als Gestalt oder Figur), wie sie in einer ganz bestimmten Portion Materie verwirklicht wird. Nirgendwo bietet Aristoteles allerdings eine Erklärung dafür, wie Form verwirklicht werden kann, ohne dass sie in Materie, also in etwas Positivem, individualisiert wird. Nirgendwo zieht er die Möglichkeit in Erwägung, dass es Individuelles ohne materielle Teile geben könnte.

Es gehört zur Form des Sessels, dass er aus solidem Stoff gemacht sein muss, dass Teile dieses soliden Stoffs elastisch sein müssen, und zwar so, dass eine ganz bestimmte Öffnung entsteht. Auch der Mensch selbst muss wie jeder Organismus gleichfalls ganz spezifische Öffnungen haben (eine Speiseröhre, Nasenlöcher, Augen), welche zum Beispiel Nahrungsaufnahme, Verdauung und Wahrnehmung ermöglichen. Eine Ontologie des Form-Materieverhältnisses muss in der Lage sein, diesem Zusammenspiel zwischen Positivem und Negativem, zwischen Gerüst und Höhlung gerecht zu werden.

6.2 Die Ontologie der Örter

Der amerikanische Psychologe J. J. Gibson schildert eine solche Ontologie in seinem *Ecological Approach to Visual Perception*. Er spricht dort von einer „Theorie der Flächengestaltung“ (*theory of surface layout*), „einer Art angewandter Geometrie, die der Behandlung von Wahrnehmung und Handeln angemessen wäre“. Zum Anwendungsbereich dieser Theorie gehören Begriffe wie *Figur* und *Grund*, *offene* und *geschlossene Umwelt*, *Umzäunung* (*enclosure*), *getrenntes Objekt* oder *verbundenes Objekt* (*detached* bzw. *attached object*), *hohles Objekt* (*hollow object*), *Ort*, *Blatt* (*sheet*), *Riss* (*fissure*), *Stock* (*stick*), *Faser*, usw.¹¹³ Eine verwandte Idee entwickelt der Phänomenologe Edmund Husserl im ersten Buch der *Ideen* mit seiner Theorie der „morphologischen Begriffe“, wobei die Nähe zur Ontologie der Commonsense-Welt zum Vorschein kommt. Wie Husserl bemerkt,

¹¹³ Gibson 1979, 33.

sprengt eine solche Theorie die Grenzen der klassischen mathematischen Geometrie:

„Die vollkommenste Geometrie und ihre vollkommenste praktische Beherrschung kann dem deskriptiven Naturforscher nicht dazu verhelfen, gerade das zum Ausdruck zu bringen (in exakt geometrischen Begriffen), was er in so schlichter, verständlicher, völlig angemessener Weise mit den Worten: gezackt, gekerbt, linsenförmig, doldenförmig u. dgl. ausdrückt – lauter Begriffe, die *wesentlich und nicht zufällig* nicht exakt und daher auch unmathematisch sind.“¹¹⁴

Gibsons „Theorie der Flächengestaltung“ und Husserls „Morphologie“ bilden eine Art qualitative Ontologie, die mit Begriffen arbeitet, die für unser Überleben in der terrestrischen Umwelt von direkter Bedeutung sind. Sie arbeitet sowohl mit „positiven“ Zügen dieser Umwelt, zum Beispiel mit Hindernissen wie Bergen oder Mauern, als auch mit „negativen“ Zügen, nämlich Lücken im Raum oder in einem Medium, wie zum Beispiel Höhlungen oder Öffnungen, die zum Schutz oder zur Flucht dienen.

Aristoteles kommt einer Theorie solcher Gebilde in der *Physik* am nächsten, wo er seine Theorie der Örter skizziert. Örter sind negative Entitäten. Die akzidentielle Kategorie *Ort* ist eine Kategorie von Öffnungen, in die Substanzen genau passen. Der aristotelische Ort ist wie ein Umschlag um die Substanz herum. Der Ort eines Fisches zum Beispiel ist die innere Grenze des den Fisch umgebenden Wasserkörpers (*Physik* IV 4, 211a 30–33). Der Ort eines Menschen ist die innere Grenze der den Menschen umgebenden Luftmasse. Eine Substanz bezieht sich auf ihren Ort in etwa der gleichen Weise, wie sich eine Flüssigkeit in einem Gefäß auf das Gefäß bezieht oder die Hand auf den Handschuh (*Physik* IV 2, 209b 26f.).

„Nun sagen wir doch, wir seien in der Welt als an einem Orte, weil wir in der Luft sind, diese aber in der Welt ist. Dabei sind wir aber in der Luft nicht in dem Sinne, als wären wir in der gesamten Luft, sondern nur im Hinblick auf deren unmittelbar an uns angrenzenden und uns enthaltenden Teil sprechen wir davon, dass wir in der Luft seien – wäre nämlich die Gesamtluft der Ort, so wäre ja der Ort des Gegenstandes nicht genau gleich groß dem Gegenstand (der sich an ihm befindet); es soll aber doch nach unseren Feststellungen die Ausdehnungsgröße beider völlig gleich

¹¹⁴ Husserl 1913, § 74.

sein, und diese Bedingung erfüllt nur der den Gegenstand ganz unmittelbar enthaltende Ort.“ (*Physik* IV 4, 211a 23–28, Übers. Wagner)

Ein Ort umfasst eine Substanz genau, aber nicht wie ein Ganzes seine Teile. Vielmehr ist eine Substanz zwar von dem sie umgebenden Ort getrennt, steht aber trotzdem in vollkommenem Kontakt zu ihm. Die äußere Grenze der Substanz fällt dann exakt mit der inneren Grenze des ihn umgebenden Orts zusammen, wie zum Beispiel bei der in der Lunge enthaltenen Atemluft und der Lunge oder der in einer Spritze enthaltenen Injektionsflüssigkeit und der Spritze.

Ein Ort ist dabei selbst nichts Körperliches. Er hat Größe, aber keine Materie. Er hat Gestalt und Form, aber es fehlt ihm eine teilbare Struktur, denn Örter gibt es nur um Substanzen herum. Da für Aristoteles Örter nur in Bezug auf Substanzen definiert werden, sind Akzidenzien von Substanzen ebenso wie Beine und Arme und andere echte Teile von Substanzen ortlos: Sie haben keine Örter. Demgemäß gibt es auch keine leeren Örter. Auch das All als Ganzes ist nach der aristotelischen Auffassung ortlos (*Physik* IV 5, 212b 14–22).

Für Aristoteles haben Punkte keinen Ort, und es gibt keinen Körper-Zwischenraum, „denn das ‚inmitten‘ eines Ortes ist (immer) ein beliebiger Körper, nicht aber das Freisein von einem Körper“, und „nicht alles Seiende ist an einem Ort, sondern nur der der Bewegung fähige Körper“ (*Physik* IV 5, 212b 26–29, Übers. Zekl). Ein echter substantieller Teil eines Körpers (wie der Schwanz einer Katze) ist nicht wirklich, sondern nur potentiell an einem Ort. Er wird erst dann tatsächlich an einem Ort sein, wenn er durch Abtrennung in eine selbständige Substanz transformiert wird. Darüber hinaus verbindet Aristoteles seine allgemeine Ontologie des Ortes mit der Lehre der „natürlichen“ Orte, wonach zum Beispiel losgelassene Körper auf den Boden fallen, weil ihre „erdige“ Natur sie veranlasst, den Boden als Ruhestätte aufzusuchen.

Eine bessere (nämlich eine allgemeinere und flexiblere) Auffassung von Örtern erhalten wir, wenn wir die aristotelische Einsicht ernst nehmen, wonach sich ein Ort durch eine gewisse Art innerer Öffnung oder Lücke auszeichnet. Örter müssen wir dementsprechend so auffassen, dass sie zur selben Kategorie wie Löcher gehören, als negative Teile der Wirklichkeit. Örter wären dann – im Sinne des Aristoteles – nicht-körperliche Entitäten. Sie hätten Größe und Form, aber auch eine teilbare Struktur. Sie wären nicht räumliche

Regionen im Sinn der Physik des Raums, sondern Regionen innerhalb unserer terrestrischen Umwelt. Sie wären Regionen, die möglicherweise mit Materie besetzt, möglicherweise aber auch leer sind.

Teile des notwendigen Instrumentariums einer solchen Theorie liefert Aristoteles mit seiner oben skizzierten Behandlung von Hohlräumen. Eine vollständige Theorie erreicht er allerdings nicht, weil seine Lehre der Individualisierung durch Materialisierung in Bezug auf leere Regionen nicht anwendbar ist. In seiner allgemeinen Ontologie von Örtern wird allerdings ein Weg aufgezeigt, wie eine Theorie jener terrestrischen Umwelten zu entwickeln ist, in denen Substanzen wie wir Menschen gewöhnlich existieren.

6.3 Die Ontologie der Löcher

Die Kategorie der Löcher spielt eine eher untergeordnete Rolle in der Geschichte der Metaphysik. Zwar spricht Kant bei seiner Behandlung der Kausalbeziehung von einer Asymmetrie zwischen „Grübchen“ und Körpern:

„Wenn ich eine Kugel, die auf einem ausgestopften Kissen liegt, und ein Grübchen darin drückt, als Ursache betrachte, so ist sie mit der Wirkung zugleich. Allein ich unterscheide doch beide durch das Zeitverhältnis der dynamischen Verknüpfung beider. Denn, wenn ich die Kugel auf das Kissen lege, so folgt auf die vorige glatte Gestalt desselben das Grübchen; hat aber das Kissen (ich weiß nicht woher) ein Grübchen, so folgt darauf nicht eine bleierne Kugel.“¹¹⁵

Eine Ontologie von Grübchen und anderen negativen Teilen bietet Kant aber nicht. John Locke (1632–1704) hatte schon früher eine Unterscheidung zwischen einem Schatten als einem nicht-positiven Ding und „the picture of a shadow [as] a positive thing“ vertreten.¹¹⁶ Auch Locke liefert aber keine Theorie von positiven und negativen Dingen.

Das erste Buch zur Metaphysik der Löcher, *Holes and Other Superficialities* von Casati und Varzi, ist erst 1994 erschienen, aber schon als „Klassiker der Philosophie“ bezeichnet worden.¹¹⁷ Die Autoren unterscheiden drei Haupt-

¹¹⁵ Kant, *Kritik der reinen Vernunft*, A 203 = B 248–249.

¹¹⁶ Locke, *Essay* II viii, 5.

¹¹⁷ Armstrong 1996, 585–86. Casati und Varzi reden nicht von Löchern als „negativen Teilen“, sondern von Löchern als Ergebnissen der Gestaltung durch materielle Träger

arten von Löchern, die sie durch ihre verschiedene Morphologie voneinander unterscheiden und *Höhlen*, *Dellen*, und *Tunnel* nennen. Höhlen sind zum Beispiel die Löcher, die in kochendem Wasser als Luftblasen zum Vorschein kommen. Eine Höhle ist topologisch eine Sphäre. Sie existiert immer im Inneren eines sie umgrenzenden Trägers (eines *host* in der Terminologie von Casati und Varzi), und sie hat ihre eigene vollständige äußere physische Grenze, die durch die Materie des Trägers gebildet wird.

Dellen (Höhlungen, Wölbungen, Beulen, Vertiefungen) sind zum Beispiel die Zellen einer Honigwabe, in welche die Bienen ihren Honig deponieren. Dellen haben zwei Arten von Grenzen. Einerseits haben sie eine echte, d.h. eine *physische* Grenze; sie besteht aus dem Boden und den Seiten der jeweiligen Zellen. Andererseits haben sie eine abstrakte Grenze, die von der Oberfläche der Zelle gebildet wird. Bei einem Autounfall wird die physische Grenze der entstehenden Beule durch den aktuellen Verlauf der durch den Unfall entstellten Teile der beteiligten Karosserie bestimmt. Die abstrakte Grenze der Beule befindet sich da, wo die Karosserie eigentlich verlaufen müsste und wo sie vor dem Unfall tatsächlich verlief. „Ihr Auto hat eine Beule“ heißt so viel wie: Diese zwei Grenzen, die wirkliche und die eigentlich obligatorische, stimmen miteinander nicht mehr überein.

Das drei-dimensionale Loch, das den Hohlraum eines Weinglases bildet und als Behälter für den Wein dient, ist eine Delle nach der Casati-Varzi-Taxonomie. Die physische Grenze ist hier durch die Materie des Glases (durch die innere Wand des Glases) bestimmt. Die abstrakte Grenze ist der virtuelle Deckel des Glases; sie ist die Oberfläche, die durch die maximale Anfüllung des Glases bestimmt wird; durch die Oberflächenspannung der Flüssigkeit kann diese abstrakte Grenze leicht nach außen gewölbt sein. Andere Beispiele von Dellen sind Täler, Schutzgräben, Aquädukte. Das Innere einer geöffneten Flasche ist eine Delle, das Innere einer geschlossenen Flasche dagegen eine Höhle.

Dellen sind negative Gegenstücke von Auswüchsen wie Bergen, Hügeln, Hubbeln. Tunnel sind negative Gegenstücke von Zylindern, Stöcken, Stangen. Ist eine Delle dadurch bestimmt, dass sie nur *eine* nicht-physische Grenze hat, so haben Tunnel zwei, welche die beiden Enden des Tunnels ausmachen.

eines speziellen „negativen Stoffes“. Unsere Argumente ließen sich auch in diese Terminologie umformulieren.

Beispiele von Tunneln sind: ein Verdauungstrakt oder das (oft durch einen Finger gefüllte) Loch in einem Ehering. Ein Zimmer mit nur einer offenen Tür ist gemäß Loch-Taxonomie eine Delle; und ein Zimmer mit zwei (offenen) Türen ist ein Tunnel.

Löcher im Allgemeinen bilden das Medium, in dem wir Menschen uns bewegen. Das Medium unserer terrestrischen Umwelt ermöglicht uns, ihre Substanzen und Oberflächen wahrzunehmen. Durch das gezielte Platzieren von Oberflächen und anderen Barrieren können wir klimatische und andere Auseneinflüsse kanalisieren, um eine gewisse Kontrolle über diese Umwelt zu gewinnen. Wie Gibson formulierte:

„Nach der klassischen Physik besteht das All aus Körpern im Raum. Wir sind also geneigt anzunehmen, dass wir in einer physischen Welt leben, die aus Körpern im Raum besteht und dass das, was wir wahrnehmen, aus Körpern im Raum besteht. Das ist aber äußerst zweifelhaft. Die terrestrische Umwelt ist besser beschrieben mit Hilfe von Begriffen wie Medium, Substanzen, und die sie trennenden Oberflächen.“¹¹⁸

Aristoteles hatte das Ziel, eine Ontologie unserer terrestrischen Umwelt zu entwickeln, und er hatte auch alle für eine solche Ontologie erforderlichen Elemente. Denn seine Theorie von Örtern ist gleichzeitig auch eine – wenn auch unvollständige – Theorie von Medien (Löchern, Öffnungen), in denen sich Substanzen befinden, und von den Oberflächen dieser Substanzen. Allerdings spielen die Substanzen bei ihm noch eine zu dominante Rolle. Was er gebraucht hätte – und was bei Gibson zu finden ist –, ist eine Ontologie, in der Substanzen und die sie umgebenden Umwelten oder Nischen gleichberechtigte und reziproke Rollen spielen.¹¹⁹

6.4 Fiat-Grenzen

Zentrale Elemente einer Theorie terrestrischer Umwelten sind solche nicht-physische Fiat-Grenzen, die bereits bei der Diskussion der Partitionen in Kap. 3 wichtig waren.¹²⁰ Solche Grenzen kommen, wie gesagt, sehr oft durch unse-

¹¹⁸ Gibson 1979, 16.

¹¹⁹ Vgl. Smith 2000.

¹²⁰ Vgl. Smith, 1995. Vgl. auch Smith und Varzi 2000.

re mehr oder weniger willkürliche kognitive Abgrenzung (*by fiat, per décret*) zustande. Die auffallendsten Beispiele von Fiat-Grenzen kamen in der Welt von Aristoteles nicht vor. Dazu gehören zum Beispiel die Grenzen zwischen nordamerikanischen oder australischen Staaten und Provinzen, die von Kolonialmächten auf Karten in London oder Washington gezeichnet wurden, ohne dass sich vorher ein genaues Bild von den entsprechenden aufzuteilenden Territorien gemacht worden war. Die Grenzen unserer heutigen Postleitzahl- und Wahlbezirke, von Volkszählungstrakten und Territorialgewässern sind Fiat-Grenzen, und dasselbe gilt auch für die Grenzen vieler einzelner Landparzellen und Immobiliengrundstücke, die in einem Grundbuch eingetragen sind. Solche Fiat-Grenzen gehören ebenso wie die abstrakt konstruierten Objekte, denen die Einträge einer Datenbank entsprechen, zur Welt der präzise bestimmten Geschöpfe. Alle Fiat-Grenzen werden in gewissem Sinn durch den Menschen in die Welt hineingelesen, aber die Ergebnisse dieses Hineinlesens sind nicht immer scharf bestimmbar. Zu den nicht scharf determinierten Fiat-Grenzen gehören zum Beispiel die Grenze der Nordsee oder die Nichtraucherzone eines Restaurants.

Sowohl Fiat-Grenzen als auch physische (natürliche) Grenzen können verschiedene Dimensionen haben. Ein Beispiel für eine null-dimensionale Fiat-Grenze ist der Nordpol. Der Äquator ist eine ein-dimensionale Fiat-Grenze, und die Ebene, welche die Grenze zwischen der nördlichen und der südlichen Hemisphäre der Erde darstellt, ist eine zwei-dimensionale Fiat-Grenze. So wird in der medizinischen Diagnostik zwischen Brüchen am unteren, mittleren oder oberen Oberschenkelknochen unterschieden, obwohl den Grenzen zwischen diesen Knochenabschnitten in der Natur nichts entspricht. Es sind zwei-dimensionale Fiat-Grenzen, die die dreidimensionalen Knochen in verschieden Abschnitte teilen.

Demnach haben nicht nur Löcher Fiat-Grenzen, sondern auch andere Entitäten, mit denen man im Umgang mit der mesokosmischen Wirklichkeit zu tun hat. Dies gilt zum Beispiel für Körperteile wie Arme und Beine, Finger und Bauch, sowie für die Teile von Kleidungsstücken wie Kragen, Aufschlag, Tasche, Falte, Schlitz, usw. Die österreichische Küche unterscheidet insgesamt mehr als 65 Teile des Rinds (in Deutschland sind es je nach Region 20 bis 30), wie: Rindsschale, Beinscherzel, Schalendeckel, Zapfen, Hüferschwanzel, Wadelstutzen, Schalblattel, Ohrwange, usw. Die Metzgerkarte, die diese Teile abbildet, zeigt im Innern der Kuh nur Fiat-Grenzen.

Wenn ein Chirurg plant, an einem bestimmten Ort einen Einschnitt vorzunehmen, hat die drei-dimensionale Region, die das zu entfernende Gewebestück einnimmt, nur an der Hautoberfläche eine physische Bona-fide-Grenze. Ansonsten hat das Gewebestück, dessen Entfernung geplant ist, reine Fiat-Grenzen. Räumliche Regionen, wie zum Beispiel der Weg durch das Körpergewebe, den der Chirurg für seinen Eingriff wählt, Flugbahnen, die durch Flugkontrollbehörden festgelegt werden, oder die Umlaufbahnen von Planeten haben überhaupt keine physischen Grenzen: Sie sind reine Fiatgegenstände. Die Grenze, die wir zwischen dem Inneren und dem Äußeren unseres Mundes erzeugen, wenn wir unseren Mund öffnen, ist eine Fiat-Grenze, und dasselbe gilt für die Grenze zwischen dem Inneren und dem Äußeren eines Zimmers, dessen Tür geöffnet ist. Wenn wir Mund oder Tür wieder schließen oder wenn der Arzt eine Operationswunde wieder verschließt (oder wenn wir einen Stacheldrahtzaun bauen, wo früher nur eine abstrakte Grenzlinie zwischen zwei benachbarten Ländern war), dann ersetzen wir eine Fiat-Grenze durch eine Bona-fide-Grenze physischer Art.

Wie bereits bemerkt, ist aus der Sichtweise der Ontologie von Grenzen ein Berg ein Dualobjekt zu einem Loch (einer Delle), das wir in die Erde graben. Die Seiten und der Boden des Lochs sind physische Bona-fide-Grenzen, die Abdeckung des Lochs ist (wie die Oberseite eines Weinglases) eine Fiat-Grenze. Die Seiten und die Spitze eines Bergs sind ebenfalls physische Bona-fide-Grenzen, die untere Grenze (quasi: der Boden) des Bergs dagegen eine Fiat-Grenze, welche übrigens durch die Menschen, die an den gegenüber liegenden Seiten des Bergs leben, anders lokalisiert werden könnte.

Ein Berg ist demnach keine Substanz im aristotelischen Sinn, sondern – wenn man so will – eine Teilsubstanz, also das Ergebnis einer bloß gedachten Einteilung der Erde, die durch das Ziehen einer Fiat-Grenze hervorgebracht wird. Die beiden Hemisphären der Erde sind ebenfalls keine Substanzen, sondern Teil- (in diesem Fall: Halb-)Substanzen. Nach der offiziellen aristotelischen Lehre haben Berge als Nicht-Substanzen keinen Ort. Mit Hilfe des Begriffs der Fiat-Grenze können wir diese offizielle Lehre jetzt korrigieren. Genau wie zwischen zwei Arten von substantiellen Grenzen unterschieden werden kann, nämlich zwischen Fiat-Grenzen und physikalischen Bona-fide-Grenzen, können zwei Arten von Orten unterschieden werden, nämlich solche, deren Grenzen durch physikalische Diskontinuitäten bestimmt sind, und solche, die ganz oder teilweise durch menschliches *fiat* bestimmt sind. Erstere lassen sich als Orte im offiziellen aristotelischen Sinn identifizieren.

Letztere sind die – von Aristoteles nicht zugelassenen – Örter von Bergen, von Mündungen und Mündern, von Nasen, von Köpfen, von Schultern, von Tälern, von Buchten, von Armen.

Fiat-Grenzen können Substanzen aber nicht nur teilen, sondern auch vereinen. Japan ist mit seinen zwei Hauptinseln genau wie Polynesien oder Dänemark oder die europäische Union ein durch eine äußere Fiat-Grenze vereintes und durch diese Fiatvereinigung geschaffenes politisches Fiatobjekt. Polynesien ist nicht Fiat-Teil eines größeren Ganzen, sondern Fiat-Summe kleinerer Bona-fide-Teile. Buda und Pest wurden im Jahre 1872 zu Budapest vereinigt. Wenn Aristoteles Recht hätte, hätten Buda und Pest Örter gehabt, während Budapest als ihre Fiat-Summe ortlos wäre.

Auch im Bereich der Akzidenzien (der Attribute und Prozesse) können wir Fiat-Grenzen und die dadurch herausgeschälten Teil-Akzidenzien erkennen. Die ersten 30 Sekunden meines Kopfschmerzes bilden ein Fiatteil meines Gesamtschmerzes. Zeiteinheiten wie Sekunden, Tage, Wochen, Monate usw. existieren nur, weil wir Menschen Fiat-Grenzen in der Dimension der Zeit und der Bewegung gezogen haben (genau so, wie wir Fiat-Grenzen wie die Linien der Länge und Breite in den Dimensionen des Raums gezogen haben). Unsere Terminkalender sind Artefakte, die ebenso wie präzise Uhren in der Welt von Aristoteles fehlten; sie teilen den Arbeitstag in Abschnitte mit genauen Fiat-Grenzen, die allerdings meistens nur in loser Verbindung zu den entsprechenden Ereignissen stehen, wie sie sich tatsächlich entfalten.¹²¹ Auch Kollektiv-Akzidenzien können durch Fiat-Grenzziehung entstehen, zum Beispiel da, wo von Sprachen, Religionen, Sitten oder Traditionen als über den Raum verstreuten Agglomeraten von Akzidenzien gesprochen wird, die ihrerseits verstreuten individuellen Subjekten anhaften.¹²²

6.5 Aristoteles revidiert

Ich schlage also eine zunächst bescheidene Revision der aristotelischen Ur-Ontologie vor. Diese revidierte aristotelische Ontologie erkennt nicht nur Substanzen und Akzidenzien (sowohl als Instanzen wie auch als hierarchisch aufgebaute Typen) an, sondern auch verschiedene Arten von *Grenzen* (sowohl

¹²¹ Vgl. Bittner 2002.

¹²² Vgl. Smith 1999.

Fiat- als auch physische Grenzen verschiedener Dimensionen). Wo Fiat-Grenzen existieren, existieren auch entsprechende positive und negative Teilsubstanzen und Teilakzidenzien sowie verschiedene Arten von Kollektiv-Substanzen und -Akzidenzien. Im Rahmen einer solchermaßen ergänzten aristotelischen Ontologie gibt es einen gesicherten metaphysischen Platz sowohl für Löcher und Örter (als räumliche Regionen, in denen sich Substanzen und Teilsubstanzen sich befinden oder nicht befinden) als auch für Artefakte, einschließlich politisch-administrativer Artefakte wie Armeen, Nationen und Zivilisationen.

Die ursprüngliche Aristotelische Ontologie ist – wie die *folk biology*, *folk psychology*, *folk physics* und die anderen theoretischen Elemente des Commonsense – eine nur unvollständige Bestandsaufnahme der terrestrischen Umwelt, die selbst sowohl räumlich als auch zeitlich nur einen Teil der Wirklichkeit als Ganzes darstellt. Sie zu ergänzen ist ein Schritt in Richtung auf eine vollständigere Bestandsaufnahme dieses Mesokosmos mittelkörniger Wirklichkeit. Wichtig ist aber, dass sowohl die ursprüngliche als auch die erweiterte Ontologie trotz ihrer Unvollständigkeit nichtsdestoweniger wahr und die entsprechenden Aufteilungen transparent sind. Was sie wahr macht, ist die Organisation der prototypischen Substanzen und Akzidenzien, samt ihrer positiven und negativen Teilen sowie ihren physischen Grenzen und Fiat-Grenzen, denen man im alltäglichen Handeln und Wahrnehmen begegnet. Beide Ontologien werden erst dann zu falschen Ontologien, wenn sie mit der Meta-behauptung „und sonst nichts“ verknüpft werden.

Ebenfalls für beide Ontologien gilt, dass sie Spezifizierungen und Klarstellungen der Ontologie des gesunden Menschenverstands in Form von Theorien mit begrenzter Reichweite sind. Sie enthalten nur Wahrheiten in Bezug auf einen gewissen Teil der Wirklichkeit und haben zum Beispiel nichts darüber zu sagen, wie die Welt zur Zeit des Urknalls aussah oder wie die Makrostruktur des Raum-Zeit-Kontinuums zu verstehen ist. Fragen wie etwa diejenigen nach dem zeitlichen Ursprung und Ende der Welt oder nach der unendlichen Teilbarkeit ihrer Materie fallen grundsätzlich aus ihrem Zuständigkeitsbereich. Keine der beiden Ontologien sagt etwas über die Grenzen der Commonsense-Welt selbst, sowohl was ihren räumlichen Außenrand als auch was ihre Körnigkeit betrifft. Sie sagen auch nichts über die Art und Weise, wie sich jene Commonsense-Welt entwickelt hat. Es gab schließlich eine Zeit, zu der diese Welt noch nicht existierte. Die Tatsache, dass es eine Wissenschaft der Paläontologie gibt, ist allerdings Evidenz dafür, dass sie schon exis-

tierte, lange bevor wir begonnen haben zu existieren. Nur ist sie natürlich erst, seitdem es den Menschen gibt, in den Vordergrund menschlicher Aufmerksamkeit gerückt. (Aus diesem Körnchen Trivialität bauen sich Kantianer einen ganzen Haufen Metaphysik.)

Sowohl was ihre räumliche und zeitliche als auch was ihre Körnigkeitsgrenze angeht, ist die Commonsense-Welt unbestimmt.¹²³ Diese Unbestimmtheit ist aber – genau wie die Vagheit der Grenzen der in ihr enthaltenen Spezies und Genera – völlig vereinbar mit der Behauptung, dass man es bei solchen ontologischen Theorien mit transparenten Aufteilungen eines entsprechenden Kerns prototypischer Fälle zu tun hat.

Es ist eine interessante Frage, wie viel von der erweiterten Aristotelischen Ontologie schon mit ur-aristotelischen Mitteln zu erreichen wäre.¹²⁴ Aristoteles selbst hat in Zusammenhang mit seiner Behandlung der Zeit in der *Physik* Elemente der Lehre von Fiat-Grenzen entwickelt. Es ist jedoch nicht bekannt, welche Fähigkeiten die aristotelischen Definitionen von Ort, Räumlichkeit und Zeit als Spielarten von „Grenze“ im hier skizzierten Sinn hätten.¹²⁵ Aristoteles selber hat die entsprechenden metaphysischen Begriffe nicht ausgearbeitet, und seine Lehre von Teilsubstanzen ist deshalb auch in verschiedenen Hinsichten mangelhaft.

In der Abhandlung *De Partibus Animalium* hat Aristoteles erkannt, dass Teilsubstanzen wie Arme und Nasen und sogar ganze Partonomien von Teilen von Substanzen in der Ontologie anerkannt werden müssen. Da er aber daraus auf Grund der zentralen Stellung des Substanzbegriffs in seiner Gesamtontologie nicht die richtigen metaphysischen Konsequenzen gezogen hat und da er daher nur über eine unklare Unterscheidung etwa zwischen Loch und Luftmasse verfügt, gelingt es ihm nicht, bezüglich der positiven und negativen Teile von Tieren eine zufriedenstellende Theorie zu entwickeln.

¹²³ Vgl. Smith 1992.

¹²⁴ Vgl. die äußerst flexible Kombinierbarkeit kategorialer Bestimmungen, die Aristoteles z.B. in *Metaphysik* VIII 2 vorführt.

¹²⁵ Vgl. Aristoteles, *De generatione et corruptione* I 5, 322a 16–33.

Kapitel 7

Zeitliche Entitäten: Geschehnisse

BORIS HENNIG

In diesem Kapitel sollen zunächst Geschehnisse von einer Reihe anderer Dinge unterschieden werden, die nicht im engeren Sinne in der Zeit geschehen oder verlaufen. Anschließend sollen innerhalb der Menge der Geschehnisse mehrere Unterscheidungen eingeführt werden, aus denen sich eine Taxonomie von Geschehnissen ergibt.

Zeitlich ausgedehnte Geschehnisse werden zuerst von solchen unterschieden, die sich instantan ereignen. Weiter lassen sich Erstere in allgemein intern strukturierte und intern unstrukturierte Geschehnisse unterscheiden. Es wird sich allerdings herausstellen, dass solche Unterscheidungen nur in Bezug auf Typen von Geschehnissen Sinn machen und nur mittelbar in Bezug auf einzelne Geschehnisinstanzen. Daher ist näher auf das Verhältnis von Geschehnistypen zu ihren Instanzen einzugehen. Es wird sich zeigen, dass Einzelgeschehnisse zugleich mehrere Geschehnistypen instantiieren können, die in einem systematischen Verhältnis zueinander stehen. Zweitens wird sich ergeben, dass Instanzen ausgedehnter Geschehnisse notwendig unabgeschlossen sind, solange sie geschehen.

7.1 Dinge, die nicht in der Zeit sind

Es scheint zunächst, als existiere alles, was in der Welt vorhanden ist, auch irgendwie in der Zeit. Es mag daher auf Anhieb wenig Sinn machen, zeitliche Entitäten von nichtzeitlichen unterscheiden zu wollen. Dennoch lässt sich von wenigstens drei Arten von Dingen sagen, dass sie in einem bestimmten engeren Sinne nicht zeitlich sind.

Erstens gibt es Sachen, die insofern vor jeder Zeitlichkeit liegen, als sie fundamentaler sind als alles, was in der Zeit ist. Dazu dürfte vor allem die Zeit selbst zählen. Wenn etwas dadurch zeitlich ist, dass es in der Zeit ist, ist die Zeit entweder unmittelbar in sich selbst, was schwer vorstellbar ist, oder sie ist eben selbst nicht zeitlich. Um Dinge, die derart vor jeder Zeitlichkeit

liegen, soll es im Folgenden jedoch nicht gehen. Der Verlauf der Zeit selbst soll dementsprechend auch nicht als Geschehnis gelten.

Eine zweite Klasse von Dingen, die nicht im engeren Sinne in der Zeit sind, sind Abstrakta, wie Zahlen oder geometrische Formen, sowie Universalien, wie etwa die Typen, Arten und Gattungen, unter die sowohl konkrete zeitliche als auch nichtzeitliche Dinge fallen. Auch um Abstrakta soll es hier allerdings nicht weiter gehen. Typen zeitlicher Entitäten werden jedoch eine Rolle spielen, und deshalb wird es angebracht sein, näher anzugeben, in welcher Weise Typen nicht zeitlich sind.

Ein Typ ist ein Maßstab dafür, einzelne unter ihn fallende Instanzen als typisch oder atypisch zu bezeichnen.¹²⁶ Ein Typ wird beschrieben, indem seine typischen Instanzen charakterisiert werden. Diese Beschreibung muss nicht auf alle und nicht einmal auf die Mehrzahl der Instanzen dieses Typs zutreffen, denn es kann sogar vorkommen, dass zufällig alle existierenden Instanzen eines Typs untypisch sind. Es kann außerdem mehrere verschiedene typische Formen geben, in denen ein Typ vorliegt – so wie es männliche und weibliche Exemplare einer natürlichen Art geben kann.

Eine konkrete Gastroskopie (Magenspiegelung) ist zum Beispiel das, was sie ist, weil sie zu einem gewissen Typ zählt: dem Typ der Magenspiegelungen. Als Instanz dieses Typs unterliegt sie gewissen Formregeln. Diese Formregeln betreffen nicht allein einen einzelnen Eingriff, sondern den Typ: Sie regeln, wie man im Allgemeinen eine Magenspiegelung durchführt. Wenn ein Arzt einem Patienten erklärt, was bei einer anstehenden Gastroskopie geschehen wird, erklärt er diese Regeln. Anhand ihrer kann man sehen, was zu einer typischen Magenspiegelung gehört und was nicht; aber nicht jede Magenspiegelung muss deswegen auch eine typische sein. Im Rahmen einer Gastroskopie kann etwas Atypisches geschehen.

Es gibt einzelne Magenspiegelungen nur, weil es den Typ „Magenspiegelung“ gibt. Obwohl der allgemeine Typ „Magenspiegelung“ ein Typ von Geschehnissen in der Zeit ist, ist er selbst nichts, was geschieht. Die „allgemeine Magenspiegelung“ hat niemals stattgefunden und wird niemals stattfinden;

¹²⁶ Die Art, in der hier von Typen die Rede ist, steht der Art und Weise nahe, in der Charles Sanders Peirce die Unterscheidung zwischen *type* und *token* eingeführt hat. Peirce spricht auch von „Legizeichen“ und will damit andeuten, dass Typen durch die Angabe von Formgesetzen (*leges*) spezifiziert werden. Vgl. Peirce 1931–58, II 246.

was stattfindet, sind stets konkrete Instanzen dieses Typs. In diesem Sinne befindet sich der Typ „Magenspiegelung“ also außerhalb der Zeit: Er findet nicht statt.¹²⁷

Die dritte Gruppe von Entitäten, die nicht im vollen Sinne zeitlich sind, ist die der Kontinuanten, also der konkreten *Dinge* und der *Eigenschaften*. Dinge und Eigenschaften können sich verändern, nicht aber stattfinden. Zu den Dingen und Eigenschaften im weiteren Sinne sollen hier konkrete Objekte gezählt werden, wie etwa ein Endoskop, aber auch ein Arzt, der Verdauungstrakt und seine Teile, und ferner so etwas wie die Form eines Endoskops, die Lizenz eines Arztes, der Preis eines Medikaments, der Zustand eines Patienten.

Alle diese Entitäten können sich ändern und in diesem Sinne kann man vielleicht sagen, sie seien in der Zeit. Wenn sich der Zustand eines Patienten bessert oder ein Arzt seine Zulassung verliert, dann muss es dennoch aber stets etwas geben, das während dieser Änderung gleich bleibt. Wenn der Patient nicht ein Mensch bleiben würde, würden wir nicht sagen, dass sich sein Zustand gebessert oder verschlechtert hat. Es ist nicht vorstellbar, dass etwas sich in allen seinen Hinsichten ändert, denn dann wäre da nichts, *was* sich ändert.¹²⁸ Dinge wie Endoskope, ihre Form, Lizenzen und so fort können sich also ändern, müssen gerade deshalb eine gewisse Beständigkeit haben. Dass sie diese Beständigkeit haben, bedeutet, dass sie zu verschiedenen Zeiten dieselben sind. In diesem Sinne sind sie nicht zeitlich.

Hier soll es nun um diejenigen Entitäten gehen, die zu keiner der eben genannten Gruppen gehören, also nicht um die Zeit selbst, nicht um Abstrakta oder Typen und auch nicht um so etwas wie ein Endoskop, einen Patienten, dessen Zustand oder eine Lizenz. Worum es gehen soll, sind solche Entitäten wie die Besserung eines Zustands, die Ausführung einer Gastroskopie, den Verlust einer Lizenz. Das sind alles Entitäten, von denen in einem engeren Sinne gesagt werden kann, dass sie zeitlich sind: Sie geschehen oder nehmen einen Verlauf in der Zeit. Sie sollen im Folgenden kurz „Geschehnisse“ oder genauer „Geschehnisinstanzen“ genannt werden. Die Frage ist: Welche Arten

¹²⁷ Vgl. auch Johansson 2005.

¹²⁸ Vgl. Aristoteles, *Physik* I, 7; Kant, *Kritik der reinen Vernunft*, B 225ff.

von Geschehnissen gibt es? Im Zuge einer Antwort auf diese Frage wird klarer werden, wodurch sich Geschehnisse gegenüber anderem auszeichnen.

7.2 Was so alles geschehen kann

Geschehnisinstanzen können geschehen oder einen Verlauf in der Zeit nehmen. Ein Endoskop geschieht nicht und nimmt keinen Verlauf in der Zeit, seine Verwendung oder Veränderung schon.

7.2.1 Augenblickliche vs. ausgedehnte Geschehnisse

Eine erste Unterscheidung, die sich innerhalb der Gruppe der Geschehnisse ziehen lässt, ist die zwischen augenblicklichen und zeitlich ausgedehnten Geschehnissen. Augenblickliche Geschehnisse ereignen sich und geschehen, sie nehmen aber keinen Verlauf. Das Ende einer Magenspiegelung, im Unterschied zu ihrer Schlussphase, nimmt zum Beispiel selbst keinen Verlauf. Als Ende des Verlaufs geschieht es instantan.

Möglicherweise ist jedes augenblickliche Geschehnis ein Teil eines ausgedehnten Geschehnisses, wie Anfang, Mitte, Ende, Beginn der zweiten Phase und so fort. Nichtausgedehnte, augenblickliche Geschehnisse sind dann nichts weiter als Grenzen ausgedehnter Geschehnisse.¹²⁹ Das spricht dafür, dass die ausgedehnten Geschehnisse, um die es im Folgenden vor allem gehen wird, wichtiger sind.

7.2.2 Geschehnisse mit allgemein bestimmtem Verlauf

Ausgedehnte Geschehnisse sind solche, die einen Verlauf nehmen. Unter diesen könnte man wiederum solche, die einen allgemein *bestimmten* Verlauf nehmen, von solchen unterscheiden, die einen allgemein *unbestimmten* Verlauf nehmen. Ein Geschehnis, das einen allgemein bestimmten Verlauf nimmt, ist Instanz eines bestimmten Typs, d.h. es unterliegt gewissen Formregeln. Es ist aber nicht klar, ob es überhaupt Geschehnisinstanzen gibt, die einen allgemein völlig unbestimmten Verlauf nehmen. Wenn dem so ist, dann gibt es jedenfalls keine Gattungsnamen für sie, da jeder Gattungsname die Gescheh-

¹²⁹ Vgl. Aristoteles, *Physik* VI, 3.

nisinstanzen, auf die er zutrifft, anhand einer bestimmten allgemeinen Verlaufsform charakterisiert.

Hier könnte man erstens einwenden wollen, dass es doch möglich sei, dass hier und jetzt etwas völlig Unbestimmtes geschehe und dass es daher auch Geschehnisse mit unbestimmtem Verlauf gebe. Sobald man aber beginnt zu sagen, *was* da unbestimmterweise geschieht, bestimmt man es doch auch schon. Es ist sogar schon genug, überhaupt von einer hier und jetzt sich ereignenden Geschehnisinstanz zu sprechen, denn dass etwas ein Geschehnis ist, ist bereits eine Bestimmtheit. Als gegenwärtiges Geschehnis muss es nämlich noch im Gange und noch nicht abgeschlossen sein. Um aber sagen zu können, ob etwas noch im Gange ist oder nicht, muss man auch sagen können, wann es abgeschlossen wäre, und um das zu sagen, müsste seine allgemeine Form bekannt sein. Es lässt sich also nicht sinnvoll von einem konkreten, aber völlig unbestimmten Geschehnis sprechen.

Zweitens könnte man einwenden, dass der allgemeinste Typ von Geschehnissen, nämlich der Typ „Geschehnis“, keine nähere Form impliziert. Das bedeutet aber ebenfalls nicht, dass es Geschehnisse mit völlig unbestimmtem Verlauf gibt. Denn etwas fällt nur dann unter den allgemeinen Typ „Geschehnis“, wenn es auch unter einen näher bestimmten Geschehnistyp fällt. Wenn man also lediglich sagt, hier und jetzt erfolge ein Geschehnis, ohne die spezifische Verlaufsform dieses Geschehnisses anzugeben, hat man dennoch auf etwas Bezug genommen, das eine solche Verlaufsform hat.

Man könnte drittens meinen, dass doch wenigstens das Andauern eines gleichbleibenden Zustands einen allgemein unbestimmten Verlauf nehme. Während ein solcher Zustand andauert, passiert nichts Besonderes. Über den Verlauf eines solchen Geschehnisses ist jedoch wenigstens bekannt, unter welchen Bedingungen es vorliegt, und was der Fall wäre, wenn es aufhörte. Damit ist bereits genug Struktur vorhanden, um von einem allgemein bestimmten Verlauf zu sprechen.

Bestimmte Geschehnisse, die Aristoteles *energeiai* nennt, zeichnen sich dadurch aus, dass sie bereits vollendet sind, wenn sie andauern.¹³⁰ Wer zum

¹³⁰ Aristoteles, *Metaphysik* IX, 1048a18–b34. Ich unterscheide hier zwischen „vollendet“ einerseits und „abgeschlossen“ oder „beendet“ andererseits; *energeiai* sind vollendet bevor sie abgeschlossen sind. Zur Aristoteles-Stelle vgl. Jansen 2002, 116–133; dort auch weitere Literatur.

Beispiel etwas weiß, hat es bereits vorher gewusst. Er ist nicht in dem Sinne dabei, etwas zu wissen, dass er jetzt noch nicht damit fertig ist, später aber schon. Anders gesagt: Im Gegensatz zu einer Magenspiegelung verläuft Wissen nicht auf ein Ziel oder Ende hin. Wissen besteht bereits im Erreichthaben eines Ziels. Dennoch ist Wissen nicht einfach eine Eigenschaft, sondern etwas, das jemand tut, also ein Geschehnis. Sofern aber Wissen einen Verlauf in der Zeit nimmt, hat es aus den eben genannten Gründen auch einen allgemein bestimmten Verlauf: Es ist klar, wann Wissen beginnt und aufhört, und es ist klar, was dazu gehört, während es andauert. Der Unterschied zu anderen ausgedehnten Geschehnissen besteht lediglich darin, dass während seiner Dauer nichts weiter aussteht als sein Ende, und darin, dass dieses Ende, der Verlust des Wissens, schwerlich als sein Ziel aufgefasst werden kann.

Es ist also nicht der Fall, dass es Geschehnisse gebe, deren allgemeiner Verlauf völlig unbestimmt ist. Vielmehr ist das Gegenteil der Fall: Jedes Geschehnis hat eine allgemein bestimmte Verlaufsform.

7.2.3 Allgemein intern strukturierte Geschehnisse

Die allgemeine Form einer Geschehnisinstanz muss nicht im Detail bestimmt sein, es kann vielmehr sehr viel offen bleiben. Der Verlauf eines Geschehnisses ist bereits dann allgemein bestimmt, wenn überhaupt Kriterien klar sind, anhand derer Geschehnisse dieses Typs als solche identifiziert werden können. Dazu muss nicht sonderlich viel über sie bekannt sein.

Es gibt zwei Weisen, in denen der Verlauf eines Geschehnisses allgemein bestimmt sein kann. Erstens kann es sein, dass lediglich bekannt ist, unter welchen Umständen das betreffende Geschehnis fertig oder beendet wäre. Geschehnisse, die keine *energeiai* sind, sind genau dann *vollendet*, wenn sie *beendet* sind. Wenn jemand etwa einen Stift sucht, ist klar, unter welchen Umständen er damit fertig ist, aber unbestimmt, wo und wie lange er sucht. Das Suchen eines Stiftes hat also keine interne Struktur. Ebenso kann auch vom Andauern eines gleichbleibenden Zustands nicht gesagt werden, wie viel von diesem Andauern noch bevorsteht. Von einem Geschehnis, das keine interne Struktur hat, kann man nicht während seines Verlaufs sagen, wie weit es gediehen ist.

Zweitens kann es sein, dass mehr über den allgemeinen Verlauf eines Geschehnisses bekannt ist. Eine Magenspiegelung zum Beispiel hat eine interne

Struktur, weil man sagen kann, zu welchem Grad sie jeweils fertig ist und was davon noch aussteht.

Nun scheint es, als ob in einem gewissen Sinne von jedem Einzelgeschehnis gesagt werden könnte, wie weit es fortgeschritten ist. Um sagen zu können, wann ein Geschehnis halb fertig ist, muss man scheinbar nur wissen, wie lange es dauert, und dann diese Dauer halbieren. Da aber offenbar jede konkrete ausgedehnte Geschehnisinstanz eine bestimmte Dauer hat, scheint folglich auch jedes konkrete Geschehnis einen bestimmten Verlauf zu haben.

Die Unterscheidung zwischen Geschehnissen mit und ohne intern strukturiertem Verlauf muss also vorsichtiger formuliert werden: Geschehnisinstanzen durchlaufen nur dann einen bestimmten, intern strukturierten Verlauf, wenn zum Beispiel bereits dann festgestellt werden kann, ob sie tatsächlich so und so weit gediehen sind, *wenn* sie so und so weit gediehen sind – also nicht erst im Nachhinein, wenn ihre tatsächliche zeitliche Dauer bekannt ist. Das ist für eine Magenspiegelung der Fall und ebenso für das Durchlesen eines Buches. Deshalb war von einem *allgemein* bestimmten Verlauf und von einer *allgemein* bestimmten internen Struktur die Rede. Man kann im Allgemeinen wissen, wann eine Magenspiegelung halb fertig ist, und deswegen kann man es auch dann wissen, wenn noch nicht bekannt ist, wie lange diese Gastroskopie genau dauern wird. Während man einen Stift sucht, kann man dagegen nicht allgemein sagen, wie lange das noch dauern wird.

Dass eine Geschehnisinstanz in diesem Sinne halb fertig ist, hat demnach nicht direkt etwas mit ihrer tatsächlichen zeitlichen Dauer zu tun. Es kann beispielsweise sein, dass die zweite Halbzeit eines Fußballspieles länger dauert als seine erste Halbzeit. Dennoch sprechen wir von einer „Halbzeit“. Die allgemeine innere Struktur bestimmt sich normalerweise nicht nach Sekunden, sondern stellt eine mehr oder weniger flexible Anordnung dar.

Das bedeutet, dass die Unterscheidung zwischen Geschehnissen mit intern strukturiertem und solchen mit intern unstrukturiertem Verlauf nur in Bezug auf *Typen* von Geschehnissen Sinn macht. Es ist kein konkretes, abgeschlossenes Einzelgeschehnis denkbar, das nicht einen bestimmten, in bestimmter Weise intern strukturierten Verlauf genommen hätte, und umgekehrt kann man etwa von jedem einzelnen Geschehnis ohne Weiteres sagen, es nehme einen intern unstrukturierten Verlauf, solange es noch nicht zu Ende ist: Es ist nicht klar ersichtlich, wie es in diesem Fall *konkret* weitergeht. Magenspiegelungen nehmen aber im Gegensatz zu manchen anderen Geschehnissen einen *allgemein* bestimmten, intern strukturierten Verlauf, der sich im Vor-

hinein beschreiben lässt. Die Regeln, die angeben, wie eine typische Gastroskopie verläuft, spezifizieren diesen Verlauf.

7.2.4 *Telische und atelische Geschehnisse*

Für Geschehnisse mit allgemein bestimmtem Verlauf ist stets klar, unter welchen Umständen sie vollendet sind. Daher kann man solche Geschehnisse, die einen allgemein bestimmten Verlauf nehmen, ob intern strukturiert oder nicht, auch *telisch* nennen und solche, die keinen allgemein bestimmten Verlauf nehmen, könnte man dann *atelisch* nennen (vom griechischen Wort für Vollendung, *telos*).¹³¹ Da es aber gar keine Geschehnisse mit allgemein völlig unbestimmtem Verlauf gibt, macht eine solche Unterscheidung in dieser Form wenig Sinn.

Antony Galton definiert telische Geschehnisse als solche, die unvollendet abbrechen können.¹³² Wie aber im Folgenden gezeigt werden soll, ist jede hier und jetzt erfolgende Geschehnisinstanz notwendig unabgeschlossen. Daher kann auch jedes Geschehnis, dessen Vollendung in seinem Fertigsein besteht, unvollendet abbrechen. Die einzigen Geschehnisse, die nicht unvollendet abbrechen können, sind *energeia*, weil sie bereits vollendet sein können, bevor sie fertig sind. Da man hier jedoch ebenfalls von „Vollendung“ sprechen kann, ist die Benennung „atelisch“ auch hier nicht besonders angemessen. Der Punkt ist dabei nicht, dass *energeiai* unvollendbar wären, sondern dass sie immer je schon vollendet sind.

Zeno Vendler unterscheidet zwischen *accomplishments* einerseits, die unvollendet abbrechen können, und *activities* andererseits.¹³³ Laufen ist ihm zufolge eine *activity*, während das Laufen einer bestimmten Strecke ein *accomplishment* ist und das Erreichen des Endes dieser Strecke ein *achievement*. Für *activities* gilt, dass sie bereits erfolgt sind, wenn sie erfolgen: Wenn jemand gerade dabei ist, zu laufen, ist er bereits ein Stück gelaufen. Dagegen ist man nicht immer bereits zehn Meter gelaufen, wenn man gerade dabei ist, zehn Meter zu laufen. Dementsprechend wäre das Bewegen des Endoskops eine *activity*, das Durchführen einer Endoskopie aber ein *accomplishment*. Das ist aber keine ontolo-

¹³¹ Vgl. Comrie 1976, Kap. 2.2. Vgl. ausführlich auch Dowty 1991, Kap. 2.2.

¹³² Vgl. Galton 1984, 66.

¹³³ Vgl. Vendler 1972.

gische Unterscheidung zwischen verschiedenen Arten von Geschehnissen, sondern zwischen Weisen, auf ein und dasselbe Geschehnis Bezug zu nehmen.¹³⁴ Was der Arzt jetzt tut, kann sowohl als etwas noch Unvollendetes betrachtet werden (etwa als eine ordnungsgemäße Magenspiegelung), als auch ganz unter Absehung von einem noch nicht erreichten Ziel beschrieben werden (etwa als Hantieren mit einem Endoskop). Die Unterscheidungen, die Galton und Vendler treffen, beziehen sich also bloß auf Weisen der Bezugnahme auf ein und dasselbe Geschehnis und nicht einmal auf unterschiedliche allgemeine Typen von Geschehnissen.

7.2.5 *Vollendung vs. Beendigung*

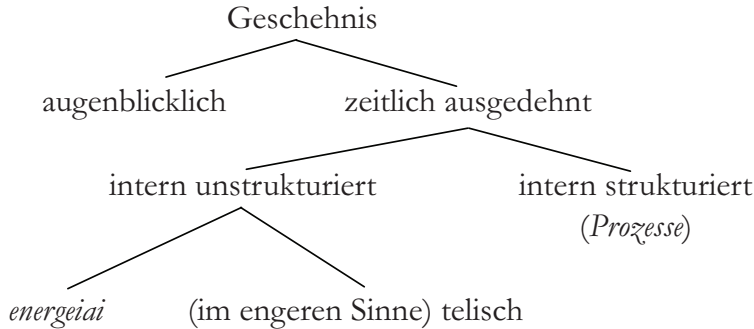
Man sollte ferner nicht meinen, dass sich alle Geschehnisse mit allgemein bestimmtem Verlauf durch nichts weiter auszeichnen als einen vorbestimmten *Endzustand*. Das wird ebenfalls durch die Bezeichnung „telisch“ nahegelegt, ist aber in den meisten Fällen falsch. Eine Magenspiegelung ist mit der Entfernung des Endoskops beendet und normalerweise auch *vollendet*, aber die Entfernung des Endoskops ist nicht ihr Ziel. Die Entfernung eines Endoskops allein wäre sicher keine Magenspiegelung. Ebenso mag das Lesen eines Buches mit dem Lesen der letzten Seite beendet sein, aber natürlich nicht dann, wenn *nur* die letzte Seite gelesen wird. Zur Vollendung eines Geschehnisses gehört also vielmehr als das, was typischerweise zu einem solchen Geschehnis gehört. Was typischerweise zu einem Geschehnis gehört, kann man der Beschreibung seines Typs entnehmen. Das *telos* oder die Vollendung einer Geschehnisinstanz schließt also stets das *ganze* Geschehnis ein und nicht bloß sein Ende; im Fall von *energeiai* hat die Vollendung des Geschehnisses sogar überhaupt nichts mit seiner Beendigung zu tun.

Die Vollendung mancher intern unstrukturierter Geschehnisinstanzen besteht tatsächlich einfach im Erreichen ihres Zielzustandes: Das Suchen eines Stiftes ist zum Beispiel vollendet, *wann immer* ich ihn finde, egal, wie lange und wo ich gesucht habe. Wenn ich die Brille suche, die ich auf der Nase habe, kann es sein, dass es gar nicht zu erkennbaren Suchhandlungen kommt. Hier sollen solche Geschehnisse, deren Vollendung in nichts weiter als ihrer Beendigung besteht, im engeren Sinne *telisch* genannt werden. Sie bilden eine Aus-

¹³⁴ Vgl. Gill 1993.

nahme, da zur Form der meisten Geschehnisse mehr gehört als bloß ihr Ende.

Abb. 7.1: Eine Taxonomie von Geschehnissen



7.2.6 Zwischenbilanz

Bisher sind mehrere Unterscheidungen eingeführt worden, die nun erst einmal sortiert werden müssen: Erstens gibt es augenblickliche und zeitlich ausgedehnte Geschehnisse. Alle zeitlich ausgedehnten Geschehnisse nehmen einen allgemein bestimmten Verlauf. Für alle Geschehnisse, die einen allgemein bestimmten Verlauf nehmen, muss wenigstens im Prinzip klar sein, unter welchen Bedingungen sie vollendet sind. Zweitens weisen einige der Geschehnisse, die einen allgemein bestimmten Verlauf nehmen, weiter keine interne Struktur auf. Zu diesen gehören einerseits die im engeren Sinne telischen Geschehnisse, deren Vollendung in nichts weiter als in ihrer Beendigung besteht. Andererseits zählen auch die Vorgänge, die Aristoteles *energeiai* nennt, zu dieser Gruppe: Geschehnisse, die vollendet sein können, bevor sie beendet sind. Drittens sollen Geschehnisse, die eine interne Struktur aufweisen, im Folgenden *Prozesse* genannt werden.¹³⁵ So weit ergibt sich die in Abbildung 7.1 dargestellte Taxonomie.

¹³⁵ Der Terminus „Prozess“ wird in der Literatur in verschiedenen Bedeutungen verwendet. Mourelatos 1978 definiert Prozesse als atelische Geschehnisse, zieht diese Definition jedoch in Mourelatos 1993 zurück. Stout 1997 identifiziert Prozesse mit Geschehnistypen, wovon später die Rede sein wird. Die *Gene Ontology* reserviert den Ausdruck „process“ für komplexe, intern strukturierte Geschehnisse; einfache ausgedehnte Geschehnisse werden dort seltsamerweise „[molecular] function“ genannt: „A biological process is series [sic] of events accomplished by one or more ordered assemblies of molecular functions. [...] It can be difficult to distinguish between a biological process and a molecular function, but

7.2.7 Einfache und komplexe Geschehnisse

Es bleibt eine weitere Unterscheidung einzuführen: diejenige zwischen einfachen und komplexen Geschehnissen. Da augenblickliche Geschehnisse keine zeitlichen Teile haben, könnte angenommen werden, dass sie nicht komplex sein können. Das ist aber nicht richtig. Es kann für das Gelingen eines Eingriffs wichtig sein, dass der Arzt zwei Dinge zugleich tut, etwa mit jeder seiner beiden Hände zugleich je eine andere Bewegung ausführt. Der Moment, in dem eine solche Doppelbewegung gelingt, stellt dann ein augenblickliches Geschehnis dar, das zwar instantan geschieht, aber dennoch mehrere Geschehnisse verschiedenen Typs involviert.

Aus demselben Grund kann es auch komplexe ausgedehnte und intern unstrukturierte Geschehnisse geben. Es kann nämlich Geschehnisse geben, für die zwar klar ist, welche Teilgeschehnisse zu ihnen gehören, für die aber nicht klar ist, welche Anzahl und Reihenfolge diese Teilgeschehnisse haben. Solche Geschehnisse sind ohne Zweifel komplex, aber es lässt sich während ihres Verlaufs nicht genau sagen, was noch geschehen wird. Es ist zum Beispiel ungefähr klar, was als Bestandteil eines Gesprächs, einer Liebesbeziehung oder einer Verhandlung zählt, aber nicht unbedingt, wie viel von einem solchen Geschehnis jeweils noch aussteht.

Folglich gibt es intern unstrukturierte komplexe Geschehnisse. Dass es andererseits auch komplexe Prozesse geben muss, erschließt sich daraus, dass man nur dann sagen kann, wie weit ein Prozess gediehen ist, wenn er Teile hat, die abgeschlossen sein können. Das Lesen eines Buches ist zur Hälfte abgeschlossen, wenn man die Hälfte der Seiten gelesen hat; eine Seite zu lesen ist aber Teil des komplexen Prozesses.

Weiter fragt sich, ob es auch einfache, zeitlich ausgedehnte Geschehnisse geben kann. Es steht fest, dass jede ausgedehnte Geschehnisinstanz in *einem*

the general rule is that a process must have more than one distinct steps.“ (http://www.geneontology.org/GO.doc.shtml#biological_process, 7.3.2008; vgl. dazu auch Smith, Williams und Schulze-Kremer 2003) Die Etymologie legt nahe, unter Prozessen etwas zu verstehen, das eine Veränderung einschließt, gezählt werden kann, und einen typischen Verlauf hat. Was in diesem Kapitel „Prozess“ genannt wird, steht sachlich dem nahe, was Aristoteles *kinesis* nennt, und was anderweitig als *achievement* (Ryle 1949, 130), *performance* (Kenny 1963, Kap. 8), *accomplishment* (Vendler 1972, Kap. 4), oder *development* (Mourelatos 1978) geführt wird.

Sinn Teile haben muss: Sie hat einen Anfang und ein Ende, und dazwischen geschieht etwas für eine gewisse Dauer. Das muss aber nicht mit „komplex“ gemeint sein, und es ist interessanter, den Begriff in anderer Art und Weise zu bestimmen. In diesem interessanteren Sinne wird ein ausgedehntes Geschehnis genau dann *komplex* genannt, wenn es aus mindestens zwei ausgedehnten Geschehnissen verschiedenen Typs besteht. Allgemein soll ein ausgedehntes oder unausgedehntes Geschehnis dann komplex heißen, wenn es typverschiedene Geschehnisse involviert, die selbst ebenfalls ausgedehnt oder unausgedehnt sind. Augenblickliche Geschehnisse sind also komplex, wenn sie typverschiedene augenblickliche Geschehnisse einschließen, ausgedehnte Geschehnisse aber nur dann, wenn sie typverschiedene ausgedehnte Geschehnisse involvieren.

Ein ausgedehntes Geschehnis ist also dann *einfach*, wenn es ohne Verweis auf weitere, zeitlich ausgedehnte Geschehnisse spezifiziert werden kann. Dass ein ausgedehntes Geschehnis einen Anfang und ein Ende hat, macht es daher nicht zu einem komplexen Geschehnis, weil Anfang und Ende selbst keine zeitlich ausgedehnten Geschehnisse sind. Das Warten auf einen guten Einfall ist in diesem Sinne ein ausgedehntes, telisches und einfaches Geschehnis, denn außer dem Warten selbst ist allgemein nicht bekannt, was typischerweise zwischen seinem Beginn und seinem Ende geschieht.

Es gibt also komplexe augenblickliche Geschehnisse sowie komplexe Prozesse und Geschehnisse ohne interne Struktur; und es gibt einfache augenblickliche und ausgedehnte Geschehnisse, die keine Prozesse sind. Gibt es einfache Prozesse? Ein einfacher Prozess sollte ein intern strukturiertes Geschehnis sein, das keine zeitlich ausgedehnten Teile verschiedenen Typs hat. Wenn wir ein komplexes ausgedehntes Geschehnis in seine elementaren Bestandteile zerlegen, werden wir in der Tat oft auf einfache Prozesse stoßen. Betrachten wir etwa die Bewegung der Hand, mit der ein Arzt ein Endoskop einführt. Diese Bewegung ist einförmig, d.h. sie besteht nicht aus weiteren Teilbewegungen anderen Typs. Ihre Teile sind Bewegungen desselben Typs. Aber sie hat zugleich eine interne Struktur, denn während ihres Verlaufs ist allgemein bestimmt, welchen weiteren Verlauf sie nehmen wird und wann sie fertig und vollendet sein wird. Es ist jederzeit sichtbar, wie weit die Bewegung fortgeschritten ist, und antizipierbar, welchen Verlauf sie nehmen wird. Daher handelt sich um einen einfachen Prozess. Die Unterscheidung zwischen einfachen und komplexen Geschehnissen steht damit quer zur Unterscheidung zwi-

schen augenblicklichen, intern unstrukturierten und strukturierten Geschehnissen, sodass sich eine Kreuzklassifikation ergibt (Abbildung 7.2).

Im Folgenden wird vorzugsweise von komplexen Prozessen die Rede sein. Komplexe Prozesse unterscheiden sich von anderen komplexen Geschehnissen dadurch, dass nicht nur die Art ihrer Teile allgemein bekannt ist, sondern auch deren typische Anordnung.

Abb. 7.2: Kombinationsmöglichkeiten von Struktureigenschaften

| <i>Geschehnis</i> | augenblicklich | unstrukturiert | strukturiert |
|-------------------|----------------|----------------|--------------|
| einfach | × | × | × |
| komplex | × | × | × |

7.3 Typen und Instanzen von Geschehnissen

Bereits im Verlauf der bisherigen Diskussion wurde mehrfach auf Typen von Geschehnissen verwiesen. Typen von Geschehnissen unterscheiden sich dadurch von ihren Instanzen, dass sie selbst nicht geschehen. Wenn etwas geschieht, dann ist es eine Instanz, und wenn etwas eine Geschehnisinstanz ist, dann geschieht es.

Eine Reihe von Unterscheidungen konnten nicht auf Instanzebene getroffen werden. Alle konkreten, zeitlich ausgedehnten Geschehnisinstanzen nehmen in einem weiten Sinn einen bestimmten Verlauf und haben eine interne Struktur. Manche dieser Geschehnisinstanzen haben jedoch einen *allgemein* bestimmten Verlauf und eine *allgemein* bestimmte innere Struktur. Statt „allgemein bestimmt“ kann man hier auch besser „typisch“ sagen, denn wenn angegeben wird, wie eine Geschehnisinstanz allgemein bestimmt ist, wird der Geschehnistyp, dessen Instanz sie ist, beschrieben.

Der typische Verlauf einer Geschehnisinstanz ist die Verlaufsform, der sie kraft ihres Typs unterliegt. Der Typ bestimmt einen solchen Verlauf, insofern es Formregeln gibt, anhand derer seine Instanzen von Instanzen anderer Typen und ferner typische von atypischen Instanzen dieses Typs unterschieden werden können. Wie bereits gesagt, kann es vorkommen, dass ein Typ nur

durch atypische Instanzen realisiert wird. In einem solchen Fall ist es statistisch normal, dass seine Instanzen nicht typisch sind. Dass ein Geschehnis einen typischen Verlauf hat, bedeutet also nicht, dass Instanzen seines Typs häufig oder normalerweise diesen Verlauf nehmen.

7.3.1 *Dinge instantiieren keine Geschehnistypen*

Wie bereits in Kapitel 5 festgestellt, werden Geschehnistypen von Einzelgeschehnissen instantiiert. Diese Sprachregelung wird nicht allgemein befolgt. Es wird manchmal gesagt, dass Geschehnistypen von den Dingen instantiiert werden, mit denen etwas geschieht.¹³⁶ In diesem Sinn könnte etwa Cicero den Typ „Spaziergang“ instantiiieren, indem er spazieren geht. Der Grund für die Verwendung dieser Redeweise dürfte sein, dass es keine konkrete Geschehnisinstanz geben kann ohne etwas, womit etwas geschieht.¹³⁷ Für eine konkrete Geschehnisinstanz braucht es also immer auch ein konkretes Ding. Das heißt aber nicht, dass dies die Dinge sind, die die betreffenden Geschehnistypen instantiiieren. Vielmehr gilt, dass Geschehnistypen von einzelnen Geschehnissen instantiiert werden, ebenso wie Ding- und Eigenschaftstypen von einzelnen Dingen und Eigenschaften instantiiert werden. Dinge partizipieren in Geschehnissen, instantiiieren sie aber nicht.

7.3.2 *Wie Geschehnistypen durchlaufen werden*

Eine andere Weise, Geschehnisse und Dinge durcheinander zu bringen, findet in einer Behauptung von Rowland Stout Ausdruck: dass Prozesse eigentlich Typen von Geschehnissen seien, mit denen etwas geschieht, wenn Dinge sie durchlaufen.¹³⁸ Wenn etwas geschieht, würde sich demgemäß etwas zwischen einem Ding und einem Geschehnistyp ereignen, sodass das Ding gleichsam durch den Typ hindurchläuft. Hier gehen aber mehrere Dinge durcheinander. Denn erstens ist das, was sich da angeblich zwischen dem Ding und dem Geschehnistyp abspielt, offenbar selbst eine Geschehnisinstanz, und es ist nicht klar, wie man nach Stout ihren Verlauf beschreiben sollte, wenn nicht so, dass ein Ding und ein Geschehnistyp einen weiteren Geschehnistyp

¹³⁶ Vgl. Rödl 2005, 164.

¹³⁷ Eine Ausnahme bilden vielleicht Töne und Geräusche. Vgl. Strawson 1959, Kap. 2.

¹³⁸ Vgl. Stout 1997, 19–27.

durchlaufen. Das lässt sich aber ins Unendliche fortsetzen. Zweitens sind Geschehnistypen nicht zeitlich in dem Sinn, dass etwas mit ihnen geschieht, wenn sie aktualisiert werden. Was geschieht, ist eine aktuelle Geschehnisinstanz, und es geschieht mit einem Ding, nicht mit dem Typ, den es instantiiert.

Um zu verstehen, was ein einzelnes Geschehnis ist, müssen also wenigstens drei Sachen auseinander gehalten werden: Typen von Geschehnissen, konkrete Geschehnisse und konkrete Dinge. Typen von Geschehnissen geschehen nicht. Das, was geschieht, ist die Instanz und nicht der Typ. Konkrete Dinge ändern sich, und wenn sie sich ändern, dann geschieht etwas. Wenn etwas geschieht, dann stets mit einem Ding, das in einer Hinsicht gleich bleibt.

Eine einzelne, konkrete Geschehnisinstanz ist ferner nichts, das sich ändert, so wie etwa das Ding, mit dem es geschieht. Man kann zwar sagen, dass ein Spaziergang beginnt interessant zu werden, aber dadurch wird der Spaziergang nicht zu etwas, das eine Änderung durchläuft. Die Änderung ist hier Teil dessen, was geschieht, und sollte daher besser als Veränderung der beteiligten Dinge beschrieben werden. Wenn ein Spaziergang eine Änderung durchlaufen würde, dann wäre er ein Ding und kein Geschehnis.¹³⁹

Man kann also Dinge, Geschehnistypen und ihre Instanzen terminologisch unterscheiden, indem man sagt, dass sich Dinge *ändern* oder *bewegen*, während Geschehnistypen *durchlaufen werden* und ihre Instanzen *geschehen*. „Durchlaufen werden“ muss hier jedoch auf besondere Weise verstanden werden, da Geschehnistypen auf eine Art durchlaufen werden, in der Dinge nicht durchlaufen werden können. Wenn ein Ding einen Geschehnistyp durchläuft, geschieht nicht dasselbe, wie wenn zum Beispiel eine Ratte durch ein Rohr läuft. Der Geschehnistyp ist nicht da und wird dann durchlaufen. Der Geschehnistyp ist vielmehr erst im Durchlaufenwerden präsent, und was da eigentlich präsent ist, ist nur seine Instanz. Dass ein Geschehnistyp durchlaufen wird, ist also selbst keine Geschehnisinstanz, denn der Geschehnistyp ist in diesem Fall kein Ding, mit dem etwas geschieht.

¹³⁹ Vgl. Aristoteles, *Physik* V, 2.

7.4 Prozesse und ihre Teile

Prozesse sind zeitlich ausgedehnte und intern strukturierte Geschehnisse. Komplexe Prozesse sind Geschehnisse, die typischerweise (d.h. kraft ihres Typs) typverschiedene ausgedehnte Geschehnisse einschließen. Das Stricken eines Armbandes ist zum Beispiel ein komplexer Prozess, weil in seinem Verlauf verschiedene Dinge in einer gewissen Reihenfolge getan werden müssen, die ihrerseits zeitlich ausgedehnt sind und einen typischen Verlauf haben.

Komplexe Prozesse unterscheiden sich von anderen Prozessen dadurch, dass sie kraft ihres Typs komplex sind. Um sie von einfachen Prozessen zu unterscheiden, muss also die Art betrachtet werden, in der ihr Typ spezifiziert wird. Dazu lohnt es sich, zwei Spezialfälle näher zu betrachten: Handlungen und sprachliche Äußerungen.

7.4.1 *Rezepte für Handlungen*

Eine einfache und weit verbreitete Art, Typen komplexer Handlungen zu spezifizieren, sind Rezepte. Rezepte richten sich in erster Linie an jemanden, der über ein bestimmtes basales Wissen verfügt und einen komplexen Prozess ausführen oder in Gang setzen will. Daher wird in einem Rezept nicht alles Mögliche erklärt, sondern es wird nur das Verhältnis des gesamten Prozesses zu seinen einfachen und unmittelbar ausführbaren Teilen dargestellt. Eine *einfache* Handlung kann als eine solche definiert werden, die nicht durch Verweis auf typverschiedene Handlungen erklärt zu werden braucht. Wie man einen Arm bewegt, braucht man im Allgemeinen niemandem weiter zu erklären. Man könnte zwar sagen wollen, dass man den Arm bis zu einem bestimmten Punkt bewegen muss und dann weiter, und somit die Bewegung in „verschiedene“ Teile zerlegen. Dadurch wird sie aber nicht komplex, weil beide Teile Ausübungen desselben Vermögens sind. Wer weiß, wie man einen Arm bis zu einem bestimmten Punkt bewegt, dem braucht man nicht mehr zu erklären, wie es weiter geht. Deshalb ist die gesamte Armbewegung einfach und nicht komplex. Komplexe Handlungen sind also solche, die man anhand eines Rezeptes ausführen und erklären kann, einfache sind solche, für die weitere Rezepte keinen Sinn machen.¹⁴⁰

¹⁴⁰ Vgl. Baier 1972 über *basic actions*.

Ob etwas eine einfache oder eine komplexe Handlung ist, hängt unter anderem von den Kompetenzen des Handelnden ab. Beim Erlernen einer Sprache kann es erforderlich sein, bestimmte Bewegungen anhand detaillierter Anweisungen einzuüben, um gewisse Laute zu erzeugen. Sind diese Bewegungen einmal gelernt, brauchen sie nicht weiter durch Angabe von Rezepten erklärt zu werden. Viele Lernprozesse erfolgen auf diese Weise.

Was für Handlungen und Rezepte gilt, lässt sich auch auf Prozesse im Allgemeinen übertragen. Ein Prozess ist einfach, wenn alle seine ausgedehnten Teile typgleich sind. Ein Rezept eines beliebigen komplexen Prozesses wird also alle typverschiedenen einfachen Schritte angeben, die typischerweise zu diesem Prozess gehören. Oft wird auch klar sein, in welcher Reihenfolge die Schritte erfolgen und wie oft sie gegebenenfalls wiederholt werden; das ist aber nicht immer der Fall.

7.4.2 *Reguläre Ausdrücke*

Sprachliche Äußerungen sind in mehrfacher Hinsicht paradigmatische Beispiele für komplexe Handlungen und Prozesse. Für manche sprachliche Gebilde wie Worte, Sätze und Gedichte gibt es Regeln, die ihre innere Struktur mehr oder weniger genau festlegen. Den einfachen Geschehnisinstanzen entsprechen auf der Sprachebene die einfachen Wortbestandteile, also Silben oder Phoneme. Dementsprechend kann man Niederschriften und Textdateien mit Typen von Geschehnissen vergleichen. Ohne sich gleich auf den Standpunkt festzulegen, dass Texte Typen von Lesungen seien, kann man doch sagen, dass sich Texte zu ihren Lesungen in einer Weise verhalten, die der Weise, in der sich Geschehnistypen zu ihren Instanzen verhalten, auf interessante Art ähnelt. Hier interessiert nur eine dieser Ähnlichkeiten.

Um eine Textdatei nach Worten zu durchsuchen, kann man ein Programm schreiben, das alle ihre einfachen Bestandteile durchläuft und ermittelt, ob und wo sie in einer bestimmten Abfolge vorliegen. Um das Wort „Hase“ zu suchen, würde man dementsprechend ein Programm schreiben, das genau dann anschlägt, wenn die Buchstaben *H*, *a*, *s* und *e* direkt aufeinander folgen. Das Programm identifiziert dann eine Lautfolge anhand einer Reihe von Anweisungen, die umgekehrt auch als Rezept zum Hervorbringen der Lautfolge dienen könnten. Entsprechend kann man sich Anweisungen denken, anhand derer ein Programm Geschehnisfolgen identifizieren würde.

Das ist deswegen von Interesse, weil die Anweisungen, die einem Programm mit auf den Weg gegeben werden, um Lautfolgen oder Geschehnisfolgen zu identifizieren, bekanntermaßen weitgehend flexibilisiert werden können. Zum Beispiel kann ein Programm nach allen Worten suchen, die mit „H“ anfangen, insgesamt vier Buchstaben enthalten, und mit „e“ aufhören. Um solche Anweisungen in kompakter Weise zu geben, sind so genannte *reguläre Ausdrücke* entwickelt worden.¹⁴¹ So kann etwa vereinbart werden, dass der Ausdruck „H.{2}e“ für jedes beliebige Gebilde steht, das mit einem „H“ beginnt, genau zwei weitere beliebige Zeichen enthält und mit einem „e“ endet. Dieses Verfahren dürfte sich verallgemeinern lassen, sodass sich komplexe Prozesse jeder Art anhand regulärer Ausdrücke identifizieren lassen. Dazu müssen neben den Funktionszeichen wie „{2}“, die im obigen Ausdruck die formale Struktur angeben, nur Zeichen vereinbart werden, die jeweils für einfache Geschehnisse stehen.

Dabei geht es nicht darum, die exakte zeitliche Abfolge der Teile eines Prozesses festzuhalten, denn dafür gibt es bessere Verfahren, die bereits zur Genüge bekannt sind: Filme, mathematische Gleichungen, die Verwendung von Uhren und Kalendern. Anhand regulärer Ausdrücke kann vielmehr die allgemeine Abfolge der Schritte dargestellt werden, abgesehen davon, wie viel Zeit die einzelnen Schritte genau beanspruchen. In einem weiteren Schritt könnte es sinnvoll sein, Zeitangaben hinzuzufügen; diese sind aber zunächst nicht vorgesehen.

Die Regeln für das Konstruieren regulärer Ausdrücke sind komplex und sollen hier nicht im Detail angegeben werden. Ein Beispiel soll an dieser Stelle genügen: Eine Magenspiegelung beginnt etwa damit, dass der Patient eine Seitenlage einnimmt, was hier mit *a* abgekürzt werden soll. Der Einfachheit halber wird angenommen, dass es sich um ein einfaches Geschehnis handelt; seine innere Struktur kann ja ohne weiteres in einem weiteren Schritt expliziert werden. Als zweites wird im Rahmen einer Gastroskopie typischerweise die Rachenschleimhaut betäubt (*b*), und gegebenenfalls eine Beruhigungsspritze verabreicht (*c*). Während der Arzt dann das Endoskop durch die Speiseröhre schiebt (*d*), sollte der Patient mehrere Male kräftig schlucken (*e*), bis der Magen erreicht ist (*f*) etc. Das Anfangsfragment des Eingriffes kann nun anhand des folgenden regulären Ausdrucks dargestellt werden:

¹⁴¹ Zum Beispiel im Rahmen der Programmiersprache PERL. Vgl. <http://www.perl.org>.

$$\wedge abc \text{ ?(de ?) } + \text{ ?f}$$

In diesem Ausdruck steht „ \wedge “ für den Beginn des Geschehnisses. Zu Beginn nimmt der Patient also die Seitenlage ein (*a*), und dann wird die Rachenschleimhaut betäubt (*b*). Das Fragezeichen hinter dem „ \wedge “ zeigt an, dass es sich bei der Beruhigungsspritze um eine Option handelt, die nicht notwendig zu jeder typischen Magenspiegelung gehört. Durch die runden Klammern werden die Geschehnisse „*d*“ und „*e*“ zusammengefasst, sodass das „+“ hinter der Klammer sich auf beide bezieht. Es zeigt an, dass das Geschehnis „(de ?)“ (Bewegen des Endoskops und optional Schlucken) mindestens einmal oder öfter erfolgt. Das Fragezeichen hinter dem „+“ hat eine andere Funktion als die beiden anderen Fragezeichen; es legt fest, dass das Endoskop *höchstens* so lange bewegt werden soll, bis der Magen erreicht ist.

In dieser Weise lässt sich anhand regulärer Ausdrücke die allgemeine Form komplexer Geschehnisse angeben. Da reguläre Ausdrücke den typischen Verlauf komplexer Geschehnisses beschreiben, kann man durch ihre Verwendung *Typen* komplexer Geschehnisse spezifizieren und beschreiben.

7.4.3 Typen, ihre Teile und ihre Instanzen

Durch Angabe eines regulären Ausdrucks wird in erster Linie die allgemeine Struktur eines *Geschehnistyps* und nur mittelbar die eines Einzelgeschehnisses beschrieben. Eine Gastroskopie schließt die Betäubung der Rachenschleimhaut und die Entfernung des Endoskops ein, aber eben nur typischerweise. Es kann vorkommen, dass ein Arzt einen Schritt auslöst oder zu einer Magenspiegelung ansetzt, sie dann aber abbricht. Dann war er zwar dabei, eine Magenspiegelung durchzuführen, hat aber nicht alles gemacht, was typischerweise dazugehört. Nehmen wir an, der Arzt tut alles, was in dem oben angegebenen Fragment eines regulären Ausdrucks beschrieben ist, bricht dann aber ab. Solange er jedoch noch dabei war, die Gastroskopie durchzuführen, hat er nichts ausgelassen: Er hat alles getan, was *in dieser Phase* zur Magenspiegelung gehörte. Auch wenn er noch nicht mit der Operation fertig gewesen ist, hat er sie bereits im vollen Sinne durchgeführt.

Man könnte dagegen meinen, dass der Arzt erst dann wirklich eine Gastroskopie durchführt, wenn er alles tut, was die Regeln zur Durchführung solcher Operationen verlangen. Das hieße aber, die Beschreibung des Geschehnistyps mit der Beschreibung seiner Instanzen zu verwechseln. Wenn der Arzt eine Magenspiegelung durchführt, macht er zu keinem Zeitpunkt alles,

was zu dieser Art Eingriff gehört, sondern je nur einen Teil davon zum jeweiligen Zeitpunkt. Das bedeutet aber nicht, dass er nicht zu jedem Zeitpunkt voll und ganz dabei wäre, eine Magenspiegelung durchzuführen. Also muss ein Arzt, der jetzt dabei ist, eine Gastroskopie durchzuführen, nicht auch alles zum jetzigen Zeitpunkt tun, was dazu gehört.

Außerdem gilt, dass nie jemand eine Gastroskopie durchführen könnte, wenn sie tatsächlich erst dann durchgeführt würde, wenn alles getan wird, was dazugehört. Denn wenn ein Arzt noch nicht alles getan hat, was zu einer Magenspiegelung gehört, würde er sonst laut Annahme noch keine Magenspiegelung durchführen. Wenn er aber alles getan hat, was zu dem Eingriff gehört, führt er ihn nicht mehr durch, sondern ist fertig damit. Der einzige Zeitpunkt, zu dem er dieser Annahme zufolge also wirklich eine Gastroskopie durchführen würde, wäre demnach unendlich kurz: Es wäre der Zeitpunkt, in dem er den allerletzten Schritt beendet. Um dieses unintuitive Resultat zu vermeiden, demzufolge eine Magenspiegelung keine zeitliche Dauer hätte, muss gesagt werden, dass der Arzt den Eingriff bereits vollzieht, wenn er noch nicht damit fertig ist. Und das ist in der Tat die naheliegende Redeweise. Wenn jemand sieht, wie ein Arzt meine Rachenschleimhaut betäubt und fragt, was er gerade tut, kann wahrheitsgemäß geantwortet werden, dass der Arzt jetzt gerade eine Gastroskopie durchführt, auch wenn er eben noch nicht alles getan hat, was dazu gehört.

7.4.4 *Dauer kraft des Typs*

Damit folgt aber erneut, dass sich Geschehnistypen wesentlich von ihren Instanzen unterscheiden. Zur vollständigen Spezifikation eines Geschehnistyps gehört eine Beschreibung aller Teilschritte, die im zugehörigen Rezept vorkommen. Ein Typ mit anderen Teilschritten wäre ein anderer Typ. Zu einer vollgültigen Geschehnisinstanz gehören diese Teile dagegen nicht unmittelbar. Das konkrete Geschehnis, das gegenwärtig eine Instanz des Typs „Magenspiegelung“ ist, besteht in *einem* Sinne allein aus einer Handbewegung. Nur weil es einen komplexen Typ instantiiert, kann davon gesprochen werden, dass das, was der Arzt jetzt tut, mittelbar eine komplexe Geschehnisinstanz ist.

Aber würde das nicht wieder bedeuten, dass Instanzen von Geschehnissen unendlich kurz sind? Denn das, was jetzt gerade geschieht, ist doch auch nur kraft seines Typs eine Handbewegung von einem Punkt zu einem anderen.

Man könnte also meinen, dass der einzige Teil dieser Bewegung, der hier und jetzt real ist, nur ein unendlich kleiner Teil dieser Bewegung sei. Das ist in einem gewissen Sinn richtig, nämlich in dem Sinn, dass auch ein unendlich kleiner Teil der fraglichen Bewegung eine Instanz des Geschehnistyps „Magenspiegelung“ ist. Daraus folgt aber nicht, dass eigentlich *nur* ein unendlich kleiner Teil der Bewegung real ist. Denn die hier und jetzt erfolgende Bewegung instantiiert ja den Typ „Magenspiegelung“, folglich *ist* sie auch eine Magenspiegelung. Wenn der Arzt seine Hand bewegt, dann bewegt er eben nicht *nur* seine Hand, sondern er führt eine Gastroskopie durch. Also ist hier eine ganze Gastroskopie real. Man kann ferner zu recht sagen, dass eine Gastroskopie etwa zehn Minuten dauert, und dementsprechend dauert auch das, was der Arzt jetzt gerade kraft dieser Bewegung macht, zehn Minuten. Es macht keinen Sinn, zu sagen, dass das, was der Arzt tut, „eigentlich“ weniger lange dauere. Nur insofern das, was er tut, einen Typ instantiiert, hat es überhaupt eine Dauer.

Ebenso wie die Komplexität und die Struktur ist damit auch die Dauer eines Geschehnisses etwas, das nur auf Typebene sinnvoll ausgesagt werden kann. Geschehnisinstanzen haben eine Dauer nur mittelbar, nämlich kraft des Typs, dem sie angehören.

7.4.5 *Vergangene Geschehnisse*

Neben Geschehnistypen und ihren gegenwärtigen Instanzen, könnte man hier einwenden wollen, gibt es aber doch auch vergangene Geschehnisse. Wenn der Arzt zwanzig Minuten gebraucht hat, um eine Magenspiegelung durchzuführen, dann hat diese Instanz doch eine bestimmte Dauer gehabt, und es waren nicht die zehn Minuten, die sie typischerweise gedauert hätte. Also scheint es, als könne eine Geschehnisinstanz ihre Dauer durchaus unabhängig von dem Typ haben, den sie instantiiert.

Daran ist aber erstens falsch, dass eine vergangene Geschehnisinstanz eine Dauer *hat*. Es *gibt* nämlich keine vergangenen Geschehnisinstanzen; es *gab* sie bestenfalls, denn sie sind laut Annahme vergangen. Eine vergangene Geschehnisinstanz *ist* also auch keine Geschehnisinstanz, genauso wenig wie ein verprasstes Vermögen ein Vermögen ist. Eine vergangene Geschehnisinstanz *war* eine Geschehnisinstanz, und solange sie diese Instanz war, war sie noch nicht abgeschlossen. Also hat eine vergangene Gastroskopie auch keine Dauer, sondern *hatte* bestenfalls eine Dauer.

Zweitens hatte eine vergangene Geschehnisinstanz, solange sie noch real war, ihre Dauer auch nur kraft ihres Typs. Wenn eine Magenspiegelung in einem Fall zwanzig Minuten gedauert hat, dann hatte sie eine untypische Dauer, aber sie hatte diese konkrete untypische Dauer dennoch kraft ihres Typs.

Da gesagt werden soll, dass der Arzt bereits eine Gastroskopie durchführt, wenn er die Rachenschleimhaut betäubt, muss folglich zugegeben werden, dass sich Geschehnisinstanzen in mehreren wesentlich Punkten von den Typen unterscheiden, die sie instantiieren. Erstens lässt sich die Unterscheidung zwischen intern strukturierten Geschehnissen und anderen Geschehnissen unmittelbar nur sinnvoll auf Typebene anwenden. Zweitens können Instanzen von Geschehnissen zugleich mehrere Geschehnistypen instantiieren. Wenn der Arzt die Rachenschleimhaut betäubt, dann instantiiert das, was er konkret tut, unmittelbar diesen Typ: Betäubung der Schleimhaut. Wenn er es tut, um ein Endoskop in meinen Magen einzuführen, dann instantiiert das, was er tut, zugleich den Typ „Gastroskopie“. Daher haben Geschehnisinstanzen drittens eine bestimmte Dauer nur kraft des Typs, den sie instantiieren. Die Frage, welche Dauer das hat, was ein Arzt gerade tut, macht nur dann einen Sinn, wenn klar ist, auf welchen Typ es sich bezieht. *Qua* Betäubung der Schleimhaut hat das, was er tut, eine Dauer von wenigen Minuten, *qua* Gastroskopie dauert es länger.

7.4.6 Typen von Prozessen durch Teile instantiiert

Es gilt also, zugespitzt formuliert, dass Typen komplexer Prozesse auch durch Instanzen ihrer Teile instantiiert werden können.¹⁴² Die Betäubung der Rachenschleimhaut ist Teil einer Gastroskopie, aber sie ist zugleich eine vollgültige Instanz dieses Typs. Wenn dies stimmt, dann liegt darin ein wesentlicher Unterschied zwischen Instanzen von zeitlichen und nichtzeitlichen Entitäten. Der Typ „Tisch“ wird zum Beispiel nicht jeweils in vollgültiger Weise durch die einzelnen Teile eines Tisches instantiiert, sondern nur durch einen ganzen Tisch. Wenn ihm etwas fehlt, ist es kein (typischer) Tisch. Der Typ „Gastroskopie“ wird aber bereits durch die Betäubung der Schleimhaut instantiiert,

¹⁴² Vgl. Allen 2005.

jedenfalls dann, wenn der Arzt die Schleimhaut betäubt, um dann das Endoskop einzuführen.

Alvin Goldman hat jedoch behauptet, dass es sich anders verhält: Wenn der Arzt ein Endoskop durch die Speiseröhre führt, um eine Gastroskopie durchzuführen, tut er seiner Meinung nach zwei *verschiedene* Dinge gleichzeitig.¹⁴³ Es ist natürlich ohne weiteres möglich, verschiedene Dinge gleichzeitig zu tun, wie etwa eine Gastroskopie durchzuführen und währenddessen über das Wetter zu plaudern. Wenn ein Arzt aber eine Gastroskopie durchführt und im Zuge dessen das Endoskop bewegt, tut er nicht zwei verschiedene Dinge gleichzeitig. Der Logik Goldmans folgend würde er andernfalls nämlich bereits zwei verschiedene Dinge zugleich tun, wenn er seine Hand im Zuge der Bewegung ein beliebig kleines Stück bewegt. Demzufolge würde er aber stets unendlich viele verschiedene Dinge gleichzeitig tun, wenn er überhaupt etwas tut. Es sollte klar sein, dass eine Theorie, die zu einer solchen Behauptung führt, nicht besonders brauchbar ist.

7.4.7 Ein Baumdiagramm

Wenn ein Arzt ein Endoskop einführt, um eine Gastroskopie durchzuführen, dann gehört das, was er tut, in einer ähnlichen Weise mehreren Typen an, wie auch ein Zebra mehreren Typen angehört. Ein Zebra ist zugleich ein Säugetier und ein Huftier. Daraus sollte man jedoch nicht schließen, dass da statt eines Zebras eigentlich zwei Dinge sind. Ebenso wenig folgt daraus, dass eine Handbewegung zugleich das Einführen eines Endoskops und die Durchführung einer Magenspiegelung ist, dass hier zwei Dinge zugleich geschehen.

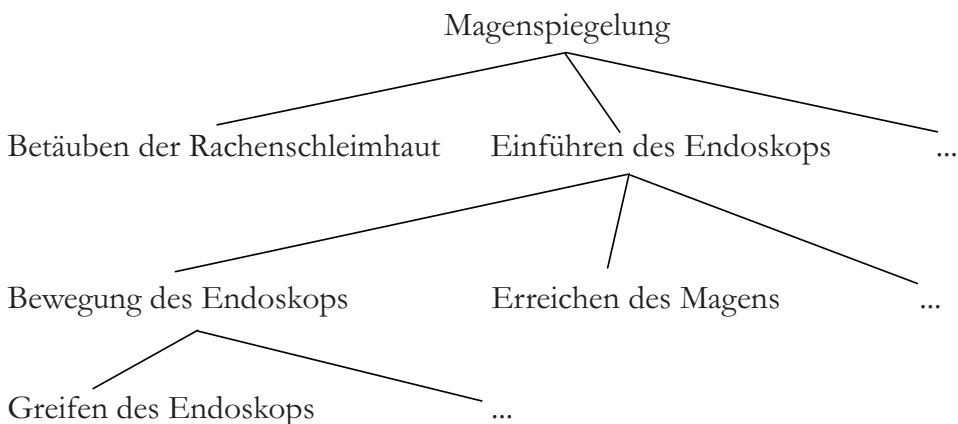
Eine Typenhierarchie, wie etwa Säugetier—Huftier—Zebra, kann als Baumdiagramm dargestellt werden. Typen komplexer Prozesse werden durch Angabe von Regeln spezifiziert, welche das Verhältnis des Prozesses zu seinen Teilen beschreiben. Da die Instanzen der Teilschritte jeweils auch Instanzen des ganzen Prozesses sind, lässt sich ein komplexer Prozess ebenfalls anhand eines Baumdiagrammes beschreiben. Ein Baumdiagramm ersetzt dabei keinen regulären Ausdruck, da Informationen über die Reihenfolge und Wiederholungen der Teile verloren gehen.

¹⁴³ Vgl. Goldman 1971.

Der Wurzelknoten in einem solchen Diagramm steht für den ganzen Prozess, der sich dann in Teilschritte verzweigt, die sich gegebenenfalls wieder in Teilschritte verzweigen. An den Enden der Äste sollten einfache Prozesse stehen, die sich nicht weiter in typverschiedene Teile gliedern lassen. Instanzen dieser einfachen Geschehnistypen sind zugleich Instanzen des gesamten Prozesses. Abbildung 7.3 wäre demnach die stark vereinfachte Fassung eines Diagramms zur Darstellung einer typischen Gastroskopie.

Während in einem regulären Ausdruck nur die einfachen Teilgeschehnisse und deren Abfolge dargestellt werden, macht das Baumdiagramm deutlich, wie sich Geschehnisse in grobe Schritte und diese wiederum in komplexere Abfolgen zerlegen lassen. Es gleicht einerseits dem Diagramm in Abbildung 7.1, also einer Taxonomie verschiedener Geschehnistypen. Andererseits sieht es einer Partonomie ähnlich: einer Hierarchie von Teilen eines Geschehnisses. Genau besehen ist es jedoch *keines* von beiden, sondern eine Hierarchie verschiedener mehr oder weniger spezifischer Weisen, ein und dieselbe Geschehnisinstanz zu bezeichnen. Man kann dem Diagramm also nicht entnehmen, dass jede Bewegung eines Endoskops eine Magenspiegelung ist oder umgekehrt, und auch nicht, dass jede Bewegung eines Endoskops Teil einer Magenspiegelung ist. Man kann ihm lediglich entnehmen, dass eine konkrete Bewegung eines Endoskops, die im Rahmen einer Magenspiegelung stattfindet, zugleich auch die Typen „Einführen des Endoskops“ und „Magenspiegelung“ instantiiert. Was in dem angegebenen Baumdiagramm in ein Verhältnis gesetzt wird, sind also nicht allgemeine Typen, sondern verschiedene Typisierungen einer einzelnen Geschehnisinstanz.

Abb. 7.3: Baumdiagramm einer typischen Gastroskopie



Um eine Partonomie handelt es sich deswegen nicht, weil es generell problematisch ist, von Teilen eines Geschehnisses zu sprechen. Geschehnisinstanzen sind komplex kraft der Geschehnistypen, deren Instanzen sie sind. Daher haben sie auch ihre Teile nur kraft des Typs. Von Typen zu sagen, dass sie zeitliche Teile haben, klingt aber so, als hätten Typen eine zeitliche Ausdehnung und als würden sie daher in der Zeit verlaufen, was sie aber nicht tun. Was hier offenkundig Teile hat, ist das Rezept, anhand dessen der Typ beschrieben wird. Die Teile des Rezepts sind aber nicht dessen *zeitliche* Teile, denn das Rezept ist selbst kein Geschehnis. Außerdem wird normalerweise angenommen, dass Dinge nicht mit ihren Teilen identisch sein können. Im Fall von Geschehnissen scheint aber eben das der Fall zu sein: Es scheint als ob die Bewegung der Hand zugleich ein Teil der Magenspiegelung und identisch mit der Magenspiegelung ist. Das alles bedeutet, dass im Fall von Geschehnissen lieber auf die Rede von Teilen verzichtet werden sollte und folglich das Baumdiagramm nicht als Partonomie lesen sollte.

Es mag im Übrigen scheinen, als sei ein solches Baumdiagramm nur für absichtliche Handlungen möglich, da nur sie getan werden, *um* etwas anderes zu tun. Eine Handbewegung zum Beispiel ist scheinbar nur deswegen eine Magenspiegelung, weil der Arzt sie mit der Absicht ausführt, eine Magenspiegelung durchzuführen. Das ist aber so nicht richtig. Denn auch ein Tier oder sogar ein Automat kann kraft einer seiner Bewegungen etwas anderes tun. Somit sind auch in diesen Fällen in analoger Weise verschiedene Typisierungen dessen möglich, was das Tier oder der Automat tun.

7.5. Notwendige Unabgeschlossenheit

Eine Geschehnisinstanz muss deshalb bereits vorliegen, bevor sie zu Ende ist, weil sie nicht mehr vorliegt, sobald sie zu Ende ist. Wenn der Arzt überhaupt eine Gastroskopie durchführt, dann macht er es, bevor dieser Eingriff zu Ende ist, denn er macht es nicht mehr, wenn er damit fertig ist. Der Geschehnistyp „Gastroskopie“ legt fest, was alles geschehen muss, um eine Magenspiegelung durchzuführen, und wenn alles realisiert ist, was zu diesem Typ gehört, dann ist die Geschehnisinstanz vorbei.

Auch darin unterscheiden sich zeitliche Entitäten von nichtzeitlichen Dingen. Ein perfektes Ding, also ein solches, das tatsächlich alles hat, was zu seinem Typ gehört, kann man sich wenigstens vorstellen. Es mag vielleicht kein perfektes Endoskop geben, aber es ist jedenfalls nicht undenkbar, dass es

etwas geben könne, das über alle Eigenschaften verfügt, die für Endoskope erforderlich und typisch sind. Das gilt so nicht für eine Geschehnisinstanz wie die Durchführung einer Magenspiegelung. Man kann sich keine Geschehnisinstanz vorstellen, die eine perfekte, d.h. vollständig ausgeführte Gastroskopie wäre, denn eine solche wäre eben kein Geschehnis mehr, sondern sie wäre eines *gewesen*. Alle zeitlich ausgedehnten Geschehnisinstanzen zeichnen sich deshalb dadurch aus, dass sie nur präsent sind, solange sie unfertig sind.¹⁴⁴ Gegen diese Auffassung scheinen sich Einwände zu erheben, die in den folgenden zwei Abschnitten diskutiert werden sollen.

7.5.1 *Die Küste von Norwegen*

Eine Geschehnisinstanz scheint sich doch in der Zeit zu erstrecken, so wie sich etwa die Küste von Norwegen im Raum erstreckt. Und obwohl die Küste von Norwegen an keinem einzelnen Raumpunkt vollständig ist, ist sie doch innerhalb eines ausgedehnten Bereiches vollständig präsent. Kann man also nicht genauso sagen, dass eine Geschehnisinstanz innerhalb einer Zeitspanne vollständig präsent ist?

Das scheint zwar so zu sein, aber nur aufgrund einer Täuschung. Die Küste von Norwegen kann deshalb innerhalb eines Bereiches vollständig präsent sein, weil es außer den drei Raumdimensionen noch eine Zeitdimension gibt. Sie ist deshalb vollständig, weil sie zu einem Zeitpunkt überall da ist, wo sie ist, und weil man an ihr entlang laufen, fahren oder fliegen kann. Dass sie vollständig ist, bedeutet nichts anderes, als dass sie *jetzt* ganz da ist, nur eben über den Raum verteilt. Eben das kann man hingegen von einer Geschehnisinstanz nicht sagen. Keine Geschehnisinstanz ist *jetzt* vollständig, und es gibt keine fünfte Dimension, innerhalb derer ihre Teile in irgendeinem Sinne „zugleich“ da sein könnten.

7.5.2 *Vierdimensionalismus*

Es ist oft zu lesen, dass die Zeit eine Art vierter Dimension neben den drei Raumdimensionen sei und dass Geschehnisinstanzen daher so etwas seien wie vierdimensionale Dinge. Solange eine solche Redeweise als Technik ver-

¹⁴⁴ Vgl. Aristoteles, *Metaphysik* IX, 6, 1048b 30.

standen wird, Prozesse auf ein Koordinatensystem abzubilden, ist dagegen auch nichts einzuwenden.

Man kann Punkte im euklidischen Raum als Tripel von Zahlen darstellen, die einen Ort relativ zum Nullpunkt eines Koordinatensystems beschreiben. Der Nullpunkt selbst wird dabei durch $(0, 0, 0)$ dargestellt, und $(1, -1, 0)$ bezeichnet den Punkt einer Einheit rechts unterhalb des Nullpunktes. Drei-dimensionale Objekte können entsprechend als Mengen von Zahlentripeln $\{(0, 0, 0), (1, -1, 0), \dots\}$ beschrieben werden. Genauso kann es Sinn machen, Geschehnisinstanzen anhand von Quadrupeln von Zahlen zu beschreiben, die jeweils für Punkte in einem vierdimensionalen Koordinatensystem stehen.

Man sollte aber nicht meinen, dass bei der Umwandlung von Geschehnissen in vierdimensionale mathematische Objekte, die einerseits durchaus gewinnbringend sein kann, nicht andererseits auch etwas Wesentliches verloren ginge. Was den Geschehnissen bei ihrer Umwandlung in Mengen von Zahlenquadrupel verloren geht, ist nicht anderes als ihre Zeitlichkeit. Nichts an einer Menge von Zahlenquadrupeln deutet nämlich auf die Zeitlichkeit des durch sie Dargestellten hin, und ohne eine Konvention, dergemäß etwa die vierte Zahl als Zeitindex zu lesen ist, deutet nichts auf den Unterschied zwischen Raum und Zeit hin. Dass eine Menge von Zahlenquadrupeln an sich nichts Zeitliches darstellt, kann daran gesehen werden, dass man sie wieder in die Zeit abbilden muss, um sie als Repräsentation einer Geschehnisinstanz zu verstehen. Es verhält sich hier so wie mit einer Menge von Daten auf einer DVD, die ja an sich auch nicht im engeren Sinne zeitlich sind. Es sind nur Daten, die erst in ein Vorführgerät eingespeist werden müssen, um daraus wieder eine Geschehnisinstanz zu erzeugen. Was das Vorführgerät leistet, ist aber genau dieses: Es fügt die Zeit wieder hinzu, die im Laufe der Kodierung verloren gegangen war. Es muss zum Beispiel eine Konvention geben, die festlegt, in welchem Tempo und in welcher Reihenfolge die betreffenden Daten ausgelesen und in Bilder umgewandelt werden sollen. Ein Film wird aus den Daten erst dadurch, dass sie nach einem bestimmten Verfahren auf den Schirm gebracht werden. In diesem Sinne muss Zeit „addiert“ werden, um die Daten zu interpretieren.

Dasselbe gilt auch für Zahlenquadrupel im Allgemeinen. Kein solches Quadrupel stellt etwas Zeitliches dar, wenn es nicht mit einer realen Geschehnisinstanz verbunden wird, also mit dem, was in der Zeit geschieht, wenn die Zahlen ausgelesen und interpretiert werden. Die Zahlen selbst sind bloß ein Kondensat. Das bedeutet, dass es zwar nützlich sein mag, mit sol-

chen Zahlenquadrupeln zu hantieren, um Geschehnisinstanzen zu repräsentieren, dass man daraus aber nicht folgern sollte, dass Geschehnisinstanzen tatsächlich vierdimensionale Dinge *sind*.

Wenn Geschehnisinstanzen aber keine vierdimensionalen Dinge sind, macht es keinen Sinn zu sagen, dass sie in demselben Sinn vollständig präsent sind wie die Küste von Norwegen vollständig präsent ist. Geschehnisinstanzen sind vielmehr notwendig unabgeschlossen, solange sie geschehen.

7.6 Schluss

Es hat sich herausgestellt, dass Geschehnisinstanzen ihre Struktur und ihre Dauer nur kraft ihres Typs haben. Damit ist auch die Unterscheidung zwischen augenblicklichen und ausgedehnten Geschehnissen eigentlich eine Unterscheidung auf Typebene. Was geschieht, wenn ein Arzt ein Endoskop einführt, um eine Gastroskopie durchzuführen, ist zugleich ein augenblickliches, nichtausgedehntes Geschehnis, ein einfacher Teil eines komplexen Prozesses und ein komplexer Prozess. Je nachdem, in welcher seiner Eigenschaften man das anspricht, was jetzt gerade geschieht, ergeben sich verschiedene Fakten hinsichtlich seiner Struktur und Dauer. Es hat solche Merkmale nur kraft seines Typs. Die verschiedenen Typen, die es zugleich instantiiert, können in ein hierarchisches System gebracht werden.

Weiter hat sich gezeigt, dass gegenwärtige Geschehnisinstanzen notwendigerweise unabgeschlossen sind, da sie mit ihrer Beendigung zugleich aufhören zu existieren. Solange sie existieren, sind sie folglich noch nicht beendet. Vergangene Geschehnisinstanzen können nur in einem zweiten Schritt als solche Geschehnisse verstanden werden, die einmal gegenwärtig waren, sie sind nicht paradigmatisch. Das bedeutet, dass man aus der Tatsache, dass jede einzelne vergangene Geschehnisinstanz eine bestimmte interne Struktur und Dauer hatte, nicht schließen sollte, dass alle Geschehnisinstanzen ihre Struktur und Dauer im Prinzip einzeln und unabhängig von ihrem Typ haben.

Schließlich hat sich ergeben, dass Geschehnisinstanzen zwar anhand von Mengen von Zahlenquadrupeln nebst einem Verfahren zu deren Verzeitlichung repräsentiert werden können, dass daraus aber keinesfalls folgt, dass sie „eigentlich“ vierdimensionale Dinge sind. Geschehnisse unterscheiden sich dadurch von Dingen, dass sie zeitlich sind, und das bedeutet, dass sie notwendig unabgeschlossen sind, solange sie existieren.

Kapitel 8

Ontologische Relationen

ULF SCHWARZ UND BARRY SMITH

8.1 Was sind und was sollen formalontologische Relationen?

In Kapitel 5 wurde mit dem ontologischen Sextett eine Klassifizierung der Realität vorgestellt, die das klassische Aristotelische Viereck erweitert, indem sie Einzeldinge und Universalien in insgesamt sechs Kategorien umfasst. Zwischen den Entitäten dieser Kategorien sind ganz bestimmte Beziehungen postuliert worden, wie zum Beispiel Inhärenz, Partizipation, Instantiierung, Exemplifizierung und Charakterisierung. In diesem Kapitel soll der Frage nachgegangen werden, wie eben diese Beziehungen zwischen den Entitäten dieser Kategorien genauer charakterisiert und die sie bezeichnenden relationalen Ausdrücke eindeutig formal definiert werden können.

Diese Relationen sind echte formalontologische Relationen. Das heißt erstens, dass es *ontologische*, nicht rein logische Relationen sind. Einige Philosophen haben dahingehend argumentiert, dass sich Beziehungen dieser Art aus logischen Gründen ergeben, da doch im Anschluss an Frege und Boole Prädikate *prima facie* als das Allgemeine in der Wirklichkeit behandelt werden.¹⁴⁵ Da es aber jenseits der Aufgabe und des Vermögens der Logik ist, Aufschluss über die Beschaffenheit der Realität zu geben, muss es sich um ontologische, nicht um logische Relationen handeln.¹⁴⁶ Dass die zu untersuchenden Relationen formalontologische Beziehungen sind, heißt zweitens, dass sie *formale* Relationen sind: Sie sind nicht zusätzliche Bestandteile der Wirklichkeit, sondern sie sind dasjenige, was existierende Entitäten zu größeren Einheiten in der Realität verbindet.¹⁴⁷ Eine formalontologische Relation in diesem Sinn ist

¹⁴⁵ Vgl. z.B. Meixner 1992.

¹⁴⁶ Vgl. Smith 2005a.

¹⁴⁷ Vgl. Ceusters, Elkin und Smith 2006.

zum Beispiel die Teil-Ganzes-Beziehung, in der Arm, Bein, Kopf, etc. als Teile zu einer Einheit, einem Körper, verbunden sind. Es ist daher zum Erstellen einer Liste der wichtigen Relationen notwendig, die Wirklichkeit zu untersuchen und herauszufinden, welche Partikularien und Universalien es gibt und welche Beziehungen zwischen ihnen bestehen. Eine anschauliche Methode zum Erreichen dieses Zieles kann am besten entwickelt werden, indem wir die Ebene der *top level* Ontologie verlassen und uns auf die Ebene einer Bereichsontologie (*domain ontology*) begeben, die einen bestimmten Einzelbereich etwa der biologischen Wirklichkeit abbilden soll. Eine solche Beschränkung erlaubt es uns, am Beispiel eines klar abgesteckten Bereichs der Wissenschaft zu zeigen, welche Beziehungen zwischen Entitäten der biologischen Wirklichkeit bestehen und wie relationale Ausdrücke, die in biologischen Ontologien und Terminologie-Datenbanken (wie etwa kontrollierten Vokabularen) gebraucht werden, konsistent und eindeutig formal definiert werden können. Dazu müssen wir weitere Arten von Entitäten, wie Zeitpunkte oder räumliche Regionen (siehe dazu Kap. 6), explizit als existierend anerkennen. Diese kommen zwar im ontologischen Sextett nicht explizit vor, haben aber ihren festen Platz in der Biologie und sind damit auch für biologische Ontologien wichtig.

Die im ontologischen Sextett vorkommenden Relationen unterscheiden sich jeweils danach, ob die für sie charakteristischen Relata Universalien oder Einzeldinge sind. Wir können drei typische Fälle unterscheiden:

- $\langle \text{Universalie, Universalie} \rangle$: Beide Relata sind Universalien. Solcher Art sind zum Beispiel die Charakterisierungs-Relation oder die Subsumptions-Relation *is_a*, die zwischen der Universalie *Mensch* und der Universalie *Säugetier* besteht. Es gilt: *Mensch is_a Lebewesen*.
- $\langle \text{Instanz, Universalie} \rangle$: Das erste Relatum ist ein Einzelding, das zweite eine Universalie. Zu diesem Typ gehört zum Beispiel die Instantiierungs-Relation, die zwischen diesem bestimmten Mensch namens Peter und der Universalie *Mensch*, zwischen Peters Leben und der Universalie *Leben* besteht.
- $\langle \text{Instanz, Instanz} \rangle$: Beide Relata sind Einzeldinge. Dazu gehört etwa die Inhärenz oder die Partizipations-Relation, die zwischen Peters Leben und Peter besteht, oder auch – unabhängig vom ontologischen Sextett – die Teil-Ganzes-Relation auf der Ebene der Instanzen, die zwischen dieser

bestimmten Nase (Peters Nase) und diesem bestimmten Kopf (Peters Kopf) besteht.

Für das Folgende sollen zwei terminologische Konventionen vereinbart werden: Erstens werden wir, um eventuelle Mehrdeutigkeiten zu vermeiden, Ausdrücke für solche Relation *kursiv* setzen, die nur Universalien als Relata haben, und **fett** Ausdrücke für diejenigen Relationen, die unter ihren Relata mindestens ein Einzelding haben. Zweitens werden wir als Relationsausdrücke die im Bereich der angewandten Ontologie üblichen und bereits eingeführten Ausdrücke verwenden, die sich aus der englischen Sprache ableiten, wie *is_a* für die Subsumptions-Relation und **instance_of** für die Instantiierungs-Relation. Manche Relationen, wie die Partizipations-Relation und die Teil-Ganzes-Relation, kommen sowohl auf der Ebene der Instanzen als auch der Ebene der Universalien vor; wir haben es also sowohl mit **participates_in** und **part_of** zu tun als auch mit *participates_in* und *part_of*.

Die im ontologischen Sextett vorkommenden Relationen spielen auch in einer Ontologie der biologischen Wirklichkeit eine wichtige Rolle. Diejenigen Relationen, die Einzeldinge betreffen, also solche des zweiten und dritten Typs, werden im Folgenden verwendet, um Ausdrücke für Relationen auf der Ebene der Universalien zu definieren.¹⁴⁸ Diese sind es, die aus der Sicht der informationstechnischen Speicherung biomedizinischen Wissens im Mittelpunkt des Interesses stehen. Denn biologisches Wissen ist Wissen um Universalien: Nicht Fury und Black Beauty werden in Zoologiebüchern beschrieben, sondern die Art Pferd, nicht Einzeldinge mithin, sondern Universalien und deren Beziehungen zueinander.

Biologische Ontologien werden entwickelt, um als kontrollierte Vokabularen zu dienen, in denen wissenschaftliche Ergebnisse der biologischen Forschung ausgedrückt werden können. Sätze der Form „*A Relation B*“, wobei „*A*“ und „*B*“ Terme einer biologischen Ontologie sind und „*Relation*“ Platzhalter für *part_of* oder einen ähnlichen Ausdruck ist, drücken allgemeine Aussagen über die entsprechenden biologischen Universalien aus, für die diese

¹⁴⁸ Um unnötig komplizierte sprachliche Konstruktionen zu vermeiden, werden im Folgenden „Definition einer Relation“ und „Definition eines relationalen Ausdrucks“ synonym gebraucht und nur an solchen Stellen voneinander unterschieden, an denen Verwirrung droht.

Ausdrücke stehen. Welche Entitäten¹⁴⁹ als biologische Universalien gelten (und welche nicht), kann nicht so einfach beantwortet werden. Es kann jedoch zunächst darauf verwiesen werden, dass es solche Universalien sind, die durch die Verwendung der sie benennenden Ausdrücke in der biologischen Fachliteratur implizit anerkannt werden, wie *Zelle* oder *Fortpflanzung*. Feststellungen, die die Instanzen und Partikularien der biologischen Realität betreffen (zum Beispiel eine Aussage über das spezifische Gewicht dieses bestimmten Organismus in genau dieser Petrischale), sind zwar in der biologischen Forschung unverzichtbar, gehören aber nicht zu den allgemeinen Aussagen der biologischen Wissenschaften. Demnach verbinden Relationen in biologischen Ontologien Universalien miteinander. Die Ausdrücke, die in einer biologischen Ontologie Anwendung finden, benennen ausschließlich Universalien, also dasjenige, was in der Realität allgemeinen Charakter besitzt (siehe Kap. 5). Es lässt sich jedoch nicht definieren, was es heißt, dass eine Universalie in einer bestimmten Beziehung (zum Beispiel der Teil-Ganzes-Relation: *part_of*) zu einer anderen steht, ohne dabei auf die entsprechenden Instanzen der Universalien zurückzugreifen und explizit zu machen, in welchen Beziehungen diese zueinander stehen. So kann nur angegeben werden, was es bedeutet, dass *Retina part_of Auge* ist, wenn erkannt wird, dass dies eine Aussage darüber ist, dass alle Instanzen der Universalie *Retina* in einer *part_of*-Beziehung auf der Ebene der Instanzen zu einigen Instanzen der Universalie *Auge* stehen. Die Abhängigkeit der Relationen zwischen Universalien von Relationen zwischen ihren entsprechenden Instanzen bildet die Grundlage unserer Definitionen der relationalen Ausdrücke, welche die allgemeinen Termini (Namen von Universalien) miteinander verbinden. In allen zu erstellenden Definitionen muss klar zum Ausdruck kommen, dass sie nicht zufällige (kontingente), sondern gesetzmäßige Beziehungen und Verhältnisse zwischen biologischen Universalien wiedergeben.

Im Folgenden werden exemplarisch drei korrekte formale Definitionen der Klassenzugehörigkeits-Relation (*is_a*), der Teil-Ganzes-Relation (*part_of*) und der Partizipations-Relation (*has_participant*) zwischen Universalien vorgestellt

¹⁴⁹ Das Wort „Entität“ wird im Folgenden als universaler ontologischer Terminus verwendet, der alles einschließt, was in irgendeiner Weise existiert (alle Kontinuante, Prozesse, Funktionen, Strukturen, Orte, Zeiten etc., sowohl auf der Ebene der Instanzen als auch der Universalien).

und so gezeigt, wie formale Definitionen auch für andere ontologische Relationen zwischen Entitäten anderer Bereiche der Realität zu formulieren sind.¹⁵⁰

8.2 Formalontologische Relationen definieren: Chancen und Probleme

Mittels einer durchgängigen Verwendung formaler Definitionen und der damit verbundenen guten Charakterisierung formaler Relationen in Ontologien kann Interoperabilität zwischen verschiedenen Ontologien und die Unterstützung automatisierter Schlussfolgerungen gewährleistet werden. Denn die für die jeweiligen Fachbereiche entwickelten Terminologie-Systeme und die damit verbundenen Klassifizierungen müssen aufeinander abgestimmt sein, um einen gewinnbringenden Informationsaustausch zu ermöglichen. Ontologische Relationen müssen also in den verschiedenen Systemen kohärent behandelt werden, d.h. ein relationaler Ausdruck muss immer für ein und dieselbe Relation stehen, auch wenn er in verschiedenen Ontologien benutzt wird. Aber schon im Hinblick auf ontologische Grundrelationen, wie die Klassenzugehörigkeitsbeziehung und die Teil-Ganzes-Relation, ist offensichtlich, dass gleiche relationale Ausdrücke in verschiedenen Ontologien nicht notwendigerweise für äquivalente Beziehungen stehen. Diese Verwirrung geht sogar so weit, dass diese beiden Grundrelationen gar nicht voneinander unterschieden werden. So ist in der medizinischen Terminologiedatenbank UMLS (*Unified Medical Language System*) die Behauptung zulässig: *Pflanzenblätter is_a Pflanze*, im Standardsystem SNOMED eine Behauptung wie: *beide Uteri is_a Uterus*. Die hier vorgestellte Methode erlaubt es, relationale Ausdrücke zwischen allgemeinen Termini eindeutig formal zu definieren und so ihre Bedeutung präzise anzugeben.

In der gängigen Literatur zur Wissensrepräsentation¹⁵¹ werden leider oftmals Relationen zwischen Universalien als einfache Grundrelationen eingeführt, ohne weitere Spezifizierungen anzugeben. Ein solches Vorgehen lässt allerdings Wesentliches außer Acht: Es ist oftmals nicht trivial, für allgemeine

¹⁵⁰ Zum Erreichen dieses Zieles müssen alle in einer Ontologie angeführten relationalen Ausdrücke zwischen allgemeinen Termini formal definiert werden. Für eine umfassende Behandlung von biologischen Relationen vgl. Smith et al. 2005.

¹⁵¹ Vgl. Fellbaum 1998.

Termini festzustellen, ob eine bestimmte Relation zwischen den entsprechenden Universalien tatsächlich besteht. Weil es sowohl weibliche als auch männliche Menschen gibt, können wir wohl behaupten, dass *menschlicher Hoden part_of Mensch* (Teil-Ganzes-Beziehung) gilt, *Mensch has_part menschlicher Hoden* (Ganzes-Teil-Beziehung) aber nicht. Weil es Säugetiere mit Herzen gibt, die nicht menschlich sind, gilt *Mensch has_part Herz*, nicht aber *Herz part_of Mensch*. Aus entsprechenden Gründen gilt auch *Wachstum has_participant Mensch* (Partizipationsbeziehung) nicht. Die Zeitdimension kann ebenfalls Probleme bereiten. Es gilt wohl kaum *Erwachsener is_a Kind* (Klassenzugehörigkeits-Beziehung), weil jede Instanz der Universalie *Erwachsene* zu einem früheren Zeitpunkt einmal die Universalie *Kind* instantiiert hat.

Viele biologische Bereichsontologien enthalten leider relationale Ausdrücke für Beziehungen zwischen Universalien, die nur durch informelle Hinweise und lose formulierte Anweisungen für ihre richtige Verwendung eingeführt werden. Ohne formale Definitionen bleiben die logischen Verbindungen zwischen verschiedenen Relationen im Dunkeln und oftmals haben relationale Ausdrücke sogar innerhalb einer Ontologie verschiedene Interpretationen¹⁵², ganz davon zu schweigen, dass sie auch in verschiedenen Ontologien nicht mit einer konsistenten Bedeutung benutzt werden.¹⁵³

8.3 Arten von Relationen

Relationen in biologischen Ontologien müssen die folgenden vier Bedingungen erfüllen, damit die vorgeschlagene Methode auf sie anwendbar ist und sie in eine entsprechende Ontologie der biologischen Relationen aufgenommen werden können:

Erstens sind die Relationen, die in diesem Kapitel besprochen werden, echte ontologische Relationen. Es handelt sich dabei somit um Beziehungen, die zwischen Entitäten der Wirklichkeit bestehen und die unabhängig sind von unseren Verfahren oder Methoden, über sie Kenntnis zu erlangen. Zudem sind sie unabhängig von unseren Mitteln, sie zu repräsentieren oder über sie unser Wissen für Computer verarbeitbar zu machen. Das gilt keineswegs für

¹⁵² Vgl. Ceusters et al. 2004.

¹⁵³ Vgl. Smith, Köhler, Kumar 2004a.

alle Relationen. Beispielsweise verwendet das *Gene Ontology Annotation Project* die Relation:

„*A*“ *annotates* *B*

Sie wird verwendet, um identifizierte Gene oder Genprodukte in Verbindung zu setzen mit solchen Ausdrücken aus einer zum Indizieren von Genetik-Aufsätzen verwendeten Liste von Standard-Vokabeln (einem „kontrollierten Vokabular“), die diese Klassen von Genen oder Genprodukten benennen oder beschreiben.¹⁵⁴ Da diese Relation nicht eine Universalie zu einer anderen Universalie der Natur in Bezug setzt, sondern zu Ausdrücken in einem Vokabular, das die betroffene Wissenschaftsdisziplin selbst erzeugt hat, handelt es sich nicht um eine ontologische Beziehung (vgl. Kap. 2).

Zweitens sind hier nur solche Relationen von Interesse, die, zumindest im Prinzip, in allen biologischen Ontologien erscheinen könnten und nicht nur zwischen Entitäten sehr spezifischer Art bestehen. Ein Beispiel für eine sehr spezifische Relation wäre *A ist_Genom_von B*, die nur in einer Sequenz-Ontologie eine Bedeutung hätte.

Die Relationen müssen drittens ein hohes Maß an Allgemeingültigkeit aufweisen. Aussagen über das Bestehen von bestimmten Beziehungen zwischen Entitäten sollen entweder gesetzmäßige Aussagen sein oder sie sollen Aussagen sein, in denen eine analytische Beziehung zwischen Universalien zum Ausdruck kommt. Eine solche analytische Verbindung beruht auf der Zerlegbarkeit von Allgemeinausdrücken (Universalienamen) in Fällen wie *Hautzelle is_a Zelle* oder *Herzinfarkt has_participant Herz*.

Viertens soll es für jede Relation zwischen Universalien eine einfache formale Definition geben. Falls man sich nicht auf eine solche Definition einigen kann, so kann die Relation nicht in eine biologische Ontologie aufgenommen werden. Wir bestehen auf diesem Kriterium, weil wir Definitionen aufstellen wollen, die leicht verständlich sind und gleichzeitig auch logikbasierte Computerverfahren zum Schlussfolgern und zur Konsistenzprüfung unterstützen können.

Eine Relation, die dieses Kriterium nach heutigem Stand der biologischen Wissenschaft nicht erfüllt, ist die Beziehung der molekularen Funktion. Es ist

¹⁵⁴ Vgl. dazu: <http://www.geneontology.org/GO.annotation.shtml> (8.8.2006).

noch nicht gelungen, einfach verständliche, unumstrittene primitive Relationen anzugeben, mit deren Hilfe eine Definition der molekularen Funktion auf Universalienebene zu erstellen wäre. Die *Gene Ontology* enthält molekulare Funktionen. In ihr sind molekulare Funktionen ungefähr so etwas wie „Aktivitäten“ auf Molekülebene; als Beispiele werden unter anderem katalytische Aktivitäten oder Verknüpfungsaktivitäten angeführt. Es besteht aber wenig Einigkeit darüber, was genau die Träger dieser Aktivitäten sind und wie sich Aktivitäten von Aktionen oder Ereignissen ontologisch unterscheiden.¹⁵⁵

Wie bereits angesprochen, sollen in einer biologischen Ontologie nur solche Relationen repräsentiert werden, die die Form $\langle \text{Universalie}, \text{Universalie} \rangle$ haben. Zum Erstellen formaler Definitionen dieser Relationen wird es aber notwendig sein, auf Relationen zurückzugreifen, die von der Form $\langle \text{Instanz}, \text{Instanz} \rangle$ oder $\langle \text{Instanz}, \text{Universalie} \rangle$ sind. Denn Relationen des Typs $\langle \text{Universalie}, \text{Universalie} \rangle$ sind Beziehungen, die nur aufgrund bestimmter Beziehungen der Art $\langle \text{Instanz}, \text{Instanz} \rangle$ oder $\langle \text{Instanz}, \text{Universalie} \rangle$ zwischen ihren Instanzen oder einer Universalie und ihren Instanzen bestehen. Eine solche Charakterisierung der Beziehungen zwischen Universalien ist in der aristotelischen Interpretation des Universalienbegriffs verankert, nach der Universalien nur in ihren Instanzen existieren (vgl. Kap. 6).

8.4 Arten von Relata und Beschränkungen der Anwendung relationaler Ausdrücke

Bevor wir beginnen können, einige grundlegende relationale Ausdrücke in einer biologischen Ontologie zu definieren, müssen wir angeben, welche Ausdrücke benutzt werden sollen, um die Entitäten zu benennen, die als Relata in bestimmten Relationen zueinander stehen. Dabei müssen wir sowohl Instanzen als auch Universalien mit geeigneten Mitteln anführen können. Wir werden uns dabei der Werkzeuge der Logik bedienen und dazu Variablen und Quantoren verwenden.¹⁵⁶ Es sollen unterschiedliche Sorten von Variablen als Platzhalter für Instanzen und Universalien von Kontinuanten und Prozessen sowie für Zeitpunkte verwendet werden:

¹⁵⁵ Für erste Versuche, Licht in dieses Dunkel zu bringen, vgl. Schulz und Jansen 2006.

¹⁵⁶ Vgl. z.B. Kutschera 1992.

- C, C_1, \dots stehen für Universalien von Kontinuanten;
- P, P_1, \dots stehen für Universalien von Prozessen;
- c, c_1, \dots stehen für Instanzen von Kontinuanten;
- p, p_1, \dots stehen für Instanzen von Prozessen;
- t, t_1, \dots stehen für Zeitpunkte.

Kontinuanten und Prozesse sind Kategorien, die sich gegenseitig ausschließen (siehe Kap. 5). Kontinuanten können materielle Entitäten sein, wie eine Zelle oder ein Mensch, aber auch immaterielle, wie ein Loch oder ein Kanal (vgl. Kap. 6). Immaterielle Kontinuanten haben einiges gemeinsam mit räumlichen Regionen¹⁵⁷, sind jedoch von ihnen im Hinblick darauf verschieden, dass sie immaterielle Teile von Organismen sind. Genau wie materielle Kontinuanten bewegen sie sich mit der Bewegung ihrer Träger von einer räumlichen Region zu einer anderen.

Die Biologie befasst sich hauptsächlich mit dreidimensionalen Kontinuanten, die ein oberes und ein unteres Ende, ein Innen und ein Außen sowie eine Vorder- und Rückseite haben. Prozesse hingegen haben einen Anfang, eine Mitte und ein Ende. Im Gegensatz zu Kontinuanten können Prozesse entlang der Zeitachse unterteilt werden, sodass zum Beispiel ihre Jugend und ihr Erwachsensein zeitliche Teile des Prozesses sind, der ihr Leben ist.

Es handelt sich hier also um zwei unterschiedliche, komplementäre Sichtweisen auf dieselbe Realität, wobei eine raumorientiert, die andere zeitorientiert ist. Es gibt bestimmte logische und ontologische Beziehungen zwischen diesen Sichtweisen, die wir in unserer Behandlung der Relationen durch die Bezugnahme auf räumliche Regionen und auf Zeitpunkte explizit machen. Allerdings folgen daraus je nach Relation auch eindeutige Beschränkungen der Relata. So ist es beispielsweise falsch, eine relationale Aussage der Form $P \text{ is_a } C$ zu bilden, weil die Klassenzugehörigkeitsrelation keine Entitäten aus inkompatiblen Kategorien verbinden kann. Im Gegensatz dazu erfordert die *has_participant* Relation, dass die erstgenannte Entität eine Prozess-Universalie ist und die zweitgenannte eine Kontinuanten-Universalie, sodass diese Relation so etwas wie eine Brücke zwischen den beiden Sichtweisen auf die Realität darstellt.

¹⁵⁷ Vgl. Casati und Varzi 1994.

Die Verortung der Relata im ontologischen Sextett legt zugleich Beschränkungen fest, welche Arten von Relationen zwischen welchen Relata bestehen können. Eine Instantiierungs-Relation kann nur zwischen einem Einzelding und einer Universalie bestehen, eine Partizipations-Relation nur zwischen einem Kontinuant und einem Prozess etc. Daher werden wir im Folgenden eine Unterscheidung in zwei Arten von Beziehungen auf der Ebene der Instanzen treffen: Es gibt Relationen zwischen Kontinuanten, deren Repräsentation einen Bezug auf Zeitpunkte enthalten muss, und es gibt Relationen zwischen Prozessen, bei deren Repräsentation dies nicht erforderlich ist. Da Prozesse sich in der Zeit ereignen, tragen sie den zeitlichen Aspekt bereits in sich.

8.5 Primitive Relationen auf der Ebene der Instanzen

Um nun die Klassenzugehörigkeits-, Teil-Ganzes- und Partizipations-Relation auf der Ebene der Universalien definieren zu können, müssen zunächst diejenigen Relationen angegeben werden, die wir als nicht weiter definierbar und damit als primitiv ansehen wollen. Ansonsten droht entweder ein unendlicher Regress, wenn wir immer neue Vokabeln zur Definition der bisher vorhandenen einführen, oder eine zirkuläre Struktur, wenn wir einen Ausdruck mit Hilfe von Ausdrücken definieren, in deren Definition er bereits vorkommt. Die primitiven Relationen sollten evident, selbsterklärend und neutral in Bezug zu den Wirklichkeitsbereichen (*domains*) der Einzeldisziplinen sein, sodass sie nicht nur innerhalb einzelner Bereiche der Biologie Anwendung finden können. Die Entitäten in spezifischen biologischen Ontologien stehen in Beziehungen zueinander, die auch in anderen Bereichen der Biologie oder der Wirklichkeit zwischen Entitäten bestehen können. Bis auf die Instantiierungsbeziehung (**instance_of**), die zwischen einer Instanz und einer Universalie besteht, sind alle primitiven Relationen Beziehungen zwischen Instanzen von Universalien, die wir dann benutzen können, um die Beziehungen zwischen den Universalien selbst zu definieren.

Wir wählen die folgenden Relationen als primitiv:

- c **instance_of** C at t – eine primitive Relation zwischen einer Kontinuanten-Instanz und einer Universalie, die sie zu einem bestimmten Zeitpunkt instantiiert. Diese Relation entspricht der Instantiierungsbeziehung im ontologischen Sextett, die zwischen einem substantiellen Einzelding und einer substantiellen Universalie besteht.

- p **instance_of** P – eine primitive Relation zwischen einer Prozess-Instanz und einer Universalie, die sie instantiiert, unabhängig von der Zeit. Diese Relation entspricht der Instantiierungsbeziehung im ontologischen Sextett, die zwischen einem individuellen Prozess und einer Prozess-Universalie besteht.
- c **part_of** c_1 **at** t – eine primitive Teil-Ganzes-Relation zwischen zwei Kontinuanten-Instanzen und einem Zeitpunkt, zu dem die eine Kontinuanten-Instanz ein Teil der anderen ist.
- p **part_of** p_1 – eine primitive Teil-Ganzes-Relation, die, unabhängig von der Zeit, zwischen Prozess-Instanzen besteht (wobei einer ein Teilprozess des anderen ist).
- p **has_participant** c **at** t – eine primitive Relation der Partizipation zwischen einem Prozess, einem Kontinuanten und einem Zeitpunkt. Dies ist die inverse Relation zur Partizipationsbeziehung im ontologischen Sextett, die zu einer bestimmten Zeit zwischen einem substantiellen Einzelding und einem individuellen Prozess besteht.

Für einen menschlichen Leser sind diese Relationen relativ leicht verständlich. Um sie allerdings in Computeranwendungen benutzen zu können, muss die Bedeutung der relationalen Ausdrücke formal durch Axiome charakterisiert werden. Die Arbeit an diesen Axiomen ist noch nicht abgeschlossen, es lassen sich aber schon einige wichtige nennen.

Für die Relation **instance_of** zum Beispiel gelten folgende Axiome:

- Die Relation **instance_of** bezieht sich immer auf eine Instanz und eine Universalie, in dieser Reihenfolge.
- Keine Entität kann zugleich Instanz und Universalie sein.

Für die Relation **part_of** gelten folgende Axiome:¹⁵⁸

- Die Relation **part_of** ist irreflexiv: Keine Entität ist ein Teil von sich selbst.
- Sie ist asymmetrisch: Wenn x in der **part_of**-Relation zu y steht, dann steht y nicht in der **part_of**-Relation zu x .

¹⁵⁸ Vgl. ausführlicher Simons 1987.

- Sie ist transitiv: Wenn x zu y und y zu z jeweils in der **part_of**-Relation stehen, dann steht x in der **part_of**-Relation zu z .
- Es gilt ein Summierungsprinzip, das die Existenz mereologischer Summen oder Ganzheiten garantiert.
- Es gilt ein Differenzierungsprinzip: Wenn x in der **part_of**-Relation zu y steht, dann existiert ein weiterer Teil z von y , der mit x keine gemeinsamen Teile hat.

Bei der Anwendung dieser Axiome auf Teil-Ganzes-Beziehungen zwischen Kontinuanten müssen diese so modifiziert werden, dass sie zeitliche Indizes enthalten.

8.6 Formale Definitionen der Relationen auf der Ebene der Universalien

Jetzt steht das Instrumentarium zur Verfügung, mit dem wir uns an die Definition relationaler Ausdrücke machen können, die Relationen zwischen Universalien bezeichnen.

8.6.1 Die Definition der Klassenzugehörigkeits-Relation

Die *is_a*-Relation kann mit der Beziehung der Klassenzugehörigkeit identifiziert werden, die aus der mathematischen Mengentheorie bekannt ist. Die Relation **instance_of** kann nach dieser Auslegung auch als Entsprechung zur mengentheoretischen Beziehung der Klassenmitgliedschaft angesehen werden. Dann wäre eine Definition von $A \text{ is_a } B$ in folgender Art und Weise denkbar:

$A \text{ is_a } B =_{\text{def}}$ Für alle x gilt: wenn x **instance_of** A , dann x **instance_of** B .

Leider kann diese Auslegung höchstens eine notwendige Bedingung für die Wahrheit von $A \text{ is_a } B$ liefern. Zwei Argumente sprechen dagegen, dass es sich hierbei auch um eine hinreichende Bedingung handelt:

(1) Diese Auslegung erlaubt Fälle, in denen die Klassenzugehörigkeit nur kontingent ist, wie zum Beispiel:

Zellkern in 10 ml-Reagenzglas is_a Zellkern.

(2) In dieser Auslegung findet der zeitliche Aspekt keine Berücksichtigung. Das führt dazu, dass falsche Resultate erzeugt werden, wenn man sie auf Kontinuanten-Universalien anwendet, wie zum Beispiel:

Erwachsener is_a Kind.

Diese Beziehung besteht nicht, obwohl jede Instanz von *Erwachsener* zu einem Zeitpunkt auch Instanz von *Kind* war.

Wir können das Argument (1) entschärfen, indem wir darauf verweisen, dass wir nur solche Beziehungen als *is_a*-Beziehungen erlauben wollen (vgl. Kap. 8.6), die in Form von Aussagen ausgedrückt werden, die Wahrheiten der biologischen Wissenschaft sind. Das sind Aussagen, die Namen von echten biologischen Universalien (wie „Enzym“ oder „Zelle“) enthalten und keine kommerziellen oder indexikalischen Termini (wie „Zellkern in diesem Reagenzglas“).

Argument (2) kann entkräftet werden, indem der zeitliche Aspekt in *is_a*-Relationen zwischen Kontinuanten-Universalien berücksichtigt wird. Kontinuanten können im Laufe ihrer Existenz, im Gegensatz zu Prozessen, verschiedene Universalien instantiieren und dabei ihre Identität bewahren. Wir müssen daher zwei Arten von *is_a*-Relationen unterscheiden: Die *is_a*-Relation zwischen Kontinuanten enthält einen zeitlichen Index, die *is_a*-Relation zwischen Prozessen ist zeitunabhängig. (Kap. 9 wird dafür argumentieren, dass es eine noch weit größere Vielfalt von *is_a*-Relationen gibt, die an dieser Stelle aber noch nicht relevant ist.) Wir definieren also:

- i. $C \text{ is_a } C_1 \quad =_{\text{def}} \quad \text{Für alle } c, t, \text{ wenn } c \text{ **instance_of** } C \text{ at } t, \\ \text{dann } c \text{ **instance_of** } C_1 \text{ at } t.$
- ii. $P \text{ is_a } P_1 \quad =_{\text{def}} \quad \text{Für alle } p, \text{ wenn } p \text{ **instance_of** } P, \\ \text{dann } p \text{ **instance_of** } P_1.$

8.6.2 Die Definition der Teil-Ganzen-Relation

Auch bei der Teil-Ganzen-Beziehung auf der Ebene der Universalien müssen zwei Arten von *part_of*-Relationen unterschieden werden, je nachdem, ob sie zwischen Kontinuanten oder Prozessen besteht. Für Kontinuanten gilt: $C \text{ part_of } C_1$ genau dann, wenn jede Instanz von C zu jedem Zeitpunkt in der **part_of**-Relation (auf der Ebene der Instanzen) zu einigen Instanzen von C_1 zu diesem Zeitpunkt steht. So zum Beispiel: *Zellkern part_of Zelle*. Wir definieren also:

- i. $C \text{ part_of } C_1 \quad =_{\text{def}} \quad \text{Für alle } c, t, \text{ wenn } c \text{ **instance_of** } C \text{ at } t, \\ \text{dann gibt es ein } c_1, \text{ sodass gilt:} \\ c_1 \text{ **instance_of** } C_1 \text{ at } t \text{ und } c \text{ **part_of** } c_1 \text{ at } t.$

$C \text{ part_of } C_1$ besagt, dass Instanzen von C , wann immer sie existieren, als Teile von Instanzen von C_1 existieren. Analog dazu gilt für Prozesse: $P \text{ part_of } P_1$ genau dann, wenn auf der Ebene der Instanzen jede Instanz von P in der Relation **part_of** zu mindestens einer Instanz von P_1 steht. So zum Beispiel: *Jugend part_of Leben*. Wir definieren also:

- ii. $P \text{ part_of } P_1 =_{\text{def}}$ Für alle p , wenn p **instance_of** P ,
dann gibt es ein p_1 , sodass gilt:
 p_1 **instance_of** P_1 und p **part_of** p_1 .

$P \text{ part_of } P_1$ besagt, dass Instanzen von P immer als Teile von Instanzen von P_1 existieren.

Die hier verwendeten Definitionen (bzw. ihr jeweiliges Definiens) haben eine gemeinsame logische Struktur: Sie bestehen beide aus einer Allaussage und einer Existenzaussage, die in einer Implikationsbeziehung zueinander stehen. Eine Allaussage ist eine Aussage, die einen Allquantor enthält („für alle x gilt, dass ...“), und eine Existenzaussage ist eine Aussage, die den Existenzquantor enthält („es gibt mindestens ein y , für das gilt ...“). Dass sie in einer Implikationsbeziehung zueinander stehen heißt, dass sie durch eine „wenn ..., dann ...“-Struktur miteinander verbunden sind. Diese logische Form nennt man „Alle-Einige-Struktur“ (*all-some-structure*). Sie ist verantwortlich für bestimmte logische Eigenschaften, in denen Aussagen über Teil-Ganzes-Beziehungen zwischen Universalien zueinander stehen. So kann aus *menschliche Gebärmutter part_of Mensch* nicht gefolgert werden, dass *Mensch* als Teil *menschliche Gebärmutter* hat. Denn während alle Instanzen von *menschliche Gebärmutter* zu einem bestimmten Zeitpunkt Teil von einigen Instanzen von *Mensch* sind, müssen zu diesem Zeitpunkt nicht alle Instanzen von *Mensch* auch Instanzen von *menschliche Gebärmutter* als Teile haben.

8.6.3 Die Definition der Partizipations-Relation

Die primitive **has_participant** Relation auf der Ebene der Instanzen besteht zwischen einem Prozess, einem Kontinuanten und einem Zeitpunkt, zu dem der Kontinuant auf irgendeine Art und Weise an dem Prozesse beteiligt ist. Diese Beziehung besteht zum Beispiel, wenn an diesem bestimmten Prozess eines Zelltransportes diese bestimmte Zelle zu diesem bestimmten Zeitpunkt beteiligt ist. Zur Definition der **has_participant** Beziehung auf der Ebene der Universalien verfahren wir analog zu oben. Wir definieren also:

$P \text{ has_participant } C =_{\text{def}}$ Für alle p gilt: wenn p **instance_of** P ,
dann gibt es ein c und ein t , sodass gilt:
 c_1 **instance_of** C_1 und p **has_participant** c at t .

Auch hier ist anzumerken, dass $P \text{ has_participant } C$ lediglich besagt, dass Instanzen von P Instanzen von C als Träger oder Beteiligte benötigen. Aufgrund der Alle-Einige-Struktur der Definition von has_participant kann daraus aber nicht gefolgert werden, dass Instanzen von C immer an Prozessen einer bestimmten Art beteiligt seien. So folgt aus *menschliches Fortpflanzungsverhalten has_participant Mensch* keineswegs, dass alle Menschen an menschlichem Fortpflanzungsverhalten teilnehmen.

8.7 Logik der Relationen

Die inverse Relation („Umkehrrelation“) R^{-1} zu einer zweistelligen Relation R ist definiert als die Relation, die zwischen einem Paar von Relata genau dann besteht, wenn die ursprüngliche Relation R zwischen denselben Relata in umgekehrter Reihenfolge besteht. Zu den von uns diskutierten primitiven Relationen auf der Ebene der Instanzen können leicht inverse Gegenstücke definiert werden. Auch die Definition der inversen Relation zu is_a ist trivial:

$A \text{ has_subclass } B =_{\text{def}} B \text{ is_a } A.$

Allerdings bringt die has_subclass -Relation keinen Gewinn hinsichtlich der Ausdrucksfähigkeit der Ontologie mit sich: Jede Information, die sich mit Hilfe von has_subclass ausdrücken lässt, konnte zuvor schon mit is_a ausgedrückt werden. Ähnlich uninformativ sind die inversen Relationen zu den übrigen Relationen auf der Ebene der Universalien, deren Definition eine Alle-Einige-Struktur hat. Deren inverse Relationen haben zudem selbst keine Alle-Einige-Struktur mehr: Obwohl auf der Ebene der Instanzen „ x **part_of** y “ genau dann wahr ist, wenn die mittels der inversen Relation formulierte Aussage „ y **has_part** x “ wahr ist, gilt analoges auf der Ebene der Universalien nicht: So ist beispielsweise die relationale Aussage *menschliche Hoden part_of Mensch* wahr, denn jede Instanz von *menschlicher Hoden* ist Teil einer Instanz der Universalie *Mensch*, aber es gibt keine entsprechende Relation mit Alle-Einige-Struktur, die jede Instanz von *Mensch* mit mindestens einer Instanz von *menschlicher Hoden* als Teile von ihnen verbindet. Das ist nicht etwa als Defizit unserer Definitionen der Relationen anzusehen, sondern spiegelt lediglich die Be-

schaffenheit der Realität wider: Nicht alle Instanzen der Universalie *Mensch* haben eine Instanz der Universalie *menschliche Hoden* als Teil.

Trotzdem ist eine *has_part*-Relation auf Universalien-Ebene sehr erwünscht, denn mit ihr könnten Sachverhalte wie *Mensch has_part Herz* oder *Zelle has_part Zellkern* ausgedrückt werden. Diese Relationen auf Universalien-Ebene, die zwar keine inversen Relationen sind, aber mit Hilfe derselben Relationen auf der Instanzen-Ebene in einer Alle-Einige-Struktur definiert werden, wie ihre Gegenstücke, wollen wir „reziproke Relationen“ nennen. Für die zwei *part_of*-Relationen ergeben sich zum Beispiel die Definitionen der entsprechenden reziproken Relationen so:

$C \text{ has_part } C_1 \quad =_{\text{def}} \quad \text{Für alle } c \text{ und } t \text{ gilt: wenn } c \text{ instance_of } C \text{ at } t,$
 dann gibt es ein c_1 , sodass gilt:
 $c_1 \text{ instance_of } C_1 \text{ at } t \text{ und } c_1 \text{ part_of } c \text{ at } t.$

$P \text{ has_part } P_1 \quad =_{\text{def}} \quad \text{Für alle } p \text{ gilt: wenn } p \text{ instance_of } P,$
 dann gibt es ein p_1 , sodass gilt:
 $p_1 \text{ instance_of } P_1 \text{ und } p_1 \text{ part_of } p$

Da es sich dabei nicht um inverse sondern nur um reziproke Relationen handelt, kann aus $A \text{ part_of } B$ nicht auf $B \text{ has_part } A$ geschlossen werden. Genauso wenig kann von $A \text{ has_part } B$ auf $B \text{ part_of } A$ gefolgert werden. Aus der wahren Aussage *menschliche Hoden part_of Mensch* folgt nicht, dass *Mensch has_part menschliche Hoden* gilt, und aus *Zellwand part_of Zelle* folgt nicht, dass *Zelle has_part Zellwand* gilt. Dass es sich hier nicht um Paare von inversen Relationen handelt, sondern um Paare von reziproken Relationen, bringt zwar diese Einschränkung der Folgerungsmöglichkeiten mit sich, aber zugleich auch einen Zugewinn an Ausdruckskraft. Denn, wie hinsichtlich von *is_a* und *has_subclass* bereits erwähnt, lässt sich alles, was mit einer inversen Relation ausgedrückt werden kann, auch mit der ursprünglichen Relation zum Ausdruck bringen. Eine reziproke Relation bringt hingegen ein Plus an Ausdruckskraft mit sich, das es ermöglicht, Beziehungen zwischen Universalien auszudrücken, die mit der ursprünglichen Relation nicht formulierbar waren.

Die Eigenschaften der definierten Relationen auf der Ebene der Universalie im Hinblick auf Transitivität, Reflexivität und Symmetrie der Relationen sind in der Tabelle in Abbildung 8.1 zusammengestellt.

Abb. 8.1: Logische Eigenschaften einiger formaler Relationen

| Relation | transitiv | symmetrisch | reflexiv | antisymmetrisch |
|------------------------|-----------|-------------|----------|-----------------|
| <i>is_a</i> | + | – | + | + |
| <i>part_of</i> | + | – | + | + |
| <i>has_participant</i> | – | – | – | – |

8.8 Ausblick

Durch die klaren formalen Definitionen der relationalen Ausdrücke gelingt es, ihre Bedeutung klar anzugeben. So wird eindeutig, für welche Beziehung zum Beispiel ein relationaler Ausdruck wie *is_a* steht, und zwar in einer Form, die nicht nur Beschränkungen, was die möglichen Relata betrifft, sondern auch logische Eigenschaften der Beziehungen zwischen Universalien innerhalb einer Ontologie explizit macht. Die Methode, die wir zum Erstellen der Definitionen verwenden, ist für alle Spezialdisziplinen der Biologie und damit für alle biologischen Bereichsontologien geeignet und auch auf andere Gebiete der Wissenschaft übertragbar. Unsere Definitionen sind so angelegt, dass sie eine einheitliche Behandlung der entsprechenden relationalen Ausdrücke in allen biologischen Ontologien erlauben. Auf diese Weise wollen wir einen Beitrag dazu leisten, die Interoperabilität unter verschiedenen Ontologien zu fördern, auch wenn diese zu völlig verschiedenen Zwecken und von unterschiedlichen wissenschaftlichen Disziplinen entwickelt werden. Unsere Methode zum Erstellen der Definitionen gewährleistet auch, dass die Anwendung automatisierter Schlussfolgerungsmechanismen zur Informationsgewinnung aus Ontologien mit definierten Relationen möglich wird. Dazu muss allerdings noch einige Arbeit geleistet werden, was die Axiomatisierung der primitiven Relationen betrifft.

Letztlich ist es die Aufgabe der Einzelwissenschaften, festzulegen, welche Relationen in ihrem Bereich als primitiv anzusehen sind und wie aus ihnen Definitionen der relationalen Ausdrücke zwischen allgemeinen Termini ihres Fachbereiches zu erstellen sind. Für biomedizinische Ontologien sind über die hier diskutierten Relationen hinaus bereits formale Definitionen für zehn relationale Ausdrücke vorgeschlagen worden, die in der Biologie und Medizin häufig Anwendung finden, darunter

- die räumlichen Relationen *located_in*, *contained_in* und *adjacent_to* zwischen Kontinuanten,
- die Relationen *derives_from* und *transformation_of* zwischen Kontinuanten und
- die Relationen *preceded_by* für Prozesse und *has_agent* für Prozesse und Kontinuanten.

An der Definition weiterer formaler Definitionen wird intensiv gearbeitet. Zu den Desiderata der biomedizinischen Ontologie gehört es, Definitionen von Relationen wie die Folgenden formal zu definieren:¹⁵⁹

- *A lacks B* (*A fehlt B*)
- *A connected_to B* (*A verbunden_mit B*)
- *A realized_by B* (*A realisiert_durch B*)
- *A function_of B* (*A Funktion_von B*)
- *A has_enabler B* (*A ermöglicht_durch B*)
- *A has_result B* (*A hat_Ergebnis B*)

Obwohl je nach dem darzustellenden Gegenstandsbereich einige andere primitive Relationen zwischen Instanzen von Bedeutung sein werden, so werden doch die primitiven Grundrelationen zwischen Entitäten des ontologischen Sextetts immer eine zentrale Rolle spielen, weil sie die grundlegenden Beziehungen zwischen Entitäten der Realität in ihrer allgemeinsten Form darstellen. Auch wenn wir uns hier mit einigen Relationen und Anwendungen beschäftigt haben, die für die Biologie und Medizin wichtig sind, kann die von uns angewandte Methode der Definition auch zum Erstellen von formalen Definitionen der relationalen Ausdrücke für andere Gegenstandsbereiche der Wissenschaften verwendet werden.

¹⁵⁹ Für Vorschläge zur Formalisierung weiterer Relationen vgl. Smith und Grenon 2004 und Schulz und Hahn 2007.

Kapitel 9

Subsumptionsarten, Spezifikation und Spezialisierung

INGVAR JOHANSSON

9.1 Einleitung

In vielen Gebieten der Informationswissenschaften, beispielsweise in der schon in Kap. 2 erwähnten Beschreibungslogik (*Description Logic*, DL) und in einigen objektorientierten Programmiersprachen, spielt die so genannte *is_a*-Relation eine wichtige Rolle. Im Folgenden wird gezeigt, dass es sowohl inhaltliche als auch formale Gründe dafür gibt, zwischen vier Arten von *is_a*-Relationen zu unterscheiden: Subsumption unter ein Genus, Subsumption unter eine determinable Eigenschaft, Spezifikation und Spezialisierung. (Die Relationen *part_of* und **instance_of** sind keine *is_a*-Relationen, wenngleich in der natürlichen Sprache so etwas wie „Es *ist ein* Teil des Spiels.“ oder „Er *ist ein* Schwede.“ gesagt werden kann.)¹⁶⁰

Genus-Subsumption ist der traditionelle Weg, klassifikatorische Bäume natürlicher Arten zu konstruieren; insbesondere die berühmten Taxonomien der Pflanzen und Tiere in der Biologie bedienen sich dieses Mittels. Sie wird jedoch auch für eher anwendungsorientierte Taxonomien von Dingen wie Bürgern, Patienten, Möbeln, Kleidungsstücken oder Fahrzeugen verwendet. Auf der sprachlichen Ebene entsprechen dem in der Regel Beziehungen zwischen Substantiven. Die Determinablen-Subsumption hingegen hat es nicht mit natürlichen Arten zu tun, sondern mit Qualitäten, mit Eigenschaften unterschiedlicher Allgemeinheit; beispielsweise ist Purpur als determinate Eigenschaft unter die determinable Eigenschaft Rot subsumiert. In solchen Fällen finden wir auf der sprachlichen Ebene entsprechende Beziehungen zwischen Adjektiven. Obwohl heutzutage in den Informations- und Computerwissenschaften die beiden Formulierungen „*A ist eine Spezifikation (specification) von*

¹⁶⁰ Vgl. Taivalsaari 1996; Smith und Rosse 2004; Smith et al. 2005.

B “ und „ A ist eine Spezialisierung (*specialization*) von B “ meist als Synonyme von „ A *is_a* B “ verwendet werden, werden den Ausdrücken „Spezifikation“ und „Spezialisierung“ im Folgenden eingeschränktere Bedeutungen zugewiesen. Obwohl diese Ausdrücke auch hier als *Termini technici* verwendet werden, werden die hier intendierten eingeschränkteren Bedeutungen der vor-technischen Bedeutung der Ausdrücke stärker ähneln als die in der Informationswissenschaft verbreitete Verwendungsweise. Während Subsumptionen sich typischerweise auf natürliche Arten und Qualitäten beziehen, beziehen sich Spezifikationen und Spezialisierungen typischerweise auf Aktivitäten und Prozesse. Prototypische Spezifikationen ergeben sich auf der sprachlichen Ebene, indem man ein Verb durch ein Adverb ergänzt: „Sorgfältig anstreichen“ ist eine Spezifikation von „anstreichen“. Analog ergeben sich Spezialisierungen auf der sprachlichen Ebene in erster Linie durch Kombinationen aus einem Objekt oder einer adverbialen Ergänzung und einem (meist transitiven) Verb oder dessen Substantivierung: „einen Tisch anstreichen“ und „im Sommer anstreichen“ sind etwa Spezialisierungen von „anstreichen“. Wenn Verben substantiviert werden, können natürlich auch Substantive und Adjektive dazu verwendet werden, eine Spezifikation oder eine Spezialisierung zum Ausdruck zu bringen (vgl. Abbildung 9.1).

Die *is_a*-Relation kann als Relata je nach Interpretation Begriffe, Ausdrücke für Begriffe, Universalien oder natürliche Klassen haben (wie sie in Kap. 5 eingeführt worden sind). Unglücklicherweise werden heutzutage die Ausdrücke „Menge“ und „Klasse“ (*set* und *class*) oft als Synonyme verwendet. Hier jedoch werden sie wie in Kapitel 5 vorgeschlagen verwendet, um Unterschiedliches zu bezeichnen. Um die wichtigsten Punkte noch einmal zusammenzufassen:

- Semantisch gesehen kann keine Klasse, im Unterschied zu vielen Mengen, allein durch das Aufzählen raumzeitlicher Einzeldinge definiert werden.
- Ontologisch gesehen kann es nur eine leere Menge, aber viele leere Klassen geben.
- Zeitlich-ontologisch gesehen ist, auch wenn sowohl Klassen als auch Mengen zeitlose Entitäten sind, die Existenz einiger Mengen von der Existenz bestimmter zeitlich lokalisierter Einzeldinge abhängig.

Eine Klasse ist eine Ansammlung von Entitäten, die (i) ein allgemeines, sprach-unabhängiges Merkmal (eine Universalie oder einen Typ) gemeinsam haben, oder die (ii) durch eine Kombination von natürlichen sprach-unabhängigen Universalien mit einer künstlich geschaffenen Grenze abge-

grenzt werden. Im letzteren Fall kann von „teilweisen Fiat-Klassen“ gesprochen werden, wie etwa bei der Klasse von roten Instanzen, die, obwohl sie Instanzen vieler verschiedener sich ähnelnder Farbton-Universalien umfasst, dennoch konventionell von den Klassen der orangen oder grünen Instanzen abgetrennt ist.

Es gibt Klassen von Aktivitäten und Prozessen genauso, wie es Klassen von Objekten und Qualitätsinstanzen gibt. In Abbildung 9.1 sind einige formale *is_a*-Ausdrücke ihren natürlichsprachlichen Entsprechungen gegenübergestellt. In all diesen Ausdrücken sind die Verben substantiviert worden.

Die Beispiele in dieser Tabelle lassen sich sowohl mit Blick auf eine *realistische Redeweise* als auch mit Blick auf eine *konzeptualistische Redeweise* interpretieren: Wenn der „Mann auf der Straße“ oder ein Naturwissenschaftler so etwas wie „Eine Katze ist ein Säugetier“ oder „Alle Katzen sind Säugetiere“ behaupten, dann sprechen sie über etwas, dessen von ihnen unabhängige Existenz sie als gegeben annehmen. Aber wenn ein Informationswissenschaftler „*Katze is_a Säugetier*“ sagt (oder vielmehr schreibt), meint er oft, nur über Begriffe zu reden. Der Mann auf der Straße verwendet die realistische Redeweise, der Informationswissenschaftler die konzeptualistische Redeweise. Während man von Ersterem sagen könnte, er schaue „*durch* die Begriffe (und auf die Welt)“, könnte man von Letzterem sagen, er schaue „*nur auf* Begriffe“. ¹⁶¹ Im Alltag wechseln Menschen von der realistischen zur konzeptualistischen Redeweise, wenn sie Wörterbücher lesen und Ausdrücke von einer Sprache in eine andere übersetzen. Die Behauptungen „Das englische Wort ‚tree‘ bedeutet ‚Baum‘“ und „Das englische Wort ‚old‘ bedeutet ‚alt‘“ sind Behauptungen in konzeptualistischer Redeweise; beide bringen jeweils zum Ausdruck, dass die deutsche und die englische Sprache einen Begriff gemeinsam haben. Behauptungen wie „Dieser Baum ist alt“ und „This tree is old“ gehören hingegen zur realistischen Redeweise.

Die hier soeben vorgestellte Unterscheidung hat einige Ähnlichkeit mit Rudolf Carnaps klassischer Unterscheidung zwischen der inhaltlichen und der formalen Redeweise. ¹⁶² Meine Unterscheidung kann sogar als Carnaps Unter-

¹⁶¹ Vgl. Johansson 2006b.

¹⁶² Vgl. Carnap 1934.

Abb. 9.1: Beispiele für *is_a*-Relationen

| <i>is_a</i> -Ausdruck | Entsprechender natürlichsprachiger Satz über ein Individuum oder über Klassen von Individuen | Entsprechender natürlichsprachiger Satz, der (zumindest scheinbar) direkt über Universalien eine Aussage macht |
|--|--|--|
| <i>Katze is_a Säugetier</i> | Eine Katze ist ein Säugetier; Katzen sind Säugetiere | Die Katze ist ein Säugetier. |
| <i>Säugetier is_a Tier</i> | Ein Säugetier ist ein Tier; Säugetiere sind Tiere | |
| <i>Segelschiff is_a Schiff</i> | Ein Segelschiff ist ein Schiff; Segelschiffe sind Schiffe | |
| <i>Schiff is_a Fahrzeug</i> | Ein Schiff ist ein Fahrzeug; Schiffe sind Fahrzeuge | |
| <i>Purpur is_a Rot</i> | Ein purpurnes Ding ist ein rotes Ding; purpurne Dinge sind rote Dinge | Purpur ist ein Rot-Ton |
| <i>Rot is_a Farbe</i> | Ein rotes Ding ist ein farbiges Ding; rote Dinge sind farbige Dinge | Rot ist eine Farbe |
| <i>Rennen is_a Tätigkeit</i> | Ein Rennen ist eine Tätigkeit; alle Fälle von Rennen sind Fälle von Tätigkeit | Rennen ist eine Tätigkeit |
| <i>Anstreichen is_a Tätigkeit</i> | Ein Anstreichen ist eine Tätigkeit; alle Fälle von Anstreichen sind Fälle von Tätigkeit | Anstreichen ist eine Tätigkeit |
| <i>Sorgfältiges Anstreichen is_a Anstreichen</i> | Ein sorgfältiges Anstreichen ist ein Anstreichen. | Sorgfältiges Anstreichen ist ein Anstreichen |
| <i>Anstreichen eines Hauses is_a Anstreichen</i> | Alle Fälle des Anstreichens eines Hauses sind Fälle von Anstreichen. | Anstreichen eines Hauses ist ein Anstreichen |
| <i>Anstreichen von außen is_a Anstreichen</i> | Alle Fälle des Anstreichens an der Außenseite sind Fälle von Anstreichen. | Anstreichen an der Außenseite ist ein Anstreichen |
| <i>Anstreichen im Sommer is_a Anstreichen</i> | Alle Fälle von Anstreichen im Sommer sind Fälle von Anstreichen. | Anstreichen im Sommer ist ein Anstreichen |

scheidung selbst verstanden werden, nun aber losgelöst von ihrem ursprünglichen positivistisch-konventionalistischen Hintergrund und stattdessen verbunden mit einem realistischen Rahmen.

Die linke Spalte von Abbildung 9.1 kann sowohl in konzeptualistischer als auch realistischer Weise gelesen werden. Die Behauptung „*Katze is_a Säugetier*“ kann sowohl als „Der Begriff Katze ist ein Begriff, der unter den Begriff Säugetier fällt“ verstanden werden als auch als „Die Klasse (der) Katze(n) ist subsumiert unter die Klasse (der) Säugetier(e)“. Man beachte aber: Zwar „erbt“ die Universalie *Katze* alle Eigenschaften, die die Universalie *Säugetier* hat. (Im Englischen spricht man von *inheritance of properties*.) Das heißt jedoch keineswegs, dass der Begriff „Katze“ alle Eigenschaften des Begriffs „Säugetier“ hat. Das *Description Logic Handbook* schreibt über die *is_a*-Relation:

„Die IS-A Relation definiert eine Hierarchie der Begriffe und stellt die Grundlage für die ‚Vererbung von Eigenschaften‘ bereit: Wenn ein Begriff spezifischer als ein anderer ist, dann erbt er die Eigenschaften des allgemeineren Begriffs. Wenn zum Beispiel eine Person ein Alter hat, dann hat eine Frau ebenfalls ein Alter.“¹⁶³

Das Zitat ist zwar verständlich, aber es wirft die realistische und die konzeptualistische Redeweise durcheinander. Weder der Begriff „Person“ noch der Begriff „Frau“ hat ein Alter, sondern die Individuen, die unter diese Begriffe fallen, haben ein solches. Im Folgenden wird gezeigt, dass man korrespondierende Aussagen in realistischer Redeweise analysieren muss, um sich Klarheit über die *is_a*-Beziehung in der konzeptualistischen Redeweise zu verschaffen. Manchmal wird im Folgenden explizit angegeben werden, dass zwischen diesen beiden Redeweisen hin- und hergewechselt wird, aber meistens wird darauf vertraut werden, dass die Art der Redeweise durch den Kontext klar wird.

9.2 Genus-Subsumption versus Determinablen-Subsumption

Klassen sowohl natürlicher als auch künstlicher Arten (zum Beispiel Atome, Moleküle, Pflanzen, Tiere, Möbel, Kleidungsstücke und Fahrzeuge) können in Subsumptionsbeziehungen zueinander stehen, aber ebenso viele Klassen von Qualitäten (zum Beispiel Farben, Volumen, Massen und dispositionale Eigenschaften). So wie die Klasse der Katzen der Klasse der Säugetiere subsumiert

¹⁶³ Baader et al. 2003, 5.

wird, die ihrerseits der Klasse der Tiere subsumiert wird, so wird die Klasse der purpurnen Instanzen der Klasse der roten Instanzen subsumiert, welche wiederum der Klasse der Farbinstanzen subsumiert wird. Hinsichtlich individueller Dinge und raumzeitlich lokalisierter Qualitätsinstanzen implizieren diese Subsumptionen das Folgende:

- Es gilt notwendigerweise: Wenn ein bestimmtes Ding eine Katze ist, dann ist es ein Säugetier, und wenn es ein Säugetier ist, dann ist es ein Tier.
- Es gilt notwendigerweise: Wenn es eine Purpur-Instanz gibt, dann gibt es auch eine Rot-Instanz; und wenn es eine Rot-Instanz gibt, dann auch eine Farb-Instanz.
- Es gilt notwendigerweise: Wenn ein bestimmtes Ding ein Tier ist, dann muss es ein Tier einer bestimmten Art sein.
- Es gilt notwendigerweise: Wenn es eine Farb-Instanz gibt, dann muss sie eine Instanz eines bestimmten Farbtone sein.

Bereits zu Beginn des zwanzigsten Jahrhunderts hat der aus Cambridge stammende Philosoph William E. Johnson (1858–1931) entdeckt, dass es mehrere Arten der Subsumption gibt: Die logische Beziehung zwischen Katze-Säugetier-Tier ist eben nicht dieselbe wie die zwischen Purpur-Rot-Farbe.¹⁶⁴ Genera-Spezies-Hierarchien unterscheiden sich radikal von dem, was Johnson Determinablen-Determinaten-Hierarchien genannt hat, auch wenn sie hinsichtlich der Klasseneinschluss-Relation übereinstimmen. Der Unterschied entsteht dadurch, dass es für Spezies und Gattungen (wie für alle natürlichen und künstlichen Arten von Dingen) monadische Qualitäten gibt, durch die sie charakterisiert werden können, während man determinate und determinable Qualitäten nicht so charakterisieren kann. Diese können nur durch die Ähnlichkeitsrelationen gekennzeichnet werden, in denen sie zu anderen Qualitäten stehen. Die Klasse der Säugetiere kann so definiert werden, dass Säugetier zum Genus *Tier* gehört und ein bestimmtes unterscheidendes Merkmal besitzt (eine *Differentia specifica*) – nämlich dass die Weibchen normalerweise fähig sind, die Nachkommen zu Beginn deren Lebens durch im Körper erzeugte Milch zu ernähren. Die Klasse der roten Instanzen kann hingegen nicht dadurch definiert werden, dass man Farbe als Genus wählt und durch ein weiteres Merkmal als *Differentia specifica* näher bestimmt, das, um Zirkularität zu

¹⁶⁴ Vgl. Johnson 1921, 173–185; Johansson 2000.

vermeiden, ein anderes Merkmal sein muss als das, rot zu sein. John Searle beschreibt diesen Unterschied zwischen Arten und determinaten Eigenschaften so:

„Kurz, eine Art ist die Konjunktion zweier logisch unabhängiger Eigenschaften – des *Genus* und der *Differentia*. Aber eine Determinate ist nicht die Konjunktion ihrer Determinablen und irgendeiner anderen Eigenschaft, die von der Determinablen logisch unabhängig ist. Eine Determinate ist, sozusagen, ein Gebiet innerhalb der Determinablen, das ohne äußere Hilfe abgegrenzt wurde.“¹⁶⁵

Wenn Säugetiere also, kurz gesagt, als Nachkommen-mit-Milch-ernährende-Tiere definiert werden, dann werden die Ausdrücke „Nachkommen mit Milch ernährend“ und „Tier“ als logisch voneinander unabhängig behandelt, d.h. sie können weder durcheinander definiert noch einander subsumiert werden. Auch wenn es keine Pflanzen gibt, die Milch produzieren, so sind solche Pflanzen doch nicht logisch unmöglich. Es lässt sich dann mit Searle angemessen sagen, dass Säugetiere von anderen Tieren „durch Hilfe von außen abgegrenzt“ werden. Aber man kann nicht auf ähnliche Weise Rot von anderen Farben und Purpur von anderen Rottönen „mit Hilfe von außen“ abgrenzen. Die Notwendigkeit, Genus-Subsumption von Determinablen-Subsumption zu unterscheiden, wird meines Erachtens noch deutlicher, wenn man mehrere Subsumptionsebenen auf einmal betrachtet.

Wirft man einen Blick auf ein Subsumptionsschema, das aus vier Ebenen von Klassen besteht, ergibt sich Folgendes: Auf jeder Ebene sind die Klassen wechselseitig disjunkt; zusammengenommen umfassen die Klassen einer Ebene dieselben Dinge, die in den Klassen unter ihnen enthalten sind. Diese Bedingungen stellen sicher, dass keine Klasse unter mehr als eine Klasse der höheren Ebene subsumiert wird. Das Schema reicht von einer höchsten Klasse (einer Gattung oder determinablen Eigenschaft) über zwei mittlere Ebenen hin zu den untersten Klassen (Spezies oder determinate Eigenschaften). Alle Klassen auf den mittleren Ebenen sind Spezies oder Determinaten *in Bezug auf* die höhere und sie subsumierende Klasse, aber Gattungen oder Determinablen *in Bezug auf* die unter sie fallenden niedrigeren Klassen. Nur die höchste Gattung/Determinable ist eine Gattung/Determinable im absoluten, nicht-relativen Sinn, und nur die untersten Spezies/Determinaten sind Spezies/

¹⁶⁵ Searle 1959, 143.

Determinaten im absoluten Sinn. Man beachte, dass es nur auf den Wunsch nach erklärerischer Einfachheit zurückzuführen ist, dass alle Klassen in Abbildung 9.2 in genau zwei Unterklassen geteilt werden. Eine Klasse kann auch in mehr als zwei Subklassen geteilt werden und nicht alle Klassen müssen die gleiche Anzahl Subklassen haben.

Abb. 9.2: Ein formales Schema der Klassensubsumption

| | | | | | | | | |
|---------|-----------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Ebene 1 | Höchste Klasse: Klasse A(1) | | | | | | | |
| Ebene 2 | Klasse A(2) | | | | Klasse B(2) | | | |
| Ebene 3 | Klasse A(3) | | Klasse B(3) | | Klasse C(3) | | Klasse D(3) | |
| Ebene 4 | Klasse A(4) | Klasse B(4) | Klasse C(4) | Klasse D(4) | Klasse E(4) | Klasse F(4) | Klasse G(4) | Klasse H(4) |

Dieses Schema der Klassensubsumption darf keinesfalls mit dem ihm ähnlichen Schema für die Mengeninklusion verwechselt werden, das in Abbildung 9.3 dargestellt ist:

Abb. 9.3: Ein formales Schema der Mengeninklusion

| | | | | | | | | |
|---------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| Ebene 1 | Menge A(1) | | | | | | | |
| Ebene 2 | Menge A(2) | | | | Menge B(2) | | | |
| Ebene 3 | Menge A(3) | | Menge B(3) | | Menge C(3) | | Menge D(3) | |
| Ebene 4 | Menge A(4) | Menge B(4) | Menge C(4) | Menge D(4) | Menge E(4) | Menge F(4) | Menge G(4) | Menge H(4) |

Die Gegenüberstellung dieser beiden Tabellen ist ein guter Anlass, noch einmal einige der Dinge zu betonen, die in Kapitel 5 schon über den Unterschied zwischen Mengen und natürlichen Klassen gesagt wurden: Wenn keine der niedrigsten Klassen eines Subsumptionsschemas eine leere Klasse ist, dann kann man ein korrespondierendes Schema für die Mengeninklusion konstruieren. Dafür müssen lediglich die Instanzen jeder Klasse als Elemente einer entsprechenden Menge angesehen werden. Die umgekehrte Operation ist jedoch keineswegs immer möglich. Sei beispielsweise die Menge A(4) die Menge aller Katzen und B(4) die Menge aller roten Dinge. Nun entspricht der Menge aller Katzen die Klasse aller Katzen und der Menge aller roten Dinge die Klasse aller roten Dinge. Aber während die Menge A(3) einfach als Ver-

einigung der Mengen A(4) und B(4) gebildet werden kann, gibt es keine dieser entsprechenden Klasse A(3). Warum ist dem so? Weil jede Klasse eine Art interner Kohärenz benötigt, es jedoch eine solche interne Kohärenz zwischen der Klasse der Katzen und der Klasse der roten Dinge nicht gibt.

In der Philosophie wurde im Rahmen des so genannten „Universalienstreits“ viel darüber geschrieben was, wenn überhaupt etwas, die hier geforderte Art von Kohärenz konstituieren kann – und die Debatte geht immer noch weiter.¹⁶⁶ Die drei Hauptpositionen in dieser Debatte bezeichnet man meist als Realismus, Konzeptualismus und Nominalismus. Die von mir vertretene Position ist eine Form des Realismus mit einem konventionalistischen Element: Es gibt Klassen, die völlig unabhängig vom menschlichen Geist sind, aber einige Klassen beruhen teilweise auf menschlich-konventionellem *fiat*. Mehr dazu in Anschluss an Abbildung 9.5.

Wie auch immer, für die Zwecke dieses Kapitels ist es ausreichend, wenn der Leser irgendeine Konzeption von interner Kohärenz akzeptiert, durch die der Unterschied zwischen natürlichen Klassen und Mengen aufrechterhalten werden kann.

Hier sind einige weitere Beispiele, die, wie das Beispiel „Katze und rot“, die Intuition hinter einer solchen Konzeption verdeutlichen können:

- Es gibt eine Menge, deren Elemente alle Temperatur-Instanzen und Massen-Instanzen sind, aber es gibt keine entsprechende Klasse.
- Es gibt eine Menge, deren Elemente aus allen Molekülen und allen Zellen sind, aber es gibt keine entsprechende Klasse.
- Es gibt eine Menge, deren Elemente alle Rot-Instanzen und alle Grün-Instanzen sind, aber es gibt keine entsprechende Klasse.

Gehen wir nun zunächst davon aus, dass Abbildung 9.2 irgendwelche natürlichen Arten repräsentiert. Der Einfachheit halber soll von erkenntnistheoretischen Problemen abgesehen und so verfahren werden, als ob es sich stets um Subsumptionsbeziehungen zwischen nichtleeren Klassen handelt. Schemata für die Genus-Subsumption repräsentieren die Art und Weise, wie Biologen traditionell Pflanzen und Tiere klassifiziert haben; und außerhalb der phylogenetischen Taxonomie werden solche Schemata auch immer noch benutzt. Wenn eine auf Genus-Subsumption beruhende Taxonomie erstellt

¹⁶⁶ Für einen ersten Zugang zur aktuellen Debatte vgl. z.B. Armstrong 1989.

worden ist, dann kann sie dazu verwendet werden, eine so genannte aristotelische „Real-Definition“ festzulegen, eine Definition also, die in erster Linie Definition von Universalien und der ihnen entsprechenden Klassen und nicht von sprachlichen Ausdrücken ist. Philosophen, die darauf bestehen, dass *nur* sprachliche Ausdrücke definiert werden können, machen eines der beiden folgenden Dinge: Entweder leugnen sie (explizit oder implizit) die Existenz sprach-unabhängiger Universalien oder sie beschränken die Verwendung des Wortes „Definition“ in solch einer Weise, dass viele Definitionen in den Naturwissenschaften nicht „Definition“ genannt werden können.

Um Aristotelische Definitionen vollständig darzustellen, beginnt man mit dem höchsten Genus und konstruiert, Schritt für Schritt, die Definitionen der niedrigeren Gattungen, bis auch die untersten Arten definiert worden sind. Bei jedem Schritt wird die subsumierende Klasse in zwei oder mehr subsumierte Klassen eingeteilt, indem man für die Unterklassen Qualitäts- oder Eigenschaftsanforderungen formuliert, die über die Anforderungen für die Oberklasse hinausgehen. Aristoteles' Standardbeispiel ist „Mensch =_{def} vernunftbegabtes Lebewesen“. In dieser Definition wird die subsumierte Klasse der Menschen definiert mit Hilfe der allgemeineren subsumierenden Klasse der Tiere plus einer Qualitätsanforderung, die darin besteht, dass die Klasse der Menschen im Unterschied zu anderen Tierarten Vernunftbegabtheit als spezifische Differenz haben soll. Dieser Weg zur Auffindung von Definitionen wird sehr häufig auch in der Informatik verwendet. Die Theorie der aristotelischen Definitionen lässt sich logisch-formal darstellen.¹⁶⁷ In Abbildung 9.4 sind einige der logischen Eigenschaften dieser Definitionen festgehalten, die für unseren Kontext wichtig sind.

Der Einfachheit halber sollen Symbole eingeführt werden für die Operationen, die man „Klassenschnitt“ (\cap) und „Klassenvereinigung“ (\cup) nennen könnte. Anstelle von „Mensch =_{def} vernunftbegabtes Lebewesen“, kann dann geschrieben werden: „Mensch =_{def} Vernunftbegabtes \cap Lebewesen“; und anstelle von „Rot =_{def} Dunkelrot oder Hellrot“ kann dann geschrieben werden: „Rot =_{def} Dunkelrot \cup Hellrot“. (Auch wenn dieselben Symbolzeichen verwendet werden wie in der Theorie der extensionalen Mengen, werden Klassen keineswegs als extensional definiert betrachtet.) Man nehme nun an, dass man ein höchstes

¹⁶⁷ Vgl. Smith 2005b.

Genus und vierzehn Qualitätsklassen (a, b, c, ..., n) hat, je eine für jede *Differentia specifica*. Alle diese Klassen, außer der höchsten, können dann wie in Abbildung 9.4 gezeigt definiert werden.

Abb. 9.4: Die formale Struktur aristotelischer Definitionen von Genera und Spezies

| | | | |
|-------------|------|---------------|-------------------------------|
| Klasse A(2) | =def | $A(1) \cap a$ | |
| Klasse B(2) | =def | $A(1) \cap b$ | |
| Klasse A(3) | =def | $A(2) \cap c$ | = $A(1) \cap a \cap c$ |
| Klasse B(3) | =def | $A(2) \cap d$ | = $A(1) \cap a \cap d$ |
| Klasse C(3) | =def | $A(3) \cap e$ | = $A(1) \cap b \cap e$ |
| Klasse D(3) | =def | $A(3) \cap f$ | = $A(1) \cap b \cap f$ |
| Klasse A(4) | =def | $A(3) \cap g$ | = $A(1) \cap a \cap c \cap g$ |
| Klasse B(4) | =def | $A(3) \cap h$ | = $A(1) \cap a \cap c \cap h$ |
| Klasse C(4) | =def | $B(3) \cap i$ | = $A(1) \cap a \cap d \cap i$ |
| Klasse D(4) | =def | $B(3) \cap j$ | = $A(1) \cap a \cap d \cap j$ |
| Klasse E(4) | =def | $C(3) \cap k$ | = $A(1) \cap b \cap e \cap k$ |
| Klasse F(4) | =def | $C(3) \cap l$ | = $A(1) \cap b \cap e \cap l$ |
| Klasse G(4) | =def | $D(3) \cap m$ | = $A(1) \cap b \cap f \cap m$ |
| Klasse H(4) | =def | $D(3) \cap n$ | = $A(1) \cap b \cap f \cap n$ |

Von einem rein definitorischen Standpunkt aus werden alle Klassen von A(2) bis H(4) zu Klassen natürlicher Arten, nicht zu Klassen von Qualitäten, aus dem einen Grund, dass A(1) eine natürliche Art ist. Wenn die mutmaßlichen spezifischen Differenzen keine wechselseitig disjunkten Klassen ergeben, können sie *per definitionem* keine spezifische Differenzen sein. In solchen Definitionen müssen das höchste Genus ebenso wie die artenbildenden Qualitäten relativ zum Subsumptionsschema undefiniert bleiben.¹⁶⁸ Wie man leicht aus Abbildung 9.4 ersehen kann, „erben“ die unteren Klassen alle Eigenschaften, die für die Klassen über ihnen essentiell sind.

¹⁶⁸ Vgl. Berg 1983.

Aristotelische Definitionen können in der realistischen Redeweise vorgebracht werden. Wird zur konzeptualistischen Redeweise gewechselt, werden die gegebenen Definitionen der Klassen zu Definitionen der diesen entsprechenden sprachlichen Ausdrücke. Beispielsweise muss das Wort „Mensch“ dann als synonym zu „vernunftbegabtes Lebewesen“ angesehen werden. Wenn im Laufe der Wissenschaftsgeschichte aufgrund neuer Erkenntnisse eine wissenschaftliche Taxonomie revidiert werden muss, dann müssen auch die alten Real-Definitionen durch neue ersetzt werden. Wenn Wissenschaftler neue Tierarten oder neue Viren entdecken oder neue Gensequenzen entschlüsseln, dann müssen neue Universalien in die Taxonomie aufgenommen werden. Gelegentlich kommt es aber auch zu einer Neudefinition bereits bekannter Universalien. Das geschah beispielsweise, als entdeckt wurde, dass Wale keine Fische, sondern Säugetiere sind. Die Spezies *Wal* musste danach statt unter das Genus *Fisch* unter das Genus *Säugetier* subsumiert und die Real-Definition des Wals musste entsprechend angeglichen werden. War „Fisch“ zuvor definiert als „Wirbeltier, das im Wasser lebt“, so musste auch diese Definition geändert werden. Denn nun war ja mit dem Wal ein Wirbeltier bekannt, das zwar im Wasser lebt, aber kein Fisch war.¹⁶⁹

Wenn das Schema aus Abbildung 9.2 benutzt werden soll, um Subsumptionen unter determinable Eigenschaften wie Länge, Farbe und Masse zu repräsentieren, dann kann dazu nicht dasselbe Verfahren wie bei der Genus-Subsumption verwendet werden, um das Schema zum Ausgangspunkt für Definitionen zu nehmen: Erstens, weil trivialerweise Einteilungen einer Klasse nicht mithilfe dieser Klasse selbst erzeugt werden können. Da aber nun zweitens die höchste Klasse eine determinable Eigenschaft ist, gibt es keine außerhalb dieser Klasse befindlichen Qualitäten, die die Unterklassen abgrenzen könnten. Der einzige Weg, der nun noch offen steht, ist, die höheren Klassen durch die niedrigeren zu definieren; dies bedeutet, dass die untersten Klassen als undefiniert angesehen werden. Die niedrigsten Klassen von Determinaten können nun aber nicht überlappen – sonst könnten sie nämlich noch weiter in Determinaten aufgegliedert werden und wären damit nicht die niedrigsten Klassen. Daher müssen die höheren Klassen durch die Klassenvereinigung gebildet werden (\cup). Auf diese Weise kann das Schema in Abbildung 9.2 verwendet werden, um die Definitionen in Abbildung 9.5 abzuleiten.

¹⁶⁹ Vgl. Johansson 1986.

Abb. 9.5: Formale Struktur der Definitionen von Determinablen durch Determinaten

| | | | |
|-------------|------------------|------------------|---|
| Klasse A(3) | = _{def} | A(4) \cup B(4) | |
| Klasse B(3) | = _{def} | C(4) \cup D(4) | |
| Klasse C(3) | = _{def} | E(4) \cup F(4) | |
| Klasse D(3) | = _{def} | G(4) \cup H(4) | |
| Klasse A(2) | = _{def} | A(3) \cup B(3) | = A(4) \cup B(4) \cup C(4) \cup D(4) |
| Klasse B(2) | = _{def} | C(3) \cup D(3) | = E(4) \cup F(4) \cup G(4) \cup H(4) |
| Klasse A(1) | = _{def} | A(2) \cup B(2) | = A(4) \cup B(4) \cup C(4) \cup D(4) \cup E(4) \cup F(4) \cup G(4) \cup H(4) |

Hier ist wieder eine Beobachtung zum Unterschied zwischen natürlichen Klassen und Mengen angebracht. Wenn die gegebenen Definitionen nicht Definitionen von Klassen, sondern von Mengen wären, dann wäre es trivialerweise wahr und daher nicht besonders interessant, dass die Vereinigung von A(4) bis H(4) alle Elemente aus A(1) umfasst. Da man es aber mit Klassen zu tun hat, muss die höchste Determinable gewährleisten, dass die nötige interne Kohärenz zwischen den niedrigsten Determinaten besteht. Ansonsten könnten die Letzteren nicht unter die *Klasse* A(1) subsumiert werden. Die Definition der Klasse A(1) als die Klassenvereinigung der Klassen A(4) bis H(4) hat die Wirkung der (falsifizierbaren) Behauptung, dass Klassen A(4) to H(4) gemeinschaftlich alle Instanzen der Klasse A(1) umfassen. Gesetzt den Fall, die höchste Determinable und die niedrigsten Determinaten seien von der Natur vorgegebene Klassen, aber nicht die Klassen auf den zwischen diesen liegenden Ebenen,¹⁷⁰ dann können alle dazwischen liegenden Klassen durch das Mittel der Konvention geschaffen werden. Man erhält dann eine Anzahl von teilweise auf menschlichem *fiat* beruhenden Klassen, deren konventioneller Charakter dadurch begrenzt ist, dass an der Spitze des Subsumptionschemas eine von der Natur vorgegebene Bona-fide-Klasse steht und viele Bona-fide-Klassen auf seiner untersten Ebene.

¹⁷⁰ Diese Situation halte ich für einen sehr wichtigen Fall; solch einen Charakter haben nämlich unter anderem unsere Klassen von verschiedenen wahrnehmbaren Farben. Vgl. Johansson 2000.

Wenn Fiat-Klassen der beschriebenen Art konstruiert werden, dann können diese auf eine Ebene prinzipiell sowohl einander überlappen als auch wechselseitig disjunkt sein. Systeme mit wechselseitig disjunkten Klassen funktionieren jedoch in kommunikativer Hinsicht wesentlich besser; sie enthalten einfach mehr Informationen. Denn in solchen Systemen kann man zum Beispiel daraus, dass etwas ein $A(3)$ ist, folgern, dass es kein $B(3)$ ist.

Im Alltag werden Längeninstanzen in Klassen unterteilt, die wir als „sehr kurz“, „kurz“, „mittellang“, „lang“ und „sehr lang“ bezeichnen. Temperaturinstanzen werden in ähnlicher Weise in Klassen unterteilt, für die wir Bezeichnungen wie „sehr kalt“, „kalt“, „weder warm noch kalt“, „warm“ und „heiß“ verwenden. Klassen wie diese können sowohl weitere determinate Klassen unter sich subsumieren als auch selbst unter noch weitere Klassen subsumiert werden. Es sind dieselben Determinablen, für die wir im Alltag die Klassenbezeichnungen verwenden, auf denen die linearen Messskalen der Physik beruhen. Solche Skalen oder Maßstäbe sind Spezialfälle von Determinablen-Subsumptionen. Für sich genommen beinhalten sie nur zwei Ebenen: die Ebene der höchsten Determinablen (Länge bzw. Temperatur) und die Ebene der niedrigsten Determinaten. Diese letzte Ebene enthält unendlich viele Klassen, von denen jede einer reellen Zahl entspricht. Eine Bezeichnung für eine solche Klasse von Längeninstanzen ist zum Beispiel „5.000.789 m“, eine andere ist „7.467.823.000 m“. Aller Wahrscheinlichkeit nach sind viele solcher Klassen leer.

Dieser Unterschied zwischen Genus-Subsumption und Determinablen-Subsumption kann nun wie folgt zusammengefasst werden: Definitionen, die auf Determinablen-Subsumptionen basieren, müssen *bottom up* erfolgen, indem man von der unteren Ebene angefangen nach oben Klassen mit Hilfe der Operation der Klassenvereinigung zusammenfasst. Hingegen können Definitionen, die auf Genus-Subsumption beruhen, auch *top down* erfolgen, indem man mit Hilfe von spezifischen Differenzen und der Operation des Klassenschnitts Unterklassen bildet.

Beide der bisher unterschiedenen durch *is_a* ausgedrückten Subsumptionsbeziehungen müssen unterschieden werden von einer anderen Beziehung, die manchmal ebenfalls als „Subsumption“ bezeichnet wird, nämlich die Beziehung zwischen einem Einzelding und einer Klasse oder Universalie. Um sie besser auseinanderhalten zu können, ist diese letztere Relation in Kapitel 5 als „Instantiierung“ bezeichnet worden. Die Relation **instance_of** muss also streng von der *is_a*-Beziehung unterschieden werden: Wenn Pluto ein brauner

Hund ist, dann sind die Aussagen „Pluto **instance_of** Hund“ und „Pluto exemplifiziert Braun“ wahr, aber „Pluto *is_a* Hund“ und „Pluto *is_a* Braun“ sind schon aus syntaktischen Gründen falsch, da die *is_a*-Beziehung eine Relation zwischen Universalien (oder den diesen entsprechenden Klassen) ist, Pluto aber keine Universalie, sondern ein Einzelding ist.

9.3 Spezifikation

Aussagen über *is_a*-Beziehungen wie „*Sorgfältiges Anstreichen is_a Anstreichen*“, „*Nachlässiges Anstreichen is_a Anstreichen*“, „*Schnelles Anstreichen is_a Anstreichen*“ oder „*Langsames Anstreichen is_a Anstreichen*“ stimmen weder mit den typischen Eigenschaften der Genus-Subsumption noch mit den typischen Eigenschaften der Determinablen-Subsumption überein. Sie soll im Folgenden *Spezifikationen* genannt werden.

Anders als bei der Genus-Subsumption, kann man die Klasse *sorgfältiges_Anstreichen* nicht als den Klassenschnitt zweier logisch voneinander unabhängiger Klassen *Anstreichen* und *Sorgfältig* bilden. Es gibt nämlich keine Universalie oder Klasse *Sorgfältig*, die als unabhängige Entität existieren würde. Sorgfalt ist immer Sorgfalt bei einer bestimmten Tätigkeit, und es ist die Art der jeweiligen Tätigkeit, die den Maßstab dafür bestimmt, was als sorgfältig zu gelten hat und was nicht: Die Sorgfalt des sorgfältigen Anstreichens ist eine andere als die Sorgfalt beim sorgfältigen Lesen, sorgfältigen Reinigen oder sorgfältigen Beobachten. Jede dieser Weisen der Sorgfalt ist logisch nachrangig zu und entlehnt einen Teil seines Wesens von den Tätigkeitsarten, um die es jeweils geht. *Sorgfältiges_Anstreichen* ist daher keine Spezies eines Genus *Anstreichen*. Entsprechendes gilt für *sorgfältiger_Anstreicher*. Es ist eine in der Philosophie, Linguistik und Informationswissenschaft wohlbekannte Tatsache, dass man, um die konzeptualistische Redeweise zu verwenden, die Extension von Ausdrücken wie „ein sorgfältiger Maler sein“, „ein schneller Maler sein“ oder „ein guter Maler sein“ nicht als den Schnitt der Extension von „Maler“ mit der Extension der Ausdrücke „sorgfältig sein“, „schnell sein“ bzw. „gut sein“ beschreiben kann. Das liegt daran, dass Ausdrücke wie „gut“, „schnell“ und „sorgfältig“ eben nicht eigenständige Prädikate sind, sondern adverbiale Spezifikationen. Von „Patient Nr. 7 ist ein übergewichtiger Pflegefall“ kann man auf „Patient Nr. 7 ist übergewichtig“ und „Patient Nr. 7 ist ein Pflegefall“ schließen. Es wäre aber irreführend, wenn man von „Krebsgeschwüre sind ein gutes Beispiel“ auf „Krebsgeschwüre sind gut“ schließen wollte.

Dass Spezifikationen auch von der Determinablen-Subsumption zu unterscheiden sind, ist nicht genauso evident. Ein Indiz dafür ist aber das Folgende: Determinablen-Definitionen können auf dem beschriebenen Weg zu Definitionen führen, indem die Vereinigung der subsumierten Klassen gebildet wird. Ein analoges Verfahren scheint es für Spezifikationen nicht zu geben: Wie sollte man die Klasse einer Aktivität als Vereinigung einer Reihe von Klassen von Spezifikationen dieser Aktivität darstellen? Die Klasse *Malen* etwa ist eben nicht identisch mit der Vereinigung der Klassen des sorgfältigen Malens, des nachlässigen Malens, des schnellen Malens und des langsamen Malens etc. – man setze diese Liste mit allen möglichen Spezifikationen von Malen fort. Anders als die Genus-Subsumption und die Determinablen-Definition kann die Spezifikation überhaupt nicht zu Definitionen führen.

Meine Bemerkungen über Tätigkeiten lassen sich auf Prozesse übertragen (wie Brennen, Verdauen oder Zirkulieren). Man beachte aber, dass einige der Spezifikationen, die bei Tätigkeiten möglich sind (wie „sorgfältig“ oder „nachlässig“), bei Prozessen nicht angewendet werden können, während andere Spezifikationen (wie „schnell“ oder „langsam“) sowohl bei Tätigkeiten als auch bei Prozessen möglich sind.

Spezifikationen unterscheiden sich strukturell sowohl von Genus-Subsumptionen als auch von Determinablen-Subsumptionen, aber allzu leicht verwechselt man diese drei miteinander, insbesondere die Spezifikation und die Determinablen-Subsumption. Nichtsdestoweniger sind dies Unterscheidungen, die sich auch in der Alltagssprache wiederfinden. Wir sagen, „Anstreichen ist eine *Art von* Tätigkeit“, aber „Sorgfältig anstreichen ist eine *Weise des* Anstreichens“. Der springende Punkt ist, dass bestimmte Tätigkeiten wie *Anstreichen* keine Spezifikationen der Universalie *Tätigkeit* sind, sondern zu *Tätigkeit* in einem Determinablen-Subsumptionsverhältnis stehen. Während *Anstreichen* also unter die Universalie *Tätigkeit* subsumiert wird, ist *sorgfältiges Anstreichen* eine Spezifikation von *Anstreichen* und *sorgfältige Tätigkeit* eine Spezifikation von *Tätigkeit*. Diese Komplikation kann es nötig machen, in ein und demselben Klassifikationsbaum sowohl Subsumptionen als auch Spezifikationen aufzunehmen. Solche gemischten Graphen werden am Ende von Kap. 9.5 diskutieren werden.

Die Relation der Spezifikation scheint nicht auf Tätigkeiten und Prozesse beschränkt zu sein. Während (bewusst wahrgenommene) Farbtöne ganz offensichtlich als Determinaten unter (bewusst wahrgenommene) determinable Farben subsumiert werden, gilt dies nicht für Helligkeiten oder Grade der

Farbsättigung. Diese scheinen eher Spezifikationen von Farbtönen zu sein, so wie Sorgfalt eine Spezifikation von Tätigkeit ist. Wenn zwei Farbtöne, etwa ein determinates Rot und ein determinates Blau, dieselbe Helligkeit oder denselben Sättigungsgrad haben, dann sind die Helligkeit und der Sättigungsgrad logisch nachrangig zu den Farbtönen und erhalten einen Teil ihres Wesens von diesen – und nicht etwa umgekehrt. Die Tatsache, dass Farbtöne Determinaten, Helligkeiten und Sättigungsgrade aber Spezifikationen sind, ist völlig vereinbar mit der Tatsache, dass Farbton, Helligkeit und Sättigungsgrad, wie im Munsell-Farbkörper, als drei unterschiedliche Dimensionen in einer bildlichen Darstellung oder in einem dreidimensionalen abstrakten Raum angeordnet werden können. (Vgl. die nachfolgende Abbildung 9.8, die eine Subsumption und eine Spezifikation miteinander kombiniert.)

9.4 Spezialisierung

Hier sind einige Beispiele für *is_a*-Beziehungen, die *Spezialisierungen* sind:

- *Anstreichen eines Hauses is_a Anstreichen.*
- *Anstreichen von außen is_a Anstreichen.*
- *Anstreichen im Sommer is_a Anstreichen.*
- *Autofahren is_a Fahren.*
- *Verdauen von Nahrung is_a Verdauen.*
- *Bedrucken von Papier is_a Bedrucken.*

In keinem dieser Beispiele ist der Ausdruck auf der linken Seite des „*is_a*“ eine Spezifikation der Tätigkeit auf der rechten Seite des „*is_a*“. In den Ausdrücken auf der linken Seite wird vielmehr die jeweilige Tätigkeit, um die es geht, zu etwas anderem in Beziehung gesetzt, das völlig unabhängig von dieser Tätigkeit existiert: zu Häusern, Außenseiten und Sommern. Diese Eigenschaft unterscheidet Spezialisierungen nicht nur eindeutig von Spezifikationen, sondern zeigt auch an, dass Spezialisierungen keine Grundlage für die Definition der jeweiligen Tätigkeiten bieten.

In der Alltagssprache verwenden wir das Wort „Spezialisierung“, um etwa zu sagen, dass ein Anstreicher sich auf das Anstreichen von Häusern spezialisiert hat, ein anderer auf das Anstreichen von Stühlen, ein dritter darauf, die Außenwände von Häusern zu streichen und ein vierter auf das Anstreichen

von Innenwänden. Diese alltagssprachliche Verwendung ist der Hauptgrund für die Wahl der Bezeichnung „Spezialisierung“.¹⁷¹

Einige Tätigkeiten sind Tätigkeiten, die einfach von einem Subjekt ausgeübt werden (zum Beispiel Schwimmen und Rennen), während andere Tätigkeiten darüber hinaus eines oder mehrere Objekte involvieren, die gewissermaßen bearbeitet werden und auf die sich die Tätigkeit bezieht (zum Beispiel Anstreichen eines Hauses und Fahren eines Autos). In analoger Weise kann man zwischen solchen Prozessen unterscheiden, die einfach in einem Objekt als ihrem Träger vorkommen (zum Beispiel Rosten oder Brennen), und solchen, die darüber hinaus Bezugsobjekte benötigen (zum Beispiel Verdauen von Nahrung oder Bedrucken von Papier). Nur in den Fällen mit Bezugsobjekten kann es Spezialisierungen geben. Wenn vom Anstreichen, Fahren, Verdauen und Drucken geredet wird, dann weiß man, dass es Bezugsobjekte geben muss, von denen in der jeweiligen Redesituation abstrahiert wurde und die deshalb verschwiegen wurden. Dieses weggelassene Bezugsobjekt ist es, das im Kontext der Spezialisierung oder einer entsprechenden *is_a*-Beziehung wieder auftaucht. Nichts von dieser Art passiert bei Subsumptionen oder Spezifizierungen.

Alle Beispiele, mit denen dieser Abschnitt begonnen hat, sind mit Hilfe von transitiven Verben bzw. ihren Substantivierungen formuliert. Das ist kein Zufall. Transitive Verben sind definiert als Verben, die ein Objekt zulassen und oft sogar verlangen, während intransitive Verben das nicht tun. Nichtsdestoweniger kann es auch Fälle von Spezialisierungen mit intransitiven Verben geben, wenn nämlich die Tätigkeit oder der Prozess, um den es geht, in Bezug gesetzt wird zur Zeit und zum Ort des Stattfindens, der Dauer oder einer Anzahl von Wiederholungen:

- *Schwimmen im Sommer is_a Schwimmen.*
- *Pool-Schwimmen is_a Schwimmen.*
- *Salzwasser-Schwimmen is_a Schwimmen.*

¹⁷¹ In dieser terminologischen Entscheidung besteht Übereinstimmung mit Jochen Bernauer, der auf das nun zu diskutierende Phänomen hingewiesen hat. Bernauer spricht von „spezialisierenden Kriterien“ (*specialising criteria*) als einer Art von Prinzipien, die zu *is_a*-Hierarchien führen; vgl. Bernauer 1994.

- *Schwimmen über zwei Stunden is_a Schwimmen.*
- *Schwimmen von vier Bahnen is_a Schwimmen.*

Das Beispiel zeigt, dass eine Tätigkeit wie Schwimmen auf mehrere Weisen spezialisiert werden kann. Man kann Häuser, Kästen, Tische oder anderes anstreichen. Wenn das Bezugsobjekt eine Außen- und Innenseite hat (was bei Häusern und Kästen, nicht aber bei Tischen der Fall ist), kann man die eine wie die andere Seite anstreichen. Entsprechend kann man unterscheiden, zu welcher Jahreszeit und an welchem Ort das Anstreichen stattfinden soll. Diese Spezialisierungsdimensionen können nun miteinander kombiniert werden, sodass sich höchst spezialisierte Tätigkeiten wie *Pool-Schwimmen im Sommer* oder *Anstreichen eines Hauses von außen* ergeben. Solche Spezialisierungen benötigen dann mehr als eine *is_a*-Beziehung zur höheren Ebene. Wenn etwa Anstreichen hinsichtlich der beiden Dimensionen Objekt und Außenseite/Innenseite spezialisiert wird, bekommt man das folgende *is_a*-Schema:

Abb. 9.6: Ein Doppel-Spezialisations-Schema

| | |
|--|---|
| Klasse A(1): <i>Anstreichen</i> | |
| Klasse A(2): <i>Anstreichen eines Hauses</i> | Klasse B(2): <i>Anstreichen von außen</i> |
| Klasse A(3): <i>Anstreichen eines Hauses von außen</i> | |

Abbildung 9.6 bringt zum Ausdruck, dass die folgenden *is_a*-Aussagen gelten: „*Anstreichen eines Hauses von außen is_a Anstreichen eines Hauses*“, „*Anstreichen eines Hauses von außen is_a Anstreichen von außen*“, „*Anstreichen eines Hauses is_a Anstreichen*“ und „*Anstreichen von außen is_a Anstreichen*“. A(3) hat also zwei *is_a*-Beziehungen zur nächsthöheren Ebene.

9.5 Einfache und multiple Vererbung

Informationswissenschaftler unterscheiden oft zwischen einfacher und multipler Vererbung. Wenn eine Universalie nur zu einer Klasse auf der nächsthöheren Ebene in einer *is_a*-Relation steht, spricht man von „einfacher Vererbung“, wenn sie zu mehreren Klassen auf der nächsthöheren Ebene in einer *is_a*-Relation steht, von „multipler Vererbung“. Die Vorstellung einer „Vererbung“ scheint ursprünglich auf die Vererbung der definierenden Qualitäten bei der Genus-Subsumption zu verweisen. Ein subsumiertes Genus

„erbt“ all die Eigenschaften, die für die es subsumierenden Klassen wesentlich sind. Bei Determinablen-Subsumptionen hingegen gibt es keine wirkliche Vererbung von Eigenschaften, abgesehen von der Vererbung der höchsten Determinablen. Auch bei Spezifikationen gibt es keine Qualitäten-Vererbung im wörtlichen Sinn. Trotzdem wird die Unterscheidung zwischen einfacher und multipler Vererbung auf alle vier von mir unterschiedenen Arten von *is_a*-Relationen angewendet. Die ursprüngliche Vorstellung einer Qualitäten-Vererbung kann jedoch, wie bereits gezeigt, nicht in gleicher Weise verallgemeinert werden, sodass in dieser allgemeinen Bedeutung „multiple Vererbung“ nur besagt, dass es Klassen gibt, die *is_a*-Relationen zu mehr als einer Klasse auf der nächsthöheren Ebene haben, während „einfache Vererbung“ besagt, dass eine Klasse stets in höchstens einer *is_a*-Relation zu Klassen der nächsthöheren Ebene steht.

Aus meinen Anmerkungen zur Genus-Subsumption und zur Determinablen-Subsumption folgt, dass in beiden Fällen die einfache Vererbung der Standard ist. Solche Hierarchien sollten keine multiplen Vererbungen enthalten. Bei Spezifikationen wäre es sogar ziemlich unsinnig, sie als Hierarchien mit multipler Vererbung anzusehen. Denn sorgfältiges Anstreichen kann nur zu Anstreichen in einer Spezifikations-Beziehung stehen, nicht aber zu Sorgfalt, weil nach der obigen Analyse diese Sorgfalt im sorgfältigen Anstreichen gar nicht unabhängig vom Anstreichen existiert. Linguistisch gesprochen: Der Ausdruck „sorgfältig“ hat keine vollständige Bedeutung ohne die Angabe einer bestimmten Tätigkeit. Nur bei Spezialisierungen sind multiple Vererbungen der Regelfall. Bei ihnen erhält man multiple Vererbungen, sobald es zwei oder mehr Dimensionen gibt, in denen die Spezialisierung erfolgen kann. Abbildung 9.6 zeigt eine solche multiple Vererbung (die in diesem Fall eine doppelte Vererbung ist) anhand des Beispiels *Anstreichen eines Hauses von außen*.

Multiple Vererbungen werden bewusst und gemessen an den Ergebnissen der Diskussionen in diesem Kapitel auch in der *Gene Ontology* (GO) korrekt eingesetzt.¹⁷² Das *Gene Ontology Consortium* führt dazu aus, dass „Ausdrücke in GO in Strukturen organisiert sind, die gerichtete azyklische Graphen (*directed acyclic graphs*, DAGs) genannt werden, welche sich von Hierarchien darin unterscheiden, dass ein ‚Kind‘ (ein stärker spezialisierter Ausdruck) viele ‚Eltern‘

¹⁷² The Gene Ontology, <http://www.geneontology.org/>. Für eine kritische Diskussion einiger Aspekte der *Gene Ontology* vgl. Smith 2005b.

(weniger stark spezialisierte Ausdrücke) haben kann“.¹⁷³ Das GO-Konsortium verwendet den Ausdruck „*specialisation*“ zwar als ein Synonym für „*is_a*-Beziehung“, aber immer wenn ein „Kind“ in ihren Graphen wirklich mehr als ein *is_a*-Elternteil hat, dann ist mindestens eine der *is_a*-Relationen, um die es geht, eine Spezialisierung in der hier verwendeten engen Sinn.

Ein Beispiel zur Veranschaulichung: In der GO-Ontologie für Molekular-Funktionen gibt es den Eintrag *Endo-Desoxyribo-Nuklease-Tätigkeit* (GO:0004520; Bindestriche von mir), der in *is_a*-Beziehungen sowohl zu *Desoxyribo-Nuklease-Tätigkeit* (GO:0004536) als auch zu *Endo-Nuklease-Tätigkeit* (GO:0004519) steht; diese beiden „Eltern“ stehen wiederum in *is_a*-Beziehungen zu *Nuklease-Tätigkeit* (GO:0004518). Wenn man von den Pfeilen in den GO-Graphen absieht, lassen sich diese Spezialisierungen wie in Abbildung 9.7 darstellen:

Abb. 9.7: Ein Spezialisierungsschema mit Beispielen aus der *Gene Ontology*

| Nuklease-Tätigkeit | |
|------------------------------------|-------------------------|
| Desoxyribo-Nuklease-Tätigkeit | Endo-Nuklease-Tätigkeit |
| Endo-Desoxyribo-Nuklease-Tätigkeit | |

Dies ist nur eines von zahlreichen Beispielen von Spezialisierungen, die man der GO entnehmen kann. Eine Nuklease-Tätigkeit ist eine Tätigkeit (ausgeübt von einem Enzym), die katalytisch auf die Hydrolyse von Ester-Bindungen in Nukleinsäuren wirkt. Eine solche Tätigkeit kann hinsichtlich mindestens zweier Dimensionen spezialisiert werden:

- hinsichtlich der Frage, was bearbeitet wird (Desoxyribonukleinsäure, DNS, oder Ribonukleinsäure, RNS), und
- hinsichtlich der Frage, von wo aus diese Tätigkeit stattfindet, d.h. ob es um das Spalten eines Moleküls von Positionen innerhalb des Moleküls aus („Endo“) geht oder um das Spalten von seinen freien Enden her („Exo“).

¹⁷³ Gene Ontology Consortium, *An Introduction to Gene Ontology*, online unter: <http://www.geneontology.org/GO.doc.html> (23.02.2004), 3: „GO terms are organized in structures called directed acyclic graphs (DAGs), which differ from hierarchies in that a ‘child’ (more specialized term) can have many ‘parents’ (less specialized terms).“

Da nichts daran hindert, beide Dimensionen gleichzeitig zu variieren, ergibt sich das in Abbildung 9.7 dargestellte Schema für „Nuklease-Tätigkeit“, das vollkommen analog zu dem in Abbildung 9.6 dargestellten Schema für „Anstreichen“ ist.

Spezialisierungen erlauben multiple Vererbung, und oft erfordern sie diese. Sie unterscheiden sich daher strukturell von Genus-Subsumption, Determinablen-Subsumption und Spezifikation. Bisher wurden nur solche Hierarchien oder Graphen behandelt, die aus nur einer dieser Arten von *is_a*-Beziehungen bestehen. Die verschiedenen *is_a*-Beziehungen können aber auch miteinander kombiniert werden. (Sie können darüber hinaus auch, wie in GO, mit der Relation *part_of* verknüpft werden.) Auch in solchen gemischten Fällen kann multiple Vererbung der normale und erforderliche Fall sein. Zwei Beispiele sollen dies verdeutlichen.

Abb. 9.8: Schema mit kombinierter Spezifikation und Determinablen-Subsumption

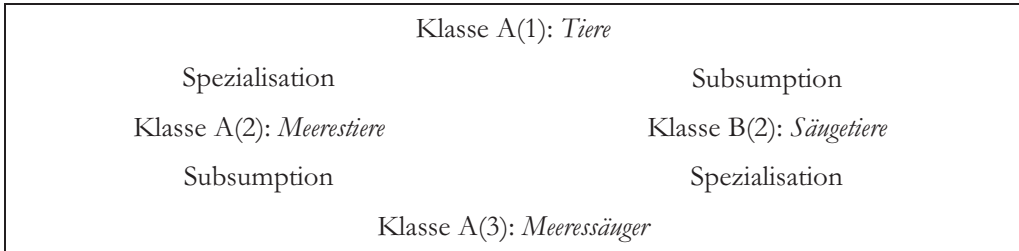


Das erste Beispiel ist in Abbildung 9.8 dargestellt. „Sorgfältig Anstreichen“ ist dort einer doppelten Vererbung unterworfen. Die auf der linken Seite der Tabelle dargestellte *is_a*-Beziehung ist eine Subsumption, aber die auf der rechten Seite dargestellte Relation ist eine Spezifikation. Betrachtet man die ganze Tabelle, bemerkt man eine Symmetrie: Zwei Spezifikationen stehen sich ebenso diagonal gegenüber wie zwei Subsumptions-Relationen.

In traditionellen nicht-phylogenetischen Klassifikationen von Lebewesen sind die artbildenden Differenzen (die *Differentiae specificaе*) Eigenschaften (im weiten Sinne), die in den Organismen inhärieren. Jedoch kann man Organismen natürlich auch danach zu klassifizieren versuchen, wo, wann und worauf sie ihre verschiedenen Tätigkeiten ausüben. Einige leben auf dem Land und einige im Meer; einige schlafen in der Nacht und einige am Tag; einige essen Fleisch und einige tun dies nicht. Über den Umweg der Tätigkeiten der Tiere können Tierklassen daher auch zu Relata in Spezialisations-Beziehungen wer-

den. Die meisten Säugetiere leben auf dem Land, aber Wale leben im Meer. Wir können daher von „Meeressäugern“ sprechen, die wie in Abbildung 9.9 in ein *is_a*-Schema eingeordnet werden können.

Abb. 9.9: Schema mit kombinierter Spezialisierung und Genus-Subsumption



Mehrfach wurde bereits die Relation **instance_of** ist erwähnt (zum Beispiel am Anfang von Kap. 9.2). Um jedes Missverständnis zu vermeiden, muss sie nun noch einmal erwähnt werden. Alles, was über multiple Vererbung gesagt wurde, bezieht sich allein auf *is_a*-Beziehungen und nicht auf die Relation **instance_of**. Trivialerweise kann ein Individuum viele Universalien instantiieren und zu vielen Klassen gehören. In diesem ganz besonderen Sinn könnte man bei Individuen von „multipler Vererbung“, besser aber von „multipler Instantiierung“ sprechen, wenn sie etwa den Feldern einer Matrix wie in Abbildung 9.10 zugeordnet werden. Solche Matrizen werden oft in den Sozialwissenschaften oder auch der medizinischen Epidemiologie verwendet, um Korrelationen darzustellen. Ein einfaches Beispiel ist die fiktive Gegenüberstellung politischer Ansichten und politischen Interesses in Abbildung 9.10. Jedes der hundert Individuen, das einem dieser Felder zugeordnet worden ist, hat eine „multiple Instantiierung“: Einerseits instantiiert es eine der Universalien *Republikaner*, *Demokrat* und *Unabhängiger*, andererseits exemplifiziert es eine der Universalien *hohes_politisches_Interesse*, *mittleres_politisches_Interesse* und *niedriges_politisches_Interesse*.

Abb. 9.10: Korrelationsmatrix, die politische Ansicht (Spalten) und politisches Interesse (Zeilen) miteinander in Beziehung setzt (Quelle: Asplund 1968).

| | <i>Republikaner</i> | <i>Demokraten</i> | <i>Unabhängige</i> |
|----------------|---------------------|-------------------|--------------------|
| <i>Hoch</i> | 14 (Personen) | 16 | 5 |
| <i>Mittel</i> | 19 | 17 | 7 |
| <i>Niedrig</i> | 5 | 5 | 12 |

Jede der vierzehn Personen im Feld links oben „erbt“ gewissermaßen zwei Eigenschaften: ein hohes politisches Interesse zu haben und Republikaner zu sein. Solche Tabellen dürfen aber auf keinen Fall mit Tabellen wie denen in Abbildung 9.6–9.9 verwechselt werden. Man beachte, dass ein Individuum, wenn es Instanz einer Klasse ist, automatisch auch Instanz aller Klassen ist, die diese Klasse subsumieren.

9.6 Philosophie und Informatik

Keine wissenschaftliche Beobachtung kann ohne Klassifikation mitgeteilt werden; folglich kommt auch die Wissenschaft nicht ohne Klassifikation aus. Eine solche Klassifikation wird allerdings nicht immer in systematischer Weise entworfen. Auch die Alchemisten des Mittelalters verfügten über umfangreiche Klassifikationen chemischer Stoffe, und kräuterkundige Heiler entwickelten in großem Stil Klassifikationen von Pflanzen. Aber in keinem dieser Fälle entstand eine systematische Klassifikation mit expliziten Prinzipien. Alchemisten und Kräuterkundige waren vielleicht eher an praktischen Anwendungen interessiert, sodass sie sich an diesem Defizit ihrer Klassifikationen nicht störten. Jedoch änderten sich durch das Aufkommen der modernen Chemie und Biologie die Dinge drastisch: Bemerkenswert systematische Taxonomien wurden geschaffen, die bemerkenswerte Auswirkungen auf den Fortschritt der Wissenschaften hatten.

Heute unterstützen Informationswissenschaftler andere Wissenschaftsdisziplinen und alle möglichen praktischen Anwender darin, ihre jeweiligen Klassifikationen in systematischer Weise anzulegen. Dies kann nur funktionieren, wenn die Prinzipien der Klassifikationsentwicklung bewusst gemacht und explizit formuliert werden. Dazu gehört, dass (a) der Unterschied zwischen Klassen und bloßen Mengen beachtet und (b) die verschiedenen Arten von *is_a*-Beziehungen, die hier unterschieden wurden, nicht miteinander vermengt werden. Vieles von dem, was auf rein pragmatischer Basis entwickelt worden ist, enthielt implizit Prinzipien, die erst später expliziert wurden. Nachdem diese Prinzipien aber einmal entdeckt worden sind, können sie bewusst und kontrolliert eingesetzt werden, wodurch zukünftige Arbeiten an ähnlichen Problemen leichter wird. Die Urheber der *Gene Ontology* haben sich dafür entschieden, nicht auf der Grundlage der Mengentheorie, sondern auf der Basis der gerichteten azyklischen Graphen zu arbeiten, ohne dass sie die Besonderheit der von ihnen dargestellten *is_a*-Beziehung explizit gemacht hätten. Zu-

künftige Generationen von Informationswissenschaftlern können ihre Darstellungsmittel nun gezielt wählen, je nachdem, welche der hier unterschiedenen *is_a*-Beziehungen sie darstellen müssen.

Übersetzung: Ludger Jansen

Kapitel 10

Die Ontologie des Embryos

BARRY SMITH UND BERIT BROGAARD

10.1 Einleitung

Nachdem in den bisherigen Kapiteln gezeigt worden ist, in welcher Weise Ontologie für die Repräsentation biomedizinischen Wissens unabdingbar ist, soll nun ein weiteres Anwendungsgebiet der biomedizinischen Ontologie aufgezeigt werden: die Ethik. Wann beginnt menschliches Leben? Ab wann kann man in der Ontogenese des Menschen davon sprechen, dass ein menschliches Individuum vorliegt? Diese Fragen sollen im Folgenden vor dem Hintergrund der Ontologie diskutiert werden. Ihre Relevanz für die Medizinethik dürfte unumstritten sein, doch sollte man sich vor voreiligen normativen Schlüssen hüten: Was folgt, ist eine ontologische Abhandlung, und es versteht sich von selbst, dass keine ethischen Folgerungen direkt aus den Antworten auf ontologische Fragen gezogen werden können. Den Lesern, die glauben, Folgerungen dieser Art seien aus unserer Antwort auf die Frage, wann ein menschliches Lebewesen zu existieren beginnt, zu ziehen, sei Folgendes gesagt: (1) Es gibt viele Situationen, in denen es gerechtfertigt ist, ein menschliches Lebewesen zu töten (Selbstverteidigung ist eine solche Situation), und (2) festzulegen, wann ein menschliches Lebewesen zu existieren beginnt, legt aus sich heraus noch nicht fest, wann Werte oder andere ethisch relevante Attribute diesem Lebewesen zugeordnet werden können. Es scheint uns jedoch ebenso klar, dass eine Antwort auf die Frage, wann ein menschliches Lebewesen zu existieren beginnt, für die Antwort auf die Probleme, die sich in Zusammenhang mit den Themen der Abtreibung und der embryonalen Stammzellenforschung stellen, hilfreich sein kann.

Für die Leibesfrucht gibt es in der Biologie und Medizin viele Bezeichnungen. Je nach ihrem Entwicklungsstadium wird sie „Zygote“, „Embryo“ oder „Fötus“ genannt. Um in neutraler Weise über all diese Entwicklungsphasen des Menschen sprechen zu können, wollen wir uns hier des dänischen Aus-

drucks „Foster“ bedienen. „Foster“ bedeutet also soviel wie „organisches Individuum, das einen vollen Chromosomensatz besitzt und sich im Eileiter, dem Uterus oder dem Eileiterkanal befindet“. Im weiteren Verlauf werden wir insbesondere den Ausdruck „Individuum“ und die Phrase „sich befinden in“ einer näheren Klärung unterziehen. Für den Augenblick begnügen wir uns mit der Anmerkung, dass unser Augenmerk auf die Bedeutung der Art von Individualität gerichtet ist, die höheren Organismen – wie Menschen – eigentümlich ist. Das heißt, dass wir schließlich einen Begriff von Individualität entwickeln, für den „menschlicher Organismus“, „menschliches Lebewesen“ und „menschliches Individuum“ synonym sind.¹⁷⁴ Wir sollten vorwegschicken, dass menschliches Leben auch dann vorhanden sein kann, wenn kein menschliches Individuum gegeben ist – beispielsweise wenn menschliche Zellen zu experimentellen Zwecken von menschlichen Lebewesen entnommen wurden.¹⁷⁵

10.2 Kennzeichen einer Substanz

Die Leitfrage unserer Untersuchung ist: In welcher Phase ist das Foster zum ersten Mal mit dem menschlichen Lebewesen, wie es nach der Geburt existiert, transtemporal identisch? Gibt es einen Zeitpunkt, von dem an ein menschliches Lebewesen zu existieren beginnt – analog zum Zeitpunkt des Todeseintritts, dem Zeitpunkt, von dem an ein menschliches Lebewesen nicht mehr existiert? Um diese Fragen zu beantworten, müssen empirische Details berücksichtigt werden. Es ist beispielsweise von Bedeutung, ob die Zellen, die das frühe Foster konstituieren, eine reine Ansammlung darstellen (zum Beispiel ist ein Haufen von Sandkörnern eine solch reine Ansammlung) oder ob sie eine Art von kausaler Einheit bilden.

Wir gehen hier von der Annahme aus, dass menschliche Lebewesen und andere organische Individuen Kontinuanten sind, also dreidimensionale,

¹⁷⁴ Vgl. Wilson 1999, 3.

¹⁷⁵ Die Folgerung, zu der wir kommen werden, ist nicht originell. Argumente für diese Forderung wurden schon ausführlich von Ford 1988 vorgestellt. Ford jedoch richtet sein Argument fast ausschließlich nach einem Faktor aus: dem Faktor der Totipotentialität. Wir werden sehen, dass noch einige andere Faktoren eine Rolle spielen, einige von ihnen sind von gleicher oder gar von größerer Bedeutung für die Formulierung eines schlüssigen und überzeugenden Argumentes.

räumlich ausgedehnte Entitäten, die, wenn sie überhaupt existieren, *in toto* existieren (vgl. Kap. 5). Jeder menschliche und überhaupt jeder höhere Organismus ist eine Substanz im Aristotelischen Sinn. Das bedeutet, dass er unter normalen Umständen die folgenden sechs Bedingungen erfüllt:

- (1) Jede Substanz ist ein Träger von Veränderung. Substanzen sind Prozessen unterworfen und nehmen zu verschiedenen Zeiten konträre Eigenschaften an. (Hans ist manchmal wärmer, manchmal kälter.)
- (2) Jede Substanz erfüllt die Bedingung, dass sie nicht zugleich weiter existieren und eine andere Substanz werden kann, d.h. sie verbleibt die numerisch identische Substanz vom Beginn ihrer Existenz an bis zum Ende ihrer Existenz, auch wenn sie Veränderungen verschiedenen Ausmaßes und verschiedener Art unterworfen ist. (Hans ist die gleiche Substanz, die er am Morgen war, auch wenn sich seine Temperatur verändert hat.)
- (3) Jede Substanz ist räumlich ausgedehnt und hat somit räumliche Teile. Eine Substanz kann einige ihrer räumlichen Teile verlieren, ohne ihre Identität zu verlieren. (Meine räumlichen Teile sind beispielsweise meine Arme, Nieren und Zellen.)
- (4) Jede Substanz besitzt ihre eigene vollständige, zusammenhängende äußere Grenze – wie die Oberfläche einer Kugel oder eines Torus – die ihr Inneres von ihrem Äußeren scheidet und sie zugleich räumlich von anderen Substanzen trennt. Substanzen unterscheiden sich durch diese zusammenhängende äußere Grenze von nicht-abgetrennten Teilen von Substanzen. Letztere können nur durch Abtrennung zu Substanzen werden, wenn sie eigene vervollständigte und zusammenhängende Grenzen bekommen.
- (5) Jede Substanz ist in dem Sinne zusammenhängend, dass ihre Teile nicht durch räumliche Lücken voneinander getrennt sind. (Substanzen unterscheiden sich somit von Haufen oder Aggregaten von Substanzen.)
- (6) Jede Substanz ist eine unabhängige Entität in dem Sinne, dass sie zu ihrer Existenz keiner anderen Entität bedarf. (Im Gegensatz dazu bedürfen beispielsweise ein Lächeln, ein Erröten oder ein Kopfschmerz anderer spezifischer Entitäten als Träger oder Vermittler.)

Dass diese Bedingungen von erwachsenen menschlichen Lebewesen, die aus einer normalen fötalen Entwicklung hervorgegangen sind, erfüllt werden, sagt uns der Commonsense.

Der Ausdruck „Grenze“, wie er in 4. verwendet wurde, bezieht sich auf eine scharfe Grenzziehung zwischen Materie niedriger Dichte (Luft und Wasser) im umgebenden Raum des Individuums und dessen Innerem. Die vereinheitlichende und abgrenzende Funktion von Grenzen ist mithin konsistent mit der Tatsache, dass die genauere Untersuchung von Grenzen zeigt, dass sie durchaus nicht durch eine stetige physikalische Hülle konstituiert sein müssen. Das bedeutet auch, dass der Ausdruck „Inneres“, wie er in 4. gebraucht wurde, problematisch ist. Die Grenzen organischer Individuen, wie zum Beispiel Menschen, machen sie weniger Kugeln als vielmehr Tuben oder Hohlzylindern ähnlich. Ein Teil von Hans' Grenze ist teilweise auf der Seite, die wir gewöhnlich als „das Innere“ seines Körpers bezeichnen, d.h. wenn Hans seinen Ehering verschluckt, könnten wir sagen, der Ring sei in Hans' Magen; streng (topologisch) gesprochen jedoch ist er außerhalb von Hans. Auch wird die Bedingung 4 zur Folge haben, dass siamesische Zwillinge keine Substanz sind, da sie nicht jeweils eine eigene vollständige Grenze besitzen, die sie von anderen materiellen Entitäten trennt. „Trennung“ ist hier durch den Begriff der Grenze definiert und wird im Folgenden einer weiteren Klärung zugeführt. Die Bakterien im Rachen eines Menschen sind von ihm in dem Sinn verschieden, dass sie mit ihm keine gemeinsame Grenze haben. Im Gegensatz hierzu hat jeder siamesische Zwilling einen Teil seiner Grenze mit seinem Mitzwilling gemeinsam.¹⁷⁶ Wenn siamesische Zwillinge durch eine Operation getrennt werden können, so wird jeder siamesische Zwilling eine eigenständige Substanz.

Man kann ein weiteres Licht auf den Vorgang der Trennung werfen, wenn man untersucht, was passiert, wenn eine Amöbe sich in zwei Amöben aufteilt. Dieselbe Materie ist dann zu einer Zeit als eine Substanz partitioniert und später als zwei Substanzen. Wenn man ein Geschehen dieser Art auf mikroskopischer Ebene beobachtet, ist in unmittelbarer Umgebung der Trennung ein schnelles, aber graduelles Ausdünnen der Materie zu sehen. An einem Zeitpunkt dieses Prozesses jedoch entsteht eine neue Zusammenfassung (Abgrenzung und Abschließung) von Materiemarken, die sich fast instantan bildet. Es gibt dann ein kurzes Intervall, in dem das Ausdünnen der Materie zu einem Abschluss kommt. Dieses Intervall markiert die Teilung zu zwei Sub-

¹⁷⁶ Diese gemeinsame Grenze ist freilich ein Fiat-Teil seiner Grenze, wie er in Kap. 6 erläutert worden ist. Mehr dazu in Smith und Varzi 2000 und weiter oben in Kap. 9.

stanzen aus Teilen der gleichen Materie. (Man vergleiche, wie zwei Wassertropfen fast augenblicklich zu einem werden, wenn sie zusammenfließen.) Repartitionierende Vorkommnisse dieser Art werden wir *substantielle Veränderung* nennen.

10.3 Organismen als kausale Systeme

Die bislang angeführten sechs Kriterien sind für unsere Zielsetzung noch nicht ausreichend. Eine nähere Betrachtung zeigt, dass diese Kriterien nicht nur von organischen Individuen, sondern auch von begrenzten „Haufen“ nicht lebendiger Materie (wie Planeten und Fußbällen) erfüllt sein können. Sie werden sogar von einem aus einer Schachtel gebildeten Hohlraum und darin befindlichen Holzscheiten erfüllt. Sie können sogar von einem Ganzen erfüllt werden, das ein abgeschlossenes Aquarium mit darin schwimmenden großen und kleinen Fischen ist. Darüber hinaus hängt die Erfüllung der Bedingungen nicht davon ab, wie dicht die Umhüllung ist. Die Umhüllung (Haut) eines Fußballs, beispielsweise, ist wasserundurchlässig. Jedes menschliche Wesen schwitzt und gibt dadurch Salz und Wasser durch die Haut ab.

Eine einzelne Zelle ist in unserem Sinne eine Substanz: Sie hat eine mehr oder weniger durchlässige Membran, die einen Kern, Mitochondrien, das endoplasmische Retikulum, etc. umhüllt, welche alle in einer innerzellulären Flüssigkeit schwimmen. Um zu erfassen, wie sich Zellen nach der Art menschlicher Lebewesen und anderer Organismen von Holzschachteln, Eisblöcken und ähnlichen Stücken nicht-lebendiger Materie unterscheiden, muss hier der Begriff eines vereinheitlichten kausalen Systems, das von seiner Umgebung relativ isoliert ist, eingeführt werden.

Damit eine Entität ein relativ isoliertes kausales System in dem hier relevanten Sinn darstellt, müssen folgende Bedingungen erfüllt sein:

- (7) Die externe Grenze der Entität wird von einer physikalischen Hülle oder einer Membran gebildet, die sich fast ganz über ihre Oberfläche erstreckt („fast ganz“, weil die Hülle typischerweise kleine Aussparungen – wie Poren, Münder oder Nüstern – enthält, die den Austausch von Stoffen wie Luft und Nahrung zwischen der Innen- und der Außenseite ermöglichen).
- (8) Die Ereignisse, die innerhalb der Entität stattfinden, werden unterschieden in solche, deren charakteristische Größen (wie Temperatur,

Druck, chemische Zusammensetzung, etc.) innerhalb eines gewissen Bereichs zulässiger Größen liegen, und solchen, deren entsprechende Größen außerhalb dieses Bereichs liegen. Die Ersteren fallen in eine besonders hervorstechende Familie von Arten von Ereignisfolgen (beispielsweise Verdauung) und sind oft zyklisch. Die Letzteren zeichnen sich dadurch aus, dass sie bei gleichzeitigem und gehäuftem Auftreten die Existenz der jeweiligen Entität beenden.

- (9) Die externe Membran oder Hülle dient als Schild, das die Entität von solchen äußeren Einflüssen abschirmen soll, die wahrscheinlich Ereignisse auslösen, die außerhalb des zulässigen Wertebereichs liegen.
- (10) Die Entität verfügt über eigene Mechanismen, die in der Lage sind, Folgen von Ereignissen aufrecht zu erhalten oder wieder herzustellen, die innerhalb des Bereichs zulässiger Werte ablaufen. Die Entität verfügt zudem über Mechanismen, die im Falle einer Verletzung ihre äußere Membran oder Hülle wieder aufbauen oder ersetzen.

Die beiden Begriffe – der einer Substanz und der eines relativ isolierten kausalen Systems – sind zu einem gewissen Grade voneinander unabhängig. Ein Eisblock ist eine Substanz, aber kein relativ isoliertes kausales System. Ein im Orbit kreisendes Raumschiff mit einem ausgefeilten (Selbst-)Reparatur-Mechanismus ist sowohl eine Substanz als auch ein relativ isoliertes kausales System. Eine Amöbe am Ende ihres Teilungsprozesses ist eine Substanz (vermöge des Kriteriums 4), aber zwei kausal isolierte Systeme. Sie wird fast instantan zu zwei Substanzen, wie bereits zu sehen war. Sie wird jedoch graduell zu zwei isolierten Systemen. Somit ist der Begriff eines relativ isolierten kausalen Systems bei verschiedenen Entitäten in verschiedenen Abstufungen instantiiert. Lässt man einmal sehr schnelle Phasen des Übergangs außer Acht, so ist der Begriff der Substanz entweder ganz oder überhaupt nicht instantiiert.

10.4 Die hierarchische Struktur des Organismus

Die Idee eines relativ isolierten Systems geht mindestens bis auf Spinoza (1632–1677) zurück. In seiner *Ethik* (13–16) charakterisiert er es als eine „Vereinigung von Teilen“, die größer oder kleiner werden kann, ohne dass sie ihre Natur und Identität dabei verliert. Das ist dann der Fall, so Spinoza, wenn die Proportionen und wechselseitigen Verbindungen der Teile erhalten bleiben. Spinozas bevorzugtes Beispiel für eine solche Vereinigung von Teilen

ist der menschliche Körper. Er weist darauf hin, dass der menschliche Körper hierarchisch strukturiert ist, was bedeutet, dass er eine Anzahl von Teilen enthält, die ihrerseits wieder eine Anzahl von Teilen enthalten, usw. Unter zeitgenössischen Philosophen wurde der Begriff eines relativ isolierten kausalen Systems ausführlich von dem polnischen Ontologen Roman Ingarden (1893–1970) behandelt. Er weist darauf hin, dass Organismen, um sich über die Zeit hinweg in effizienter Weise als identisch zu erhalten, zumindest in einigen Hinsichten „von der Umwelt abgegrenzt und von ihr teilweise isoliert oder – besser – abgeschirmt“ sein müssen.¹⁷⁷

Jeder komplexe mehrzellige Organismus ist ein relativ isoliertes kausales System, das modular so organisiert ist, dass es in sich viele weitere relativ isolierte kausale Systeme – sukzessive auf jeweils unteren Stufen – umfasst. Die Letzteren sind hierarchisch geordnet und zugleich teilweise miteinander verbunden (sie arbeiten in ihrer jeweiligen Funktionsweise zusammen) und teilweise durch Hüllen und Membrane voneinander abgegrenzt. Diese Hüllen und Membrane wiederum schützen ihr jeweiliges Inneres vor gewissen äußeren Einflüssen und sind durchlässig für andere Arten von Einflüssen und Substanzen. Der ganze Körper selbst ist „durch eine bestimmte Hülle – beim Menschen die Haut, bei den meisten Säugetieren das Fell – umgeben“.¹⁷⁸

Ein weiteres Beispiel eines relativ isolierten kausalen Systems innerhalb des Körpers ist das Verdauungssystem, das dank seiner Wände die aufgenommene Nahrung von anderen Körperbereichen isoliert und den Verdauungsprozess aufrecht erhält. Seine durchlässigen Membranen ermöglichen es, dass chemische Produkte des Verdauungsprozesses selektiv durch die Wände des Systems in den Blutkreislauf wandern. Ebenso sind Herz und Lunge durch geeignet aufgebaute Membranen voneinander getrennt, die die jeweiligen Prozesse, die in ihnen ablaufen, von der Umgebung abschirmen – nämlich durch den Herzbeutel (das Pericardium) und das Brustfell (die Pleura).

Diese Systeme sind nicht absolut voneinander getrennt. Sie sind eher teilweise offen und teilweise geschützt. Es bestehen zwischen ihnen Pfade, durch die ein gewisses eingeschränktes Spektrum von Stoffmengen und kausalen Einflüssen fließen können. Man beachte, dass jedes Sinnesorgan ein teilweise

¹⁷⁷ Ingarden 1971, 70.

¹⁷⁸ Ingarden 1971, 78.

offenes System ist, ein „auf eine *besondere Selektion* von äußeren Vorgängen abgestimmtes ‚offenes‘ und zugleich auch in anderer Hinsicht abgeschirmtes Teilsystem“.¹⁷⁹

10.5 Wann beginnt ein menschliches Lebewesen zu existieren?

Wir werden zunächst davon ausgehen, dass all das ein menschliches Lebewesen ist, was (1) die Bedingungen 1–10 erfüllt, (2) menschlicher Abstammung und (3) das Ergebnis einer normalen fötalen Entwicklung ist. (Wir werden später zwei weitere Bedingungen hinzufügen, aber momentan sind diese für unsere Argumentation noch nicht einschlägig.)

Wir nehmen als unproblematisch gegeben an, dass es erstens eine Ereigniskette gibt, die mit der Bewegung des Spermas zur Eizelle beginnt und weiter führt bis zur Geburt und noch weiter bis zum Erwerb von Selbstbewusstsein. Wir nehmen zweitens als ebenso unproblematisch gegeben an, dass in späteren Phasen dieser Ereigniskette ein menschliches Lebewesen involviert ist, das dann seine Identität durch die Zeit hinweg bewahrt, das aber drittens zu Beginn dieser Ereigniskette noch nicht vorhanden ist. Diese Annahmen sind so stark durch vorphilosophische Annahmen gestützt, dass es außerordentlicher Argumente bedürfte, sie zu widerlegen.

Wenn zu einem frühen Zeitpunkt in der Entwicklung des menschlichen Fötus noch kein menschliches Lebewesen vorhanden ist, zu einem späteren Zeitpunkt jedoch ein solches existiert, dann muss in der Zwischenzeit eine Veränderung stattgefunden haben – eine substantielle Veränderung. Eine analoge substantielle Veränderung – der Tod – findet am Ende des Lebens statt.

Man vergleiche den Fall einer Larve, die zum Schmetterling wird. Die gleiche Materie instantiiert zu einem bestimmten Zeitpunkt die eine Form (der Larve) und später eine andere (des Schmetterlings). Etwas Ähnliches geschieht im Laufe der Entwicklung eines Menschen. Ein gegebener Körper lebender organischer Materie instantiiert zu einem bestimmten Zeitpunkt die eine Form (beispielsweise eines Haufens von Zellen), später eine andere. Er ist dann ein menschliches Lebewesen: eine individuelle und kausal isolierte

¹⁷⁹ Ingarden 1971, 85 (kursiv im Original).

Substanz. Unsere Strategie wird es sein, aufzuzeigen, wann im Laufe der normalen menschlichen Entwicklung die Bedingungen für die Existenz eines einzigen menschlichen Individuums (menschlichen Lebewesens, menschlichen Organismus) zuerst erfüllt sind. So ist es für unsere gegenwärtigen Zwecke ausreichend, dass die Bedingungen, die aufgezeigt werden, hinreichende Bedingungen für ein menschliches Individuum sind, vorausgesetzt, sie werden auf die Ergebnisse einer normalen menschlichen Entwicklung angewendet. Wir behaupten nicht, notwendige Bedingungen dafür aufgestellt zu haben, ein menschliches Individuum zu sein. Der Umstand, dass es menschliche Lebewesen gibt, die nicht durch den normalen Entwicklungsverlauf entstanden sind, ist für die hier verfolgte Argumentation kein Problem.

10.6 Alternative Schwellenwerte

Wann erfüllt nun das Foster die zehn oben angeführten Bedingungen, eine Substanz und ein vereinheitlichtes kausales System zu sein? Die folgenden Stadien der Ontogenese des Menschen sind mögliche Kandidaten für eine Antwort:

- a. Das Stadium einer einzelligen Zygote (Tag 0)
- b. Das Stadium eines mehrzelligen Gebildes (Tage 0–3)
- c. Das Stadium der Morula (Tag 3)
- d. Das Stadium des frühen Blastozysten (Tag 4)
- e. Einnistung in die Gebärmutter (Tag 6–13)
- f. Gastrulation (Tage 14–16)
- g. Beginn der Neurulation (ab Tag 16)
- h. Formation des Hirnstammes (Tage 40–43)
- i. Ende des ersten Trimesters (Tag 98)
- j. Beweglichkeit (ca. Tag 130)
- k. Empfindsamkeit (ca. Tag 140)
- l. Von der Mutter bemerkte Kindesbewegungen (ca. Tag 150)
- m. Geburt (Tag 266)
- n. Entwicklung des Selbstbewusstseins (einige Zeit nach der Geburt)

(a) Die Zygote ist eine Substanz: Sie ist Träger von Veränderung; sie persistiert während eines Zeitintervalls; sie ist räumlich ausgedehnt und hat räumliche Teile wie den Zellkern, die Membran und die Filamente im Inneren; sie hat ihre eigene zusammenhängende äußere Grenze, die ihr Inneres von ihrem Äußeren trennt und die ihre Teile verbindet. Auf diese Weise unterscheidet sie sich von einem reinen Haufen oder einer bloßen Ansammlung von Zellen. Darüber hinaus ist die Zygote in dem Sinne eine unabhängige Entität, dass sie zu ihrer Existenz keiner spezifischen weiteren Entität bedarf. (Dadurch kann sie eine Transplantation überstehen.) Die Zygote ist darüber hinaus, wie jede andere Zelle auch, ein relativ isoliertes kausales System. Durch ihre Membran wird sie von äußeren Einflüssen abgeschirmt. Die Ereignisse, die in ihr Inneres übergreifen, sind einer Unterscheidung zwischen stabilen und kritischen Ereignissen unterworfen. Sie verfügt ferner über einen rudimentären Mechanismus, Stabilität im Falle störender Einflüsse wieder zu erlangen. Wir werden argumentieren, dass diese zygotische Substanz nicht transtemporal identisch mit dem menschlichen Lebewesen nach der Geburt sein kann, da sie prädestiniert ist, Teilungen unterworfen zu sein. Dies heißt, dass sie fast sofort nach ihrer Formierung zu existieren aufhört. Zwei Zygoten innerhalb der dünnen Membran sind nicht eine, sondern vielmehr zwei Substanzen. In unserer Terminologie heißt das, dass das zwei-zygotische Ganze das Resultat einer substantiellen Veränderung ist. Es folgt, wie später genauer zu sehen sein wird, dass die Zygote nicht mit dem erwachsenen menschlichen Lebewesen transtemporal identisch sein kann.

Es gibt noch ein weiteres Problem mit der Auffassung, dass ein menschliches Lebewesen schon mit der einzelligen Zygote vorhanden ist. Man beachte in diesem Zusammenhang so genannte „Mosaik-Chimären“ oder *twin-within-a-twin*-Individuen.¹⁸⁰ Dies sind menschliche Individuen, deren Gewebe zum größeren Teil Anzeichen von zwei verschiedenen Zell-Linien aufweisen (sie können sogar, in seltenen Fällen, von verschiedenen Vätern stammen). Mosaik-Chimären entstehen, wenn ein Spermium die Eizelle und ein anderes Spermium eine der anderen Zellen (die Polkörperchen) befruchtet, die sich zum Zeitpunkt der Formation der Eizelle trennen. Die zwei Zygoten können dann zu einem einzigen Individuum fusionieren (das dann das Resultat einer vierfachen Fusion ist). Würde man sagen, dass Zygoten schon menschliche

¹⁸⁰ Gaddis und Gaddis 1972, 30 ff., Mayr 1996 und Gilbert 1997, 186 ff.

Individuen sind, dann müsste man – wenn eine Eizelle und ein Polkörperchen befruchtet wurden – auch sagen, dass die zwei befruchteten Zellhaufen schon zwei menschliche Individuen seien. In allen anderen Hinsichten jedoch ist das Ergebnis ihrer Fusion wie jedes andere menschliche Lebewesen: Es ist eine Substanz und ein relativ isoliertes kausales System, und es hat auch sonst alle Charakteristika eines normalen menschlichen Lebewesens.

(b) Im Stadium des Mehrzelligegebildes, das unmittelbar nach der Zygotenphase entsteht, ist das Foster eher als klebrige Ansammlung von 8, 16 oder mehr Entitäten denn als eine einzige Entität zu betrachten. Diese sind nicht Eines sondern Viele. Auch wenn sie von einer dünnen, durchlässigen Membran umhüllt sind, dient diese Membran lediglich dazu, sie räumlich beieinander zu halten. Es gibt zwar einen Fluss von Nährstoffen von der Außenseite zur Innenseite der Membran, aber diese Nährstoffe dienen nur der Zellteilung und nicht dem Wachstum. Darüber hinaus gibt es keinen Austausch von Nährstoffen zwischen den Zellen des Bündels. Somit hat das Zellbündel keinen eigenen stabilitätserhaltenden Mechanismus, der nötig ist, damit das Ganze als ein kausales System aufzufassen ist. Das mehrzellige Gebilde kann nicht einmal beanspruchen, die Art von Einheit zu haben, die *colonial organisms* besitzen, wie etwa gewisse Hefepilze, deren Teile durch den Austausch von Flüssigkeiten verbunden sind. Die Zellen eines mehrzelligen Gebildes teilen sich nur, und zwar unabhängig voneinander.

Vielleicht jedoch kann man an der Auffassung festhalten, dass schon ein solches Mehrzelligegebilde ein menschliches Individuum sei. Man könnte hierfür mit dem Hinweis darauf argumentieren, dass irgendeine Zelle des Mehrzelligegebildes von der ursprünglichen Einzelzelle das Privileg geerbt hat, der Träger der Individualität des menschlichen Lebewesens zu sein, das gerade dabei ist, zu entstehen. Das Problem mit dieser Sichtweise ist, dass es der Totipotentialität widerspricht – dem Charakteristikum, aufgrund dessen jede Zelle des mehrzelligen Gebildes das volle Potential hat, ein menschliches Lebewesen auszubilden.

Um das Problem hier in den Blick zu bekommen, muss geklärt werden, wie Differenzierung funktioniert. Differenzierung ist die Schöpfung von Mustern funktional und struktural verschiedener Typen zusammenhängender Gewebe an verschiedenen Stellen aus einer Masse homogener Zellen. In unserem Fall behalten alle Zellen für immer die gleiche genetische Zusammensetzung (die-

jenige der ursprünglich befruchteten Eizelle). Die involvierten Gene enthalten das Programm für die Differenzierung (und jede der Zellen enthält das vollständige Programm). Das genetische Programm wirkt sich in verschiedenen Zellen unterschiedlich aus, nicht wegen der intrinsischen Ausgestaltung der jeweiligen Zellen selbst, sondern eher wegen ihrer jeweiligen spezifischen Umgebung und daher wegen der makroskopischen Strukturen, die sie zusammen gerade formen. Der umgebende Kontext bestimmt, dass einige der Gene innerhalb jeder der vorgegebenen Zellen unterdrückt werden, so, dass nur einige Typen von Protein erzeugt werden. Dass es die Umgebung einer gegebenen Zelle ist, die bestimmt, welche Art von Proteinen geformt (oder „ausgedrückt“) wird, ist aus Folgendem ersichtlich: Wenn Zellen einer bestimmten Art auf künstliche Weise in eine andere Umgebung transferiert werden, in der sie von Zellen eines anderen Typs umgeben sind, werden sie beginnen, die gleichen Proteine auszubilden wie die sie umgebenden Zellen. Da im Stadium des Mehrzellengebildes noch keine Differenzierung stattgefunden hat, folgt, dass es innerhalb des Zellhaufens keine Zelle oder kein Zellbündel geben kann, das aufgrund einer intrinsischen Beschaffenheit privilegiert ist.

(c) Auch bei der Formation der Morula hat noch keine Differenzierung stattgefunden. Somit kann das obige Argument auch hier Anwendung finden (auch in den unter (d) und (e) diskutierten Fällen). Jede der Zellen der Morula hat immer noch das volle Potential, ein menschliches Lebewesen zu werden. In diesem Stadium werden Verbindungen zwischen den Zellen des Gebildes geformt, die interzelluläre Kommunikation durch kleine Signalmoleküle erlauben. Die Morula erfüllt jedoch noch nicht die Bedingung 10, ein kausal isoliertes System zu sein, d.h. sie besitzt keine eigenen Mechanismen, Stabilität im Fall externer Störungen wieder herzustellen. Bestenfalls muss sie sich auf rudimentäre stabilitätserhaltende Mechanismen ihrer sie konstituierenden separierten Zellen verlassen.

(d) Im Stadium der frühen Blastozyste haben sich die Zellen in die innere Zellmasse und den umgebenden Tropoblast geteilt. Die innere Zellmasse konstituiert eher eine einzige Substanz als eine Vielheit von Substanzen. Dies ist deswegen so, weil ihre Zellen ein zusammenhängendes Ganzes bilden, das eine gemeinsame Grenze hat. Sie verfügt jedoch immer noch nicht über einen

eigenen Mechanismus, dessen verschiedene Teile im Falle einer Zerstörung zusammenwirken würden, um die Substanz aufrecht zu erhalten. Die innere Zellmasse wird sich in zwei weitere Gewebearten ausdifferenzieren, von denen nur eine Art eventuell zu einem Embryo wird. Die andere wird zu außer-embryonalen Membranen und Geweben. Dies alleine ist noch nicht entscheidend für die Bestimmung, ob die innere Zellmasse transtemporal mit dem späteren menschlichen Lebewesen identisch ist. Man könnte argumentieren, dass die erwähnten Gewebearten nur zeitliche Teile des Embryos sind, in gleicher Weise, wie Milchzähne zeitliche Teile des Kindes sind. Wichtig jedoch ist, gemäß unserer oben aufgezeigten Differenzierung, dass es bislang noch nicht bestimmt ist, welche Teile der inneren Zellmasse dafür bestimmt sind, embryonale Zellen zu werden. Tatsächlich ist es so, dass jede die gleiche Potentialität hat, durch Transplantation in eine Position gebracht zu werden, um einen eigenständigen Embryo auszuformen.¹⁸¹ Daher kann die Entwicklungsstufe des frühen Blastozysten am vierten Tag nicht das Stadium sein, in dem sich das individuelle menschliche Lebewesen bildet.

(e) Wenn der Prozess der Einnistung in die Gebärmutter zum Ende kommt, kann der Embryo damit beginnen, Nährstoffe, die er durch die Mutter erhält, für sein Wachstum umzusetzen. Er kann als Individuum beginnen zu wachsen und verschiedene Gewebearten auszudifferenzieren, die als Vorläufer von neonatalem Gewebe zu erkennen sind. Wie auch der frühe Blastozyst scheint das Foster immer noch nicht über einen eigenen Mechanismus zu verfügen, der in der Lage ist, Stabilität wieder herzustellen. Es ist somit noch kein relativ isoliertes kausales System im hier veranschlagten Sinn. Die Identifikation des Fosters mit dem späteren menschlichen Lebewesen sieht sich nun mit einem weiteren Problem konfrontiert: Durch seine jetzt intensivierte Aktivität und sein intensivierte Wachstum befindet sich das Foster hinsichtlich Nahrung und Sauerstoff in Abhängigkeit von der Mutter. Folgt hieraus, dass das Foster von nun an keine Substanz mehr sein kann, weil es der oben angeführten Bedingung 6 nicht mehr genügt? Selbstverständlich wird es, wenn es von der Mutter getrennt wird, fast sicher sterben. Es hätte nunmehr keine angemessene schützende Umgebung. Aber das gilt beispielsweise ebenso für einen aus-

¹⁸¹ Gilbert 1997, 186.

gewachsenen Fisch in Bezug auf das ihn umgebende Wasser und für eine Arktisforscherin bezüglich ihrer Versorgungsstation. Es ist andererseits aus dem Tierreich bekannt, dass der nicht ausgewachsene Nachwuchs oft in externen Umgebungen überleben kann. Ein Känguru-Foster wird zum Beispiel in einem sehr unreifen Stadium geboren; es ist dann etwa 2,5 cm groß und wiegt ein einziges Gramm. Nach der Geburt benützt es seine Vorderläufe, um aus dem Körper der Mutter zu krabbeln und in den Beutel der Mutter, der nach vorne offen ist und das Gesäuge enthält, zu schlüpfen. Wenn das Känguru-Baby heranwächst, verbringt es mehr und mehr Zeit außerhalb des Beutels, bis es im Alter von 7 bis 10 Monaten den Beutel für immer verlässt. Die Fruchtblase, in der sich das menschliche Foster nach der Einnistung entwickelt, ist im ontologisch relevanten Sinn vergleichbar mit dem Känguru-Beutel – nur, dass er keine offene, sondern eine geschlossene Höhle ist.

Um klar zu sehen, muss hier zwischen spezifischer Dependenz – um die es in Bedingung 6 geht – und generischer Dependenz, der Beziehung, die beispielsweise zwischen einem menschlichen Lebewesen und Sauerstoffmolekülen besteht, unterschieden werden. Wie das Känguru-Foster nicht spezifisch vom Beutel seiner Mutter abhängig ist, sondern nur von einer angemessenen Umgebung, so ist auch das menschliche Foster nicht spezifisch abhängig von seiner Mutter, sondern ebenfalls nur von einer geeigneten Umgebung, die auch durch einen Brutkasten ersetzt werden könnte. Sicher ist das Foster nicht in dem Sinn spezifisch abhängig von seiner Mutter, wie beispielsweise ein Lächeln von einem menschlichen Gesicht oder wie eine individuelle Instanz einer Farbe von der als Substrat dienenden ausgedehnten Oberfläche – diese Art von Dependenz schließt „Wanderung“ von einem Wirt oder Träger zu einem anderen aus.

(f) Ab dem 14. Tag beginnt der Prozess der Gastrulation (von lateinisch *gaster*, Magen): Ein Teil des Zellgebildes faltet sich, um eine Vertiefung zu bilden; die Seiten um diese Vertiefung schließen sich zusammen und bilden einen Hohlraum. Bei diesem topologischen Prozess von Falten bekommt das Foster eine differenzierte topologische Struktur aus unterschiedlichen Zellschichten, aus denen sich die verschiedenen Organe entwickeln werden. Mit diesem Prozess, der um den 16. Tag abgeschlossen ist, wird das Foster zu einer einzigen heterogenen Entität – es ist ein ganzes mehrzelliges Individuum. Mit der Gastrulation entstehen die kraniale Achse sowie die dorsale und ventrale Oberfläche des Embryos. Von diesem Zeitpunkt an formen sich die Grenzen einer dis-

kreten, kohärenten Entität. Das gastrulare Foster erfüllt auch die Bedingung 9, da es nun von äußeren Störungen durch seinen eigenen umgebenden Zellmantel geschützt ist, d.h. in diesem Stadium ist eine räumliche Bona-fide-Grenze ausgebildet worden, die den Embryo räumlich von außer-embryonalem Gewebe abtrennt.¹⁸² Die Gastrulation bringt einen neuen Typus von Integrität hervor, der sich dadurch manifestiert, dass von nun an Zwillingsbildung nicht mehr möglich ist.¹⁸³ Wenn eine Teilung kurz vor der Gastrulation stattfindet, führt das in fast allen Fällen zu progressiv immer schwerwiegenderen Missbildungen (siamesische Zwillinge). Solche Deformationen sind für abrupte topologische Veränderungen charakteristisch – wie Metallurgen bestätigen können, die sich mit Spannungen in Metallen auskennen. Dies alles bietet starke Gründe dafür anzunehmen, dass die Verortung des Beginns menschlichen Lebens in die Phase der Gastrulation mehr als nur eine definitionale oder begriffliche Stipulation ist – dass sie also kein Produkt dessen ist, was in der Ethik zu recht als „Dezisionismus“ verpönt ist.

Aus all diesen Gründen werden wir argumentieren, dass es die Gastrulation ist, die das Schwellenereignis des Beginns der Existenz eines menschlichen Individuums konstituiert, wenngleich auch schon in früheren Stadien menschliches Leben gegenwärtig ist.

(g) Die Neurulation kann für gegenwärtige Zwecke als ein gradueller Prozess betrachtet werden, der nahtlos alle nachfolgenden Prozesse der Hirnentwicklung, auch solcher, die nach der Geburt stattfinden, einschließt. Nicht zuletzt weil Neurulation ein gradueller Prozess ist und die Hirnentwicklung so eng mit der Entwicklung von Vernunft und Bewusstsein verbunden ist, ist oftmals die Meinung vertreten worden, dass sich der moralische Status eines menschlichen Individuums graduell von dem Zeitpunkt des Beginns seiner Existenz bis zu irgendeinem Zeitpunkt nach der Geburt ändert. Jedoch impliziert der inkrementelle Charakter der Bildung des Nervengewebes auch, dass es schwierig sein wird, eine Singularität im Prozess der Neurulation auszuma-

¹⁸² Dies stimmt mit Ford 1988 überein.

¹⁸³ In der Tat ist in der vor-gastrularen Phase nicht nur Teilung, sondern auch Fusion möglich. So konnte nachgewiesen werden, dass Mehrzelligegebilde verschiedener Mäuse künstlich zusammen geführt werden können, um eine gemeinsame kompakte Morula zu bilden (Gilbert 1997, 187).

chen, die als Schwellenereignis der Substanzformation gelten kann. Eine solche Singularität ist der Zeitpunkt, in dem die Neurulation beginnt. Dieser koinzidiert mit dem Ende der Gastrulation, die aus davon unabhängigen Gründen das von uns bevorzugte Schwellenereignis für den Beginn menschlicher Existenz ist.

(h) Eine andere solche Singularität zeigt sich zwischen dem 40. und dem 43. Tag und besteht aus der Bildung des rudimentären Hirns oder des Hirnstammes. Ein Vertreter der Alternative (h) als Schwellenereignis verlangt von uns zu akzeptieren, dass eine Veränderung in einem gewissen Teil von Materie eines Objekts eine substantielle Veränderung des Objekts als Ganzem darstellt. Die Möglichkeit, dass diese These wahr ist, schließen wir nicht kategorisch aus – eine ähnliche These könnte für das Ende eines Lebens – durch Hirntod – in Anschlag gebracht werden.¹⁸⁴ Während es jedoch vernünftig ist, den Tod als eine abrupte Veränderung zu betrachten – so, dass das gleiche Stück Materie zunächst eine und dann eine andere Form instantiiert –, scheint es doch schwierig, irgendein ähnlich abruptes Schwellenereignis mit dem zu assoziieren, was doch letztlich nur eine Phase der Intensivierung des Prozesses der Neurulation ist. Diese betrifft den ganzen Körper vom 16. Tag an. Möglicherweise ist eine Veränderung dieser Art moralisch bedeutsam und kann so für die Entscheidung ethischer Fragen wichtig sein, aber er markiert nicht den Beginn eines menschlichen Individuums.

(i) Der Schwellenzeitpunkt, bis zu dem in vielen Ländern eine Abtreibung legal ist, ist das Ende des dritten Monats. In diesem Stadium verfügt das Föetus, wie allgemein angenommen wird, über sichtbare Züge eines prototypischen menschlichen Lebewesens. Da jedoch der Prozess, einem menschlichen Lebewesen ähnlich zu werden, ein gradueller Prozess ist, scheidet auch dieser Zeitpunkt als Schwellenwert aus, eine substantielle Veränderung zu markieren.

¹⁸⁴ Vgl. Hershenov 2002, der auf eine Asymmetrie in Olson 1997a und Olson 1997b hinweist. Olson bringt die Hirnstamm-Zerstörung als Kriterium zur Todeszeitbestimmung eines menschlichen Lebewesens in Anschlag, während er zugleich die Bildung des Hirnstammes als Kriterium für den Beginn menschlichen Lebens vertritt.

(j) Es ist oft vorgeschlagen worden, dass ein menschliches Individuum dann beginnt, wenn das Foster lebensfähig ist, d.h. wenn es auch außerhalb des Mutterleibes leben kann. Das Argument hierfür ist, dass das Foster vor diesem Zeitpunkt nicht unabhängig von seiner Mutter leben kann. In dieser Hinsicht ist es analog zu einem Organ der Mutter, das nur in der geeigneten Umgebung existieren und funktionieren kann. Das Problem hinsichtlich dieser Sichtweise ist, dass der Übergang zur Lebensfähigkeit an sich nicht mit dem Übergang von einer Entität zu einer anderen konnotiert ist. Er ist eher eine reine „Cambridge-Veränderung“, wie sie auch in dem Satz „Maria hat gerade aufgehört, die größte Spielerin im Team zu sein“ ausgedrückt wird. Hier verändert sich zwar der Wahrheitswert des Satzes „Maria ist die größte Spielerin im Team“, aber diese beruht nicht auf irgendeiner Veränderung von Maria, sondern auf einer Veränderung ihrer Umgebung: Eine größere Spielerin ist neu in das Team aufgenommen worden. Die Entwicklung der Lebensfähigkeit ist deswegen von dieser Art, weil die Ausbildung stärkerer Muskeln zwar eine reale (jedoch keine substantielle) Veränderung darstellt, die Erfüllung des Lebensfähigkeits-Kriteriums hingegen nicht von derartigen physischen Veränderungen des Fosters abhängt. Es kann auch erfüllt werden, wenn sich durch technischen Fortschritt die weitere Umwelt des Fosters verändert.

(k) Von einigen¹⁸⁵ wird der Erwerb von Empfindsamkeit als der Zeitpunkt ausgemacht, in dem ein menschliches Lebewesen zu existieren beginnt (dies basiert auf der Identifikation eines menschlichen Lebewesens mit einem zur Empfindung fähigen menschlichen Organismus). Eine solche dispositionelle Eigenschaft bedarf in jedem Fall einer zugrunde liegenden Basis, die selbst nicht rein dispositionell ist. In diesem Fall könnte die korrespondierende physikalische Veränderung in der Zunahme der Komplexität der Nervenverbindungen im Gehirn liegen. Das bedeutet jedoch, dass die Vertreter der Alternative (k) uns nahelegen, zu akzeptieren, dass die Veränderung in einem bestimmten Teil der Materie eines Objekts eine substantielle Veränderung des ganzen Objektes konstituieren würde. Die Argumente gegen die Alternative (h) finden somit auch hier Anwendung.

¹⁸⁵ Zum Beispiel von Lockwood 1985.

(l) Beweglichkeit bezeichnet den Zeitpunkt, an dem zuerst die Bewegungen des Fosters gefühlt werden können. Historisch war das häufig der Zeitpunkt, ab dem Abtreibung als illegal galt. Trotzdem zeichnet Beweglichkeit keine Veränderung des Fosters aus. Es zeichnet eher eine Veränderung in der (phänomenalen) Relation zwischen Foster und Mutter aus. Wiederum ist die zugrunde liegende Veränderung eine graduelle – eine Veränderung der Komplexität und der Intensität fötaler Bewegungen – und somit ist sie nicht kennzeichnend für eine substantielle Veränderung, die allein hier relevant ist.

(m) Viele haben geglaubt, dass es das Ereignis der Geburt ist, das den Beginn des menschlichen Lebewesens auszeichnet. Man betrachte beispielsweise die Auffassung des Talmuds, dass das Foster ein Gewebe der Mutter ist und dass es erst, wenn es den Mutterleib verlässt, als eigenständige Substanz zu existieren beginnt. Wir werden jedoch an späterer Stelle argumentieren, dass die Geburt nur den Übergang des Fosters von einer Umgebung in eine andere darstellt (so wie wenn eine Astronautin ihr Raumschiff verlässt). Sie ist somit ein Prozess, der keinerlei substantielle Veränderung der Entität, die er betrifft, darstellt. Wenn ein menschliches Lebewesen bei seiner Geburt zu existieren beginnt, dann existiert es auch in den Minuten vor seiner Geburt – und unsere Frage, wann ein menschliches Individuum zu existieren beginnt, stellt sich von neuem.

(n) Die letzte Alternative wäre, den Beginn eines menschlichen Lebewesens mit dem Erwerb einer besonderen Eigenschaft nach der Geburt gleichzusetzen. Diese spezielle Eigenschaft ist diejenige, die aus dem Foster ein menschliches Lebewesen macht. Ein offensichtlicher Kandidat hierfür wäre (zumindest seit Locke) das Bewusstsein, und, spezieller, das Selbstbewusstsein.¹⁸⁶ Auch diese Alternative setzt sich den Argumenten aus, die in Zusammenhang mit den Punkten (h) und (k) vorgebracht wurden. Vor allem jedoch scheint es schwierig, dem Übergang zu Bewusstsein ein abruptes Schwellenereignis zuzuordnen. Ein solches würde eine substantielle Veränderung im

¹⁸⁶ Man vergleiche Brody 1975 und Tooley 1983, 167. Tooley argumentiert dahingehend, dass das Personsein der fraglichen Entität mit deren Fähigkeit beginnt, die Kontinuität der eigenen Existenz als relevant zu erachten.

Organismus als einem Ganzen konstituieren. Das Hauptargument gegen die Alternative (n), wie auch gegen die Alternativen (h) bis (m), ist jedoch, dass schon auf einer früheren Stufe ein Individuum geformt wurde (nämlich auf der Stufe der Gastrulation bzw. Neurulation). Dieses Individuum erfüllt schon alle unsere Bedingungen, ein menschliches Lebewesen zu sein. Dieser Umstand lässt keinen ontologischen Spielraum für einen zweiten Beginn menschlicher Existenz.¹⁸⁷ Das gleiche individuelle Lebewesen kann nicht zu zwei verschiedenen Zeitpunkten zu existieren beginnen.

10.7 Zwillingsbildung

Auch wenn definitiv feststünde, dass in der Phase der Gastrulation ein menschliches Wesen schon existiert, so bliebe noch die Frage, ob dieses Individuum in einer früheren Phase schon existierte.

Gehen wir noch einmal zur Zygote, zum Foster in seiner einzelligen Phase zurück. Diese erfüllt, wie gesagt, unsere zehn Bedingungen, aber sie verfehlt das erste Stadium des echten Menschseins, weil sie zur unmittelbaren Teilung bestimmt ist. Die Zygote ist, so könnten wir sagen, aktual eins, aber potentiell viele. Alle organischen Entitäten verlieren Teile durch die Zeit hindurch (wie der Mensch Haare und Haut verliert). Einige organische Entitäten, wie zum Beispiel Amöben, Plattwürmer, Schimmelpilze und Hefen, können sogar auf natürliche Weise (d.h. ohne äußere Einwirkung) in zwei oder mehrere Entitäten aufgeteilt werden, die einander ähneln.¹⁸⁸ Menschliche Wesen und andere höhere Organismen sind im Gegensatz dazu einheitliche Individuen im strengen Sinn, die einer solchen Teilung nicht unterworfen sein können (oder, wenn sie es können, dann nur bei massiver äußerer Intervention). Sie erfüllen also die folgende Bedingung:

- (11) Eine Entität ist dann und nur dann nicht-teilbar, wenn ihre Teile so miteinander verbunden sind, dass es nicht möglich ist, dass sie sich in sich und durch sich selbst so teilt, dass sie aufhört zu existieren und zwei oder mehrere Entitäten, die die Bedingungen 1–10 erfüllen, daraus entstehen.

¹⁸⁷ Vgl. Olson 1997b.

¹⁸⁸ Vgl. Wilson 1999.

Der Ausdruck „in sich und durch sich selbst“ ist hier eingefügt worden, um Fälle auszuschließen, in denen menschliche Wesen Subjekte einer Teilung durch äußere Einwirkung sind (zum Beispiel durch eine Art dreidimensionalen Kopierprozesses), wie sie im Moment nur als Idee in Science-fiction-Kontexten vorzufinden sind.

Pflanzen und Pilze können durch Teilung neue Individuen bilden, weil ihre Zellen relativ undifferenziert sind. Ähnliches gilt für manche Wurmarten. Im Falle höherer Organismen wie Säugetiere jedoch nimmt das Foster gegen Ende der Gastrulation den Charakter eines heterogenen Individuums an, das von Zellen gebildet wird, die verschiedene regionale Eigenschaften – abhängig von ihrer Lage im Organismus – besitzen. Die Teilung des Zytoplasmas beginnt nach der Einnistung, wenn die Eigenschaften der bestimmten Zellen von ihrer Position in der Blastula abhängen, die wiederum durch die früheren Teilungen bestimmt wird. Diese so festgesetzten verschiedenen regionalen Eigenschaften bestimmen die verschiedenen Wege der jeweiligen Zellen in der massiven Verschiebung des Zytoplasmas und die daraus entstehenden Faltungen und Verbindungen – nämlich die Gastrulation. Wenn diese Reorganisation vervollständigt ist, ist eine natürliche Teilung des ganzen Fosters, die ein nachfolgendes Foster produziert, unmöglich. Denn die aus dieser Teilung resultierenden Teile würden die für eine neue Weiterentwicklung notwendige Programmierung für diese Art Faltung und Wiederverbindung nicht besitzen.

Es ist bekannt, dass in jedem vor-gastrularen Stadium das Foster so geteilt werden kann, dass aus ihm zwei oder mehrere verschiedene menschliche Wesen entstehen. Somit schließt die Bedingung 11 die Phasen (a) bis (e) aus. Es folgt daraus, dass auch in den Fällen, in denen die Zwillingsbildung nicht geschieht, ein Foster in irgendeiner Phase, in denen die Zwillingsbildung möglich ist, nicht mit dem menschlichen Wesen nach der Geburt transtemporal identisch sein kann. Es gibt jedoch auch Fälle, in denen trotz der Möglichkeit zur Zwillingsbildung die Identität geerbt wird: Im amerikanischen Bürgerkrieg hätte es leicht passieren können, dass sich die Vereinigten Staaten in zwei voneinander unabhängige politische Entitäten teilen; trotzdem betrachten wir die Vereinigten Staaten vor und nach dem Bürgerkrieg als dieselbe politische Entität. Könnte man, bei analoger Argumentation, daraus schließen, dass die Identität auf ähnliche Weise durch die gastrulare Teilung vererbt werden kann? Um die Vorzüge einer solchen These zu überprüfen, müssen

die möglichen Szenarien der Substanzbildung bei Teilung genauer analysiert werden. Es lassen sich dabei drei Szenarien wie folgt unterscheiden:

Im ersten Szenario entsteht ein Zwilling durch Knospung eines neuen menschlichen Individuums aus einem schon existierenden Individuum. Zwillingsbildung wäre dann eine Art Klonen, ein Prozess, in dem das menschliche Individuum, auch in einer Phase, in der die Zwillingsbildung noch möglich ist, schon existiert. Solche Phänomene sind aus dem Pflanzenreich bekannt, denn der aus einer Pflanze entnommene Ableger kann in den Boden eingepflanzt werden und so eine neue Pflanze erzeugen, ohne dass die ursprüngliche Pflanze aufhören würde, als ein selbständiges Individuum zu existieren. Nun verläuft die Entwicklung eines Menschen aber deutlich anders als die der Pflanzen: Wenn von einer vollständig entwickelten Pflanze ein Stück abgetrennt wird, dann wird dadurch nicht eine Zelle oder eine Masse von Zellen in zwei geteilt. Analog zu dieser Situation wäre eher das Entstehenlassen eines menschlichen Individuums aus einem abgetrennten menschlichen Finger.

Im zweiten Szenario besteht Zwillingsbildung in einem Prozess der Trennung zweier schon vorhandener Individuen. Im Falle der Zwillingsbildung würden dann beide überleben und zwei unabhängige Individuen bilden. Was aber, wenn die Zwillingsbildung nicht geschieht? Entweder ist einer der zwei Teile des Fosters transtemporal identisch mit dem menschlichen Individuum, das geboren wird, oder die Identität bezieht sich auf das Foster als Ganzes, wie es in einer Phase existiert, in der Zwillingsbildung durch Trennung noch möglich ist.

Die erste dieser Alternativen kann aus apriorischen Gründen zurückgewiesen werden. Erstens impliziert sie – falls Zwillingsbildung nicht geschieht – einen spezifischen Prozess, in dem ein menschliches Wesen in sich selbst eine andere Entität mit exakt der gleichen Form und Struktur integriert. Diese Alternative lässt zudem die Frage unbeantwortet, warum die eine und nicht die andere Hälfte des ganzen Fosters vor der Gastrulation das menschliche Wesen nach der Geburt sein sollte. Somit liefert sie kein Kriterium, mit dem das menschliche Individuum identifiziert werden kann, solange eine solche Zwillingsbildung noch möglich ist.

Die zweite Alternative lässt sich nicht so leicht ausschließen. Nehmen wir die Vereinigten Staaten in der Zeit unmittelbar vor dem Bürgerkrieg an, in einer Zeit also, in der die Trennung einer einzigen ganzen Entität in zwei Teile noch möglich war. Die Vereinigten Staaten waren aktual eins, aber potentiell zwei. Jedoch blieb die Trennung tatsächlich aus. Kann man dann nicht

durch Analogie sagen, dass, solange die Zwillingsbildung durch Trennung noch möglich ist, auch wenn sie nicht tatsächlich geschieht, der ganze Forster transtemporal identisch mit dem menschlichen Individuum nach der Geburt ist? Es gibt einen wichtigen Unterschied zwischen dem vor-gastrularen Foster und dem Bürgerkriegs-Beispiel: Die Vereinigten Staaten im Jahr 1860 waren nämlich bereits eine Entität derselben Art wie diejenige, als die die Vereinigten Staaten nach 1866 existierten. Eine Analogie zwischen dem Fall des Bürgerkriegs und unserem Fall würde nur dann bestehen, wenn auch das vor-gastrulare Foster bereits als eine Entität derselben Art wie das menschliche Wesen nach der Geburt existiert – aber genau das ist eben hier die strittige Frage.

In dem dritten Szenario schließlich besteht die Zwillingsbildung in einer Fission, d.h. einem Prozess, der zwei neue Individuen hervorbringt und nicht bloß zwei bereits existierende Individuen voneinander trennt. In diesem Fall, so könnte man argumentieren, hat das Foster eine Struktur analog der einer Amöbe. Hierbei sind die inneren Verbindungen nicht stark genug, um eine Fission zu verhindern, sie sind jedoch stark genug, um eine Einheit zu bilden. Hier, wie im Fall der Vereinigten Staaten im Jahr 1860, ist es kein Problem zu behaupten, dass die Identität einer Amöbe während eines Intervalls erhalten bleibt, in dem eine Fission möglich ist – auch wenn diese nicht stattfindet. Aus dieser Analogie zu schließen, dass das menschliche Wesen bereits in der vor-gastrularen Phase existiert, würde wieder das Problem verfehlen, postuliert es doch die Einheit des Fosters bereits zu einer Zeit, in der Zwillingsbildung noch geschehen kann.¹⁸⁹

Als Ergebnis kann festgehalten werden, dass wir in der Tat die Möglichkeit der Existenz des menschlichen Wesens bereits vor der Gastrulation annehmen können – aber nur, wenn weiter angenommen wird, dass menschliche Wesen so wie Amöben, Plattwürmer und Republiken die Potentialität der Teilung in sich enthalten können. Alternativ dazu können wir im Sinne der Bedingung 11 darauf bestehen, dass die Existenz des menschlichen Wesens (oder anderer höherer Organismen) die Art Einheit (die durch die Gastrulation erzeugt wird) voraussetzt, welche diese Potentialität ausschließt. Beide Meinungen implizieren aufgrund apriorischer Gründe, dass Menschen spätestens sechzehn Tage nach der Befruchtung anfangen zu existieren. Empirische

¹⁸⁹ Vgl. besonders Ford 1988, 111 ff., 172 f.

Überlegungen zur Biologie der vor- und nach-gastrularen Entwicklung erlauben uns, den wesentlichen Übergang am Ende des sechzehnten Tages zu datieren.¹⁹⁰

10.8 Der Begriff der Nische

Es bleiben noch einige Probleme zu lösen. Betrachten wir Hans' Herz: Dies ist eine Substanz und ein relativ geschlossenes kausales System. Es ist nicht teilbar. Es ist ein Ergebnis menschlicher Reproduktion. Trotzdem ist es selbst kein menschliches Lebewesen, denn es ist keine maximale Entität, die diese Bedingungen erfüllt: Es gehört als echter Teil zu Hans' Organismus als einem Ganzen. Wir müssen somit einige weitere Bedingungen unserer Liste hinzufügen, die bewirken sollen, dass eine Substanz maximal in einem relevanten Sinn sein muss, um als ein menschliches Lebewesen zu gelten. Diese Aufgabe ist keineswegs trivial. Maximalitätsbetrachtungen jedoch bringen den zusätzlichen Vorteil, dass sie Licht auf das genaue Verhältnis zwischen Foster und Mutter zu werfen erlauben.

Das Problem, dem wir ausgesetzt sind, wenn wir Maximalitätsbedingungen formulieren wollen, beruht darauf, dass Hans nicht während aller Phasen seiner Existenz eine maximale kausal isolierte Substanz ist. Man nehme an, Hans befinde sich im Inneren eines Raumschiffs und kontrolliere dessen Funktion. Die mereologische Summe aus Hans und dem Raumschiff ist den zuvor angeführten Kriterien zufolge eine Substanz. Sie ist auch, bis zu einem gewissen Grad, ein isoliertes kausales System. Aber es gibt einen Unterschied zwischen Hans' Beziehung zu dem Raumschiff einerseits und der Beziehung von Hans' verschiedenen Zellen zu Hans' ganzem Körper andererseits. Denn Hans ist kein Teil des Raumschiffs. Somit ist er nicht in gleicher Weise in dem Raumschiff, wie beispielsweise ein Zellkern in der Zelle oder das Herz oder das Gehirn im Körper ist. Hans ist in dem Raumschiff wie etwa ein Vogel in seinem Nest oder ein Bär in seiner Höhle. Allgemeiner gesagt ist Hans in der Weise in seinem Raumschiff, wie ein Organismus in seiner Nische ist (das bedeutet unter anderem, dass er das Schiff verlassen kann und wieder zurück-

¹⁹⁰ Vielleicht ist er sogar früher zu datieren. Vgl. die von Pearson 2002 zusammengefassten neueren Erkenntnisse, nach denen sich der Körperbau der Säugetiere schon vom Beginn der Empfängnis an niederschlägt.

kehren kann, und dass er zur Kontrolle des Schiffes durch ein anderes menschliches Lebewesen ersetzt werden kann usw.).

Intuitiv gesprochen ist eine Nische ein Teil der Realität, in den ein Objekt hineinpassen kann, in den es hineingehen und den es wieder verlassen kann. Eine Nische und ihr Bewohner überlappen sich nicht (sie haben keine gemeinsamen Teile). Vielmehr *umgibt* eine Nische ihren Bewohner.¹⁹¹ Darüber hinaus muss die Nische-Bewohner-Relation eine Art von „Puffer“ beinhalten – wie Luft, Wasser oder ein anderes Medium –, in dem sich der Bewohner befindet. Der Bewohner ist dann durch dieses Medium von jeglichem umgebenden physikalischen Behälter getrennt. Die Nische und ihr Bewohner haben hierdurch keine gemeinsame Grenze, wie zum Beispiel ein Katzen-Torso mit seinem Schwanz eine gemeinsame Grenze hat. Die Umgebungsrelation zwischen einer Nische und ihrem Bewohner unterscheidet sich somit von einer Beziehung vollkommen fester Verbindung, der Art etwa, wie sie David mit dem Marmorblock hatte, bevor Michelangelo sich ans Werk machte. Es ist eher auf allen Seiten ein gewisses Ausmaß freien Spiels zwischen dem Nischenrand und dem Bewohner der Nische.

Angenommen, Hans erleidet einen Unfall, bei dem die Haut seiner gesamten Körperoberfläche zerstört wird. In einem Szenario gelingt es den Ärzten, eine neue synthetische Haut, die aus einem Material ist, das Hans' eigene Zellen nachbildet, mit seinem Körper zu verbinden. In einem anderen Szenario bilden sie eine raumanzugartige Hülle, die Hans fortan zu tragen hat. Im ersteren Fall würden wir sagen, dass die synthetische Haut Teil von Hans ist (die Ärzte haben für Hans ein neues synthetisches Organ geschaffen). Im zweiten Fall sagen wir, dass die raumanzugartige Hülle eine Nische für Hans ist, in die Hans passt und die so beschaffen ist, dass Hans und seine Nische keine Teile gemeinsam haben. Man beachte, dass hierbei der entscheidende Punkt nicht ist, aus welchem Material die Haut oder der „Raumanzug“ ist. Es ist vorstellbar, dass eine zukünftige raumanzugartige Behälter-Nische aus menschlichem Protein gemacht ist, das in webbare Plastikform transformiert wurde.

Wir können jetzt unser benötigtes ergänzendes Kriterium so formulieren, dass wir die Maximalität der in Frage stehenden Entität fordern. Intuitiv ge-

¹⁹¹ Der Begriff der umgebenden Nische, wie er hier in Anschlag gebracht wird, kann mit Hilfe mereologischer und topologischer Begriffe sowie mit Hilfe der Theorie räumlicher Lokationen präziser spezifiziert werden. Vgl. Smith und Varzi 2000.

sprochen soll eine maximale Entität im hier relevanten Sinn eine Entität sein, die nicht als bloßer Teil zu einem größeren Ganzen gehört, sondern selbst ein Ganzes ist. Eine maximale Entität gehört also entweder gar nicht zu einem umfassenderen substantiellen Ganzen, oder aber sie gehört zu einem solchen, indem sie in einer Bewohner-Nische-Relation zu diesem umfassenderen substantiellen Ganzen steht. Zusammengefasst:

- (12) Eine Entität x ist maximal genau dann, wenn jede andere Entität y , die die Bedingungen 1–11 erfüllt und x als echten Teil enthält, noch einen anderen Teil hat, der eine Nische für x ist.

Wenn also x für Hans steht, der alleine innerhalb eines Raumschiffs ist, dann ist der relevante Wert für y Hans plus das Raumschiff (d.h. die mereologische Summe aus beiden). Die relevante Nische ist gerade das Raumschiff selbst. Hans ist nicht Teil dieser Nische, sondern (ziemlich trivial) Teil der mereologischen Summe der Nische (inklusive des Mediums) und seiner selbst.

Eine interessante Illustration der Leistungsfähigkeit dieser Bedingung ist der Fall eines kryogenetisch gefrorenen menschlichen Lebewesens. Wir betrachten hierbei ein lebendes menschliches Lebewesen, dessen Stoffwechsel durch Einfrieren unterdrückt ist und das in diesem gefrorenen Zustand durch eine kühlschrankartige Vorrichtung erhalten wird. In diesem Fall ist der körpereigene Mechanismus, der für den Erhalt und die Reparatur der körperlichen Stabilität zuständig ist, still gelegt und der Bewohner der kryogenetischen Nische leiht sich diese Mechanismen von seiner neuen artifiziellen Umgebung. Trotzdem besitzt dieser Organismus diese Mechanismen (wenngleich in einem ruhenden Zustand). Somit sind unsere zwölf Bedingungen weiterhin erfüllt.

10.9 Ist das Foster mit der Mutter verbunden?

Jegliche Entität, die das Ergebnis normaler menschlicher Reproduktion ist und die unsere zwölf Bedingungen erfüllt, wird ein menschliches Lebewesen sein. Wir können unsere oben angeführten Folgerungen somit weiter erhärten, wenn weiter aufgezeigt werden kann, dass diese Bedingungen zum ersten Mal in der Entwicklung eines Fosters unter normalen fötalen Umständen 16 Tage nach der Befruchtung erfüllt werden. Von diesem Zeitpunkt an bildet das Foster eine einzige Substanz mit einer eigenen äußeren physikalischen Grenze und entwickelt ferner den Mechanismus, den es braucht, um seine eigene Stabilität zu erhalten. Am wichtigsten jedoch ist, dass von diesem Zeit-

punkt an das Foster unteilbar ist. Es bleibt zu zeigen, dass das Foster nach der Gastrulation auch die Maximalitätsbedingung (Bedingung 12) erfüllt. In anderen Worten: Es muss gezeigt werden, dass jede Entität, die das Foster als echten Teil, der die Bedingungen 1–11 erfüllt, von diesem Zeitpunkt an einen anderen Teil, der eine Nische für das Foster darstellt, ebenso enthält. Da der einzige Kandidat für eine solche Entität die Mutter ist (oder sie mit enthält), muss die Natur der Verbindung zwischen Foster und Mutter näher bestimmt werden: Ist dies ein Verhältnis von Bewohner und Nische oder ein Verhältnis von Teil und Ganzem oder irgendeine andere Relation?

Hier wird es erneut hilfreich sein, auf den Unterschied zwischen Fiat-Grenzen und Bona-fide-Grenzen zurückzukommen, auf die bereits in Kap. 3 und Kap. 6 zurückgegriffen wurde. Fiat-Grenzen sind Grenzen, denen keine zugrunde liegende physikalische Unstetigkeit entspricht. Beispiele hierfür finden sich vor allem im Gebiet geo-räumlicher Entitäten, wie Postdistrikte und Luftfahrthkorridore. Bona-fide-Grenzen hingegen sind physikalische Diskontinuitäten im gewöhnlichen Sinn: Beispiele hierfür sind die Kante des Tisches, die Oberfläche eines Gemäldes oder die äußere Grenze des Herzens oder der Lunge. Man erinnere sich an unsere Bedingungen 4 und 7, denen zufolge jede Substanz ihre eigene vollständige und zusammenhängende Grenze besitzen muss, die ihr Inneres von ihrem Äußeren trennt und die durch eine überdeckende Membran aufgebaut ist, welche sich fast stetig über ihre ganze Oberfläche ausdehnt. Dies bedeutet, dass die Grenze einer Substanz eine Bona-fide-Grenze ihrer ganzen Oberfläche ist. Die Stellen, an denen eine Grenze ausgebildet ist, weisen Öffnungen im Schutzschild oder der Membran auf, wie beispielsweise Mund oder Nüstern. (Zu sagen, dass Fiat-Grenzen ausgebildet werden, heißt einfach, dass die Linie zwischen Innerem und Äußeren dieser Region von Öffnungen keiner physikalischen Diskontinuität entspricht. Eine Fiat-Grenze dieser Art kann als Teil einer totalen Grenze dadurch erzeugt werden, dass man die Bürotür öffnet.) Siamesische Zwillinge, die einen Teil ihrer Oberfläche gemeinsam haben, können ebenfalls durch eine Fiat-Grenze entlang der Ebene, an der sie zusammen sind, getrennt werden.

Diese Bemerkungen sind deswegen von Bedeutung, weil nun klar wird, dass substantielle Veränderung eng mit topologischen Veränderungen – Veränderung in den Grenzen und im Zusammenhang – verbunden sind. Auf diese Weise können Veränderungen dieser Art angemessen verstanden werden, wenn die Unterscheidung zwischen *fiat* und *bona fide* sorgfältig beachtet

wird. Grob gesprochen haben zwei Entitäten die gleiche Topologie, wenn man die eine Entität – ohne sie auseinanderzureißen oder zu verbinden – strecken, drehen, schrumpfen oder ausdehnen kann, bis sie eine Form erhält, die identisch mit der Form der zweiten Entität ist. Zwei Entitäten haben somit die gleiche Topologie genau dann, wenn sie über ihre Oberfläche und über ihr Inneres hinweg die gleiche Verteilung von Fiat- oder Bona-fide-Grenzen aufweisen. Ein neu geborenes Kind hat in den meisten Fällen (einige siamesische Zwillinge bilden hiervon Ausnahmen) die gleiche Topologie wie im Alter von sechs Jahren. Ein Schwanz, der in normaler Weise mit einer Katze verbunden ist, hat nicht die gleiche Topologie wie die, die er hätte, wenn er amputiert würde: Denn vor der Amputation besteht die Grenze des Schwanzes sowohl aus einem Fiat- als auch aus einem Bona-fide-Teil, nach der Amputation hingegen enthält die Grenze keinen Fiat-Teil mehr.

Fiat-Grenzen sind immer dann beteiligt, wenn eine Entität einer Teilung unterworfen ist. Wenn sich eine Amöbe teilt, wird ihr mittlerer Teil immer dünner und dünner, sodass wir von zwei Hälften der Amöbe reden können, abgegrenzt durch eine Fiat-Grenze im Inneren des Ganzen. Wenn der mittlere Teil schrumpft, verschwindet diese Fiat-Grenze zwischen den beiden Hälften immer mehr, bis zu dem Augenblick, an dem sie ganz verschwunden ist. Der rechte und der linke Teil trennen sich und wir haben zwei Amöben. Jede von ihnen hat jeweils ihre eigene Bona-fide-Grenze.

Fiat-Grenzen sind immer dann im Spiel, wenn eine Entität strikt mit einer anderen verbunden ist. Es war zu sehen, dass die Bewohner-Nische-Struktur die Möglichkeit ausschließt, dass Bewohner und Nische strikt miteinander verbunden sind. Wenn das Foster somit mit der Mutter verbunden ist – wenn, in anderen Worten, die Grenze zwischen Mutter und Foster eine Fiat- und keine Bona-fide-Grenze ist – dann kann das Foster nicht in einer Bewohner-Nische-Relation zur Mutter stehen und somit kann es dann nicht die Bedingung 12 erfüllen.

Aber, wie ebenso zu sehen war, gibt es kein Stadium nach der Ovulation, in dem eine strikte Verbindung zwischen Mutter und Foster entsteht. Eine solche Verbindung besteht nicht einmal in Form eines Kanals oder eines Tubus, durch die Nahrung und Blut fließen würde. Die Kommunikation, die zwischen Foster und Mutter stattfindet, bedarf vieler verschiedener Prozesse der Zelldiffusion, aber diese Prozesse finden immer durch irgendeine intervenierende mit Flüssigkeit gefüllte Höhlung statt. Sie bedürfen nie irgendeiner Art gemeinsamer Membran, die eine strikte topologische Verbindung anzeigen

würde. Aus diesem Grund ist die Geburt am angemessensten als Übergang einer Entität von einer Nische in eine andere Umgebung aufzufassen.

10.10 Ist das Foster Teil der Mutter?

Bevor schließlich die Relation zwischen Foster und Mutter aufgezeigt werden kann, müssen wir jedoch noch den Status der Fruchtblase betrachten, also jener Höhlung, die vom Foster innerhalb der Gebärmutter erzeugt wird. Ist sie Teil der Mutter? Oder ist sie eine eigene Höhle, unterschieden von der Mutter, jedoch in deren Inneren situiert?

Stellen wir uns einen Besucher in einem Haus vor oder einen Joghurtbecher im Inneren eines Kühlschranks. Der Joghurtbecher ist im Inneren des Kühlschranks, aber er ist kein Teil desselben. In der Tat haben er und der Kühlschrank keine gemeinsamen Teile. Er befindet sich eher innerhalb einer Höhle im Inneren des Kühlschranks und verhält sich zum Kühlschrank wie ein Bewohner zu seiner Nische. Der Kühlschrank ist eine Substanz und der Joghurtbecher eine andere. Die Erstere umgibt die Zweite. Die Topologen unterscheiden in diesem Zusammenhang zwischen einem Objekt und seiner konvexen Hülle. Letztere entsteht, intuitiv gesprochen, wenn alle Aushöhlungen in Ersterem ausgefüllt werden. Wenn wir sagen: „Der Joghurtbecher ist im Kühlschrank“, so meinen wir, er befindet sich räumlich innerhalb der räumlichen konvexen Hülle des Kühlschranks.¹⁹²

Betrachten wir nun den Verdauungstrakt. Ist er ein Tunnel innerhalb des Körpers, wie die innere Aushöhlung des Kühlschranks? Oder ist er vielmehr ein Organ innerhalb des Körpers? Auf diese Weise wäre er ein Teil des Organismus, wie der Thermostat oder die Tür Teile des Kühlschranks sind. Nun sind der Hals, der Magen, die Speiseröhre und der Dickdarm als Zellverbände sicherlich Teile des Körpers; und diese Zellverbände werden als solche von Anatomen betrachtet. Der Kanal jedoch, den sie zusammen bilden, ist eine regelrechte Höhle. Seine Funktion ist, wie die des Mundes, als geschützte Vorkammer zu dienen, um unverdauliche Substanzen vom Körper fern zu halten. Auf diese Weise wird es für den anfänglichen Verdauungsprozess

¹⁹² Vgl. Casati und Varzi 1999, Kap. 8.

möglich, sich fortzusetzen. Entsprechend wird er von Immunologen als vom Körper unterschieden betrachtet und eher seiner Umgebung zugerechnet.

Ebenso verhält es sich, wie wir behaupten wollen, im Falle der Fruchtblase, in der sich das Foster befindet. Auch diese ist nicht mit einem Organ oder mit einem Gewebekomplex der Mutter zu identifizieren; sie ist vielmehr ein Hohlraum im Inneren der Mutter. Ebenso ist das Foster, weil er in dieser Höhle eingeschlossen ist, kein Teil der Mutter. Daher steht dem nichts entgegen, zu behaupten, dass das Foster eine Nische im Inneren der Mutter bewohnt, in gleicher Weise, wie ein Palmkern sich im menschlichen Verdauungstrakt oder ein Känguru-Junges sich im Beutel seiner Mutter befindet. Die Maximalitätsbedingung 12 ist folglich erfüllt. Das Foster ist in dieser Hinsicht wie ein Parasit, der sich an einem Wirt befindet. Foster, wie Parasiten, sind beide Substanzen und relativ abgeschlossene kausale Systeme. Sie sind nicht Teile ihres Wirtes, sondern diesem eher in der Weise verbunden, wie ein Nischen-Bewohner seiner Nische verbunden ist. Foster unterscheiden sich daher auch von Tumoren, denn diese sind, unseren Kriterien zufolge, echte Teile des von ihnen befallenen Organismus.

10.11 Stadien der Bildung der menschlichen Substanz

Wir sind jetzt in der Lage, aus ontologischer Perspektive eine sorgfältigere Würdigung des vielstufigen Prozesses zu geben, der zum Entstehen eines menschlichen Individuums führt. Die Zygote wird durch die Vereinigung zweier getrennter Substanzen geformt: der Eizelle und dem Kern der Samenzelle. Die funktionalen Teile der Zygote sind dann einer Verdoppelung innerhalb der Zelle unterworfen. Die topologischen Verbindungen dieser Teile werden so getrennt, dass sie durch Teilung neue Substanzen konstituieren. Diese getrennten Substanzen werden im Stadium der frühen Blastozyste wieder vereinigt. Ein Teil dieser einen individuellen Substanz wird dann vom Rest abgetrennt und bildet eine neue individuelle Substanz (nämlich die innere Zellmasse oder das, was zum Embryo wird). Dies geschieht in einem Knospungsprozess, der die gleichzeitige Bildung der inneren Höhle umfasst, in der sich das, was der Knospung unterworfen ist, befindet.

Im Stadium der Gastrulation ist der immer noch schwach vereinheitlichte Embryo einem Integrationsprozess unterworfen. Dieser kommt durch eine graduelle Bildung von Bindungen zwischen den Zellen des Aggregates zustande sowie durch die graduelle Ausbildung von physikalischen Bona-fide-

Grenzen, die das Individuum räumlich abgrenzen. Zudem entsteht er durch einen graduellen Prozess, durch den Zellgruppen in Abhängigkeit ihrer spezifischen Stellung innerhalb des Ganzen schrittweise zu speziellen Gewebearten bestimmt werden.

Das eben Gesagte impliziert jedoch nicht, dass ein menschliches Lebewesen durch Zuwächse innerhalb eines Zeitintervalls gebildet wird (was zur Folge hätte, dass verschiedene menschliche Lebewesen in einem unterschiedlichen Ausmaß oder in verschiedenen Graden menschliche Lebewesen sein könnten). Denn der beschriebene Vereinigungsprozess geht fast instantan vor sich (man vergleiche den Vereinigungsprozess zweier Wassertropfen, die zu einem werden). Er konstituiert somit eine zeitliche Bona-fide-Grenze in ziemlich der gleichen Weise wie ein Fluss oder eine Mauer eine räumliche Bona-fide-Grenze zwischen zwei Landparzellen bildet. Ein Zusammenkommen stetiger Prozesse innerhalb des Fosters bewirkt auf diese Weise eine zeitliche Grenze. Die Vereinigungsprozesse, die zusammen im Stadium der Gastrulation stattfinden, bringen eine Integration des Fosters hervor, die stark genug ist, Zwillingsbildung zu unterbinden. Sie bringen – in anderen Worten – den Übergang von Teilbarkeit zu Nicht-Teilbarkeit hervor. (Ein paralleles Phänomen am Ende des Lebens bringt eine analoge Transformation, den so genannten Zelltod, hervor.)

Es könnte nun eingewendet werden, dass doch jegliche natürliche Veränderung kontinuierlich ist.¹⁹³ Wie kann es dann aber möglich sein, eine zeitliche Grenze auszuzeichnen, an der ein menschliches Lebewesen zu existieren beginnt? Man vergleiche dafür die Frage nach der zeitlichen Diskontinuität mit ihrem räumlichen Pendant: Natürlich haben menschliche Lebewesen und andere Organismen räumliche Grenzen (wie sie durch ihre Haut geformt sind). Die Letzteren sind, auch angesichts der Kontinuität der Materie in der physikalischen Welt, genuine Diskontinuitäten. Ebenso muss darauf geschlossen werden, dass die Leben menschlicher Lebewesen zeitliche Grenzen haben – ihren Beginn und ihr Ende –, die auch angesichts der Kontinuität physikalischer, chemischer und biologischer Prozesse, in die sie involviert sind, echte Diskontinuitäten sind.

¹⁹³ Birnbacher 1995.

Kapitel 11

Ein neues Bild von Ontologie

LUDGER JANSEN

Die Bezeichnung „Ontologie“ für eine Wissenschaftsdisziplin taucht zum ersten Mal im 17. Jahrhundert auf. Sie ist eine Bildung aus den griechischen Wörtern *on*, Seiendes, und *logos*, das hier mit „Wissenschaft“ übersetzt werden kann. In der lateinischen Form „Ontologia“ findet sich diese Bezeichnung zuerst im *Lexicon philosophicum* von Rudolph Göckel (alias Goclenius, 1547–1628), der die so benannte Wissenschaft ausdrücklich als *philosophia de ente*, als die Philosophie des Seienden charakterisiert.¹⁹⁴ Das zeigt, dass er das Wort „Ontologie“ als eine neue Bezeichnung für eine seit langem bekannte und praktizierte philosophische Disziplin verwendet, nämlich für die von Aristoteles in der *Metaphysik* entworfene „erste Philosophie“: die Wissenschaft vom Seienden als solchem.¹⁹⁵ „Wir suchen“, so beschreibt Aristoteles das Ziel seiner Abhandlung, „die Prinzipien und Ursachen der Seienden, und zwar insofern sie Seiende sind (*hê onta*).“¹⁹⁶

In den vorangegangenen Kapiteln wurde eingehend dafür argumentiert, dass die philosophische Disziplin der Ontologie empirische Wissenschaften wie die Biologie und die Medizin bei der Repräsentation der Wirklichkeit unterstützen kann (Kap. 1). Es wurde zudem gezeigt, dass eine Ontologie, die dieses als ihre Aufgabe ansieht, realistisch zu sein hat (Kap. 2). Diese Verpflichtung zum Realismus besteht vor allem in der Anerkennung der Existenz einer vom Wissenschaftler und seinen Beobachtungen unabhängigen Welt und ihrer Bestandteile. Diese Welt und ihre Bestandteile sind auch unabhängig von unseren wissenschaftlichen Begriffen und den sprachlichen Ausdrücken, mit deren Hilfe wir über sie reden. Es ist die Wirklichkeit, in der wir

¹⁹⁴ Goclenius 1613, Art. *abstractio*, 16.

¹⁹⁵ Vgl. Aristoteles, *Metaphysik* IV 1, bes. 1003a 21–32.

¹⁹⁶ Ders., *Metaphysik* VI 1, 1025b 1–2. Zur Interpretation dieser Formulierung vgl. auch Jansen 2005b, 281–283.

Menschen leben und handeln, deren verschiedene Aspekte von Wissenschaftlern der unterschiedlichsten Disziplinen erforscht werden und über die wir mehr und mehr Wissen erwerben.

Diese realistische Ausrichtung ist erstens damit kompatibel, dass nicht alle Entitäten unabhängig von menschlicher Praxis existieren. Staaten, Bundeskanzlerinnen, Krankenkassen und Maßeinheiten gibt es nur aufgrund menschlicher Entscheidungen und Handlungen. Sie gehören zu den Entitäten, von denen John Searle sagt: Es gibt „Dinge, die nur existieren, weil wir glauben, daß sie existieren.“¹⁹⁷

Zweitens gibt es in der Natur oft kontinuierliche Übergänge, über die der Wissenschaftler eindeutige Aussagen machen will. Die Wissenschaftssprache verwendet oft nicht-graduelle Begriffe für die Extremfälle eines breiten Spektrums.¹⁹⁸ So können mitunter auch von Menschen willkürlich abgetrennte Dinge, wie zum Beispiel der mittlere Oberschenkelknochen, Gegenstand medizinischer Aussagen sein, auch wenn ein Anatom auf dem Oberschenkelknochen vergeblich nach den Anhaltspunkten für die Grenzen zwischen dem unteren, mittleren und oberen Oberschenkelknochen suchen wird.

Drittens gibt es nicht nur eine monopolisierte Perspektive auf die Wirklichkeit. Die Welt kann sowohl in Elementarteilchen als auch in Lebewesen oder gar in Galaxien gegliedert werden. Sowohl die mikroskopische als auch die mesoskopische und makroskopische Gliederung der Welt erfassen Aspekte der Wirklichkeit. Alle diese verschiedenen Aufteilungen verschiedener Körnigkeit sind ontologisch gesehen gleichberechtigt; sie sind verschiedene granulare Partitionen derselben Wirklichkeit (Kap. 3).

Will die Ontologie der Vielzahl der transparenten Perspektiven gerecht werden, darf sie nicht reduktionistisch sein. Sie muss, viertens, adäquatistisch oder nicht-reduktionistisch die Vielzahl der Perspektiven respektieren. Ihre Arbeit besteht nicht darin, die Welt auf eine einzige Perspektive zu reduzieren, sondern darin, die Zusammenhänge zwischen diesen verschiedenen Aspekten der Realität aufzuzeigen.

Perspektivismus und Adäquatismus implizieren aber nicht, dass jede Perspektive auf die Welt gleichwertig ist: Entscheidend ist, ob die jeweilige Parti-

¹⁹⁷ Searle 1997, 11.

¹⁹⁸ Vgl. Schulz und Johansson 2007.

tion „transparent zur Wirklichkeit“ ist, ob es in der Welt Entitäten gibt, die in die Rasterfelder der Partition fallen – oder ob diese Felder leer bleiben. Welche Perspektiven nun aber transparent und damit wissenschaftlich legitim sind, ist eine empirische Frage. Und die Empirie entscheidet zugunsten des Linnéschen Systems, aber gegen die Einteilung der Pokemons. Jedoch ist nicht nur die globale Entscheidung für oder gegen ganze Partitionen, sondern auch die Entscheidung für oder gegen lokale Revisionen einzelner Partitionen der Realität eine empirische Frage. Dass ein Wal ein Säugetier ist und kein Fisch, konnte nicht durch begriffsanalytische Arbeit *a priori* entschieden werden, sondern war eine empirische Entdeckung. Empirische Erkenntnisse können die Klassifikation von Universalien revidieren. Es sind also durchaus die empirischen Wissenschaften, die Auskunft über das Wesen der Dinge geben, und sie tun es natürlich nach Maßgabe empirischer Methoden und deren eigentümlicher Fehlbarkeit. Empirische Wissenschaften können ihre Ergebnisse revidieren, und damit muss auch der Ontologe damit rechnen, dass er im Licht neuer Erkenntnisse eine Bereichsontologie entsprechend revidieren muss (Kap. 4).

Die Ontologie, wie sie in diesem Band vorgestellt und praktiziert wurde, ist also realistisch, perspektivistisch, nicht-reduktionistisch und fallibilistisch.¹⁹⁹ Diese Merkmale sind es, die es ihr erlauben, die empirischen Wissenschaften in ihrer ganzen Vielfalt bei der Repräsentation der jeweiligen Wirklichkeitsfelder zu unterstützen. So wird Ontologie anwendbar, so ist angewandte Ontologie möglich. Die Wissenschaft, von der Aristoteles vor etwa 2300 Jahren sagte, dass ihr fehlender Beitrag zur Befriedigung der menschlichen Grundbedürfnisse ein Indiz für ihre hohe Würde sei,²⁰⁰ hat eine praktische Schwesterdisziplin bekommen: die angewandte Ontologie, das *ontological engineering*. Von ihrer Faszination hat sie deswegen nichts eingebüßt: Langweiliger ist sie nicht geworden.

¹⁹⁹ Vgl. Grenon 2003; Grenon und Smith 2004.

²⁰⁰ Vgl. Aristoteles, *Metaphysik* I 1.

Über IFOMIS

Das Institut für formale Ontologie und medizinische Informationswissenschaft (IFOMIS: *Institute for Formal Ontology and Medical Information Science*) war weltweit das erste Institut, das sich der Grundlagenforschung im Bereich der formalen und biomedizinischen Ontologie gewidmet hat. Sein zentrales Ziel ist die Entwicklung ontologischer Systeme, die auf theoretisch durchdachten und semantisch gesicherten Prinzipien basieren und die im biomedizinischen Bereich getestet und angewendet werden. Dabei wird eine strukturierte Erfassung der gesamten Bandbreite biomedizinischer Phänomene angestrebt, von den Biomolekülen bis zum ganzen Organismus. Das System soll für Rechner verständlich sein, um zum Beispiel Daten im Bereich der klinischen Studien oder Annotationen von Genomstrukturen effizient verwalten zu können und um Schlussfolgerungen zu unterstützen, welche die zwischen biologischen und klinischen Informationsressourcen bestehenden Grenzen überwinden können.

Das IFOMIS soll dadurch sowohl zur Gründung einer neuen wissenschaftlichen Disziplin, der biomedizinischen Ontologie, als auch zur Integration der Informationen in verschiedenen Bereichen der biomedizinischen Forschung einen Beitrag leisten. Gleichzeitig aber soll die Anwendung ontologischer Ideen im konkreten Bereich der Biomedizin zur Verbesserung derjenigen ontologischen Theorien führen, die ihre Wurzeln in der Philosophie haben, und daher generell einen Beweis für die praktische Anwendbarkeit der Philosophie liefern.

Nachdem im Jahr 2001 dem Philosophen Barry Smith von der Alexander-von-Humboldt-Stiftung der Wolfgang-Paul-Preis verliehen worden war, entstand das IFOMIS. Mit den aus dem Zukunftsinvestitionsprogramm des Bundes bereitgestellten Mitteln wurde es im April 2002 in Leipzig gegründet. Seit September 2004 ist das Institut an der Universität des Saarlandes angesiedelt.

Die Arbeit des IFOMIS wurde im Rahmen des Projekts „Formen des Lebens“ von der Volkswagen-Stiftung und durch mehrere Projekte der Europäischen Union unterstützt, darunter das *Network of Excellence in Semantic Interoperability and Data Mining in Biomedicine*.

Das IFOMIS arbeitet zusammen mit führenden wissenschaftlichen Zentren der Bio- und Medizininformatik sowie mit allen wichtigen Vertretern der ontologischen Forschung im Bereich der Informationssysteme, u.a.:

- *Center for Theoretical and Applied Ontology*, Universität Turin, Italien
- *European Bioinformatics Institute*, Hinxton, Großbritannien
- *Interdisciplinary Ontology Forum*, Japan
- *Laboratory for Applied Ontology*, Trient und Rom, Italien
- *Medical Ontology Research*, National Library of Medicine, Maryland, USA
- *National Center for Ontological Research*, Buffalo/Stanford, USA
- *Ontology Works*, Baltimore, USA
- *Structural Informatics Group, Department of Biological Structure, University of Washington*, Seattle, USA
- *Swiss Institute of Bioinformatics*, Genf

Kooperationspartner in Saarbrücken sind u.a. das Deutsche Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz (DFKI), das Institut für Philosophie und das Institut für Rechtsinformatik. Darüber hinaus betreut das IFOMIS das *European Consortium for Ontological Research* (ECOR).

Web: <http://ifomis.org>

Über die Autoren

Thomas Bittner ist *Assistant Professor* für Philosophie und für Geographie an der *State University New York (SUNY)* in Buffalo und Forscher am *New York State Center of Excellence in Bioinformatics and Life Sciences*. Von 2002 bis 2005 war er wissenschaftlicher Mitarbeiter am IFOMIS in Leipzig und Saarbrücken.

Web: <http://www.acsu.buffalo.edu/~bittner3/>

Berit Brogaard ist *Assistant Professor* für Philosophie an der *University of Missouri* in St. Louis. Nach ihrer Promotion an der SUNY in Buffalo mit einer Arbeit über temporale Mereologie hat sie an verschiedenen amerikanischen Universitäten gelehrt. Derzeit arbeitet sie an einem Buch über die Metaphysik von Propositionen.

Web: <http://www.umsi.edu/~brogaard/>

Boris Hennig ist Gastwissenschaftler und Lehrbeauftragter an der *University of Pittsburgh* und der Humboldt-Universität Berlin. Er war von 2004 bis 2007 Mitarbeiter des IFOMIS in Saarbrücken. Für seine Dissertation über *Conscientia bei Descartes* (Freiburg/Brsg. 2006) wurde er mit dem Karl Alber-Preis ausgezeichnet.

Web: <http://www.borishennig.de>

Ludger Jansen ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Philosophie der Universität Rostock und dort Geschäftsführer des Zentrums für Logik, Wissenschaftstheorie und Wissenschaftsgeschichte (ZLWWG). Nach der Promotion an der Universität Münster war er zunächst wissenschaftlicher Mitarbeiter am Philosophischen Seminar in Bonn und am IFOMIS an der Universität Saarbrücken. Er ist Autor des Buches *Tun und Können. Ein systematischer Kommentar zu Aristoteles' Theorie dispositionaler Eigenschaften* (Frankfurt a.M. u.a. 2002) und Mitherausgeber der Buchreihe *Themen der antiken Philosophie*.

Web: <http://home.arcor.de/metaphysicus/>

Ingvar Johansson war Professor für Theoretische Philosophie an der Universität Umeå in Schweden. Er arbeitete von 2002 bis 2007 als Forscher am IFOMIS in Saarbrücken. Er ist Autor der Bücher *A Critique of Karl Popper's Methodology* (Göteborg 1975) und *Ontological Investigations. An Inquiry into the Categories of Nature, Man and Society* (Oxford 1989; 2. Aufl. Frankfurt a.M. 2004).

Web: <http://hem.passagen.se/ijohansson/index.html>

Bert Klagges ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Genetik der Fakultät für Biowissenschaften, Pharmazie und Psychologie der Universität Leipzig.

Web: <http://www.uni-leipzig.de/~genetics/>

Ulf Schwarz ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für theoretische Philosophie des Philosophischen Instituts der Universität des Saarlandes; von 2005 bis 2007 war er wissenschaftlicher Mitarbeiter am IFOMIS. Nach dem Studium der Philosophie am *University College* London beschäftigt er sich heute hauptsächlich mit Fragestellungen aus der Logik, Philosophie der Mathematik, Sprachphilosophie und Ontologie. In Zusammenarbeit mit dem IFOMIS arbeitet er unter anderem an der Beschreibung formaler Relationen.

Barry Smith ist *Julian Park Professor* für Philosophie an der State University New York in Buffalo und Direktor des IFOMIS in Saarbrücken. Er ist zudem Direktor des amerikanischen *National Center for Ontological Research* und einer der leitenden Forscher am *National Center for Biomedical Ontology*. Er ist Autor von mehr als 450 wissenschaftlichen Publikationen und Herausgeber der Zeitschrift *The Monist*.

Web: <http://ontology.buffalo.edu/smith>

Nachweise

Kapitel 1 beruht auf Teilen von Smith und Klagges 2005. Diese Arbeit wurde durch die Alexander-von-Humboldt-Stiftung im Rahmen des Wolfgang-Paul-Preises unterstützt und stellt die Grundideen des Forschungsprojekts „Formen des Lebens“ dar, das im Rahmen des Förderprogramms „Schlüsselbegriffe der Geisteswissenschaften“ von der Volkswagen-Stiftung gefördert wurde. Die Autoren danken Fabian Neuhaus, Steffen Schulze-Kremer, Cornelius Rosse und Dirk Siebert für wertvolle Anregungen und Hinweise.

Kapitel 2 ist eine gekürzte und ins Deutsche übertragene Fassung von Smith 2004a. Die Arbeit an diesem Text wurde im Rahmen des Wolfgang-Paul-Programms der Alexander-von-Humboldt-Stiftung, des *European Union Network of Excellence in Medical Informatics and Semantic Data Mining* und des von der Volkswagen-Stiftung geförderten Projekt „Formen des Lebens“ ausgeführt. Ein Dankeschön geht an Bill Andersen, Sebastian Brandt, James Cimino, Dirk Siebart und Leo Zaibert für hilfreiche Kommentare. Die Übersetzung besorgte Ludger Jansen.

Für Kapitel 3 haben die Autoren hinsichtlich des Inhalts und der Formulierungen auf ihre früheren Arbeiten zum Thema zurückgegriffen, und zwar für Kap. 1–2 auf Smith 2004b und für Kap. 3–5 auf Bittner und Smith 2003. Außerdem flossen Ideen aus Bittner und Smith 2001 in den Text ein. Die Autoren danken Berit Brogaard, Maureen Donnelly, Pierre Grenon, Jonathan Simon und John Stell sowie der *National Science Foundation*, der *American Philosophical Society*, der *Defense Advanced Research Project Agency* und dem Wolfgang-Paul-Programm der Alexander-von-Humboldt-Stiftung. Die Übersetzung besorgte Mathias Brochhausen.

Die Forschungen für Kapitel 4 wurden unterstützt durch das Wolfgang-Paul-Programm der Alexander-von-Humboldt-Stiftung, das *European Union Network of Excellence on Medical Informatics and Semantic Data Mining* und die Volkswagen-Stiftung im Rahmen des Projektes „Formen des Lebens“. Ein auf diesem Kapitel basierender Vortrag, der auf dem Kongreß der Gesell-

schaft für analytische Philosophie in Berlin 2006 vorgetragen wurde, wird in den Kongreß-Akten veröffentlicht werden. Der Autor dankt Barry Smith für hilfreiche Kommentare zu früheren Fassungen und dem Vortragspublikum in Berlin und beim IFOMIS-Kolloquium in Saarbrücken für die Gelegenheit, anlässlich zahlreicher Fragen und Diskussionbeiträge vieles noch deutlicher herauszuarbeiten.

Kapitel 5 wurde für dieses Buch geschrieben. Für kritische und konstruktive Hinweise zu früheren Fassungen des Kapitels dankt der Autor Barry Smith, Boris Hennig, Ingvar Johansson und Johannes Hübner.

Kapitel 6 ist eine überarbeitete Fassung des Abschnitts 3 von Smith 2003a.

Kapitel 7 wurde für dieses Buch geschrieben.

Kapitel 8 wurde für dieses Buch geschrieben, basiert aber zu einem großen Teil auf Ergebnissen, die erstmals in Smith et al. 2005 veröffentlicht wurden. Mitautoren dieses Artikels waren Werner Ceusters, Bert Klagges, Jacob Köhler, Anand Kumar, Jane Lomax, Chris Mungall, Fabian Neuhaus, Alan L. Rector und Cornelius Rosse; ihnen sei herzlich gedankt.

Die Arbeit an Kapitel 9 wurde im Rahmen des Wolfgang-Paul-Programms von der Alexander-von-Humboldt-Stiftung, vom *European Union Network of Excellence on Medical Informatics and Semantic Data Mining*, und von der Volkswagen-Stiftung im Rahmen des Projekts „Formen des Lebens“ unterstützt. Der Autor dankt Barry Smith, Ludger Jansen, Werner Ceusters und Andrew Spear für Kommentare, ganz besonders aber Barry und Ludger, die eine frühere Version besonders kritisch gelesen haben. Die Übersetzung besorgte Ludger Jansen.

Kapitel 10 ist eine von den Herausgebern stark gekürzte und überarbeitete Version der deutschen Übersetzung von Christiane Schneider von Smith und Brogaard 2003. Die Autoren danken Jose Bermudez, Peter Hare, David Hershenov, Claire Hill, Eric Olson, Frederik Stjernfeldt, Ralf Stoecker, John Walker, Olaf und Susanne Wiegand, John Wilkins, Jiyuan Yu und Leo Zaibert für ihre hilfreichen Kommentare zu einer früheren Version dieses Aufsatzes und Christiane Schneider für die Übersetzung des ursprünglichen Aufsatzes. Dank geht auch an das Wolfgang-Paul-Programm der Alexander-von-Humboldt-Stiftung, mit dessen Unterstützung die letzte Version dieses Essays erstellt wurde.

Kapitel 11 wurde für dieses Buch geschrieben.

Literatur

- Allen, R (2005), „The Mereology of Events“, in: *Sorites* 16, 23–37.
- Angelelli, I (1967), *Studies on Gottlob Frege and Traditional Philosophy*, Dordrecht: Reidel.
- Aristoteles, *De generatione et corruptione*, in: ders., *On Sophistical Refutations. On Coming-to-be and Passing-away. On the Cosmos*, übers. E. S. Forster, D. J. Furley (= Loeb Classical Library 400), Cambridge, Mass.: Harvard University Press 1955, 156–329.
- Aristoteles, *De Interpretatione* = ders., *Peri Hermeneias*, übers. und erl. H. Weidemann (= Werke in deutscher Übersetzung 1/2), Akademie Verlag: Berlin 1994.
- Aristoteles, *De partibus animalium*, in: ders., *Parts of Animals. Movement of Animals. Progression of Animals*, übers. A. L. Peck, E. S. Forster (= Loeb Classical Library 323), revised edition, Cambridge, Mass.: Harvard University Press 1961, 3–434.
- Aristoteles, *Kategorien*, übers. und erl. K. Oehler (= Werke in deutscher Übersetzung 1/1), 2. Aufl., Berlin: Akademie Verlag 1986.
- Aristoteles, *Metaphysik*, übers. H. Bonitz (ed. Wellmann), hg. U. Wolf, Reinbek bei Hamburg: Rowohlt, 1994.
- Aristoteles, *Physik. Bücher I–IV*, gr.-dt., übers. H. G. Zekl, Meiner: Hamburg 1987.
- Aristoteles, *Physikvorlesung*, übers. und erl. H. Wagner (= Werke in deutscher Übersetzung 11), Berlin: Akademie-Verlag, 1995.
- Aristoteles, *Topik*, übers. T. Wagner und Ch. Rapp, Reclam: Stuttgart 2004.
- Armstrong, D M (1978), *Universals and Scientific Realism*, 2 Bde., Cambridge: Cambridge University Press.
- Armstrong, D M (1989), *Universals. An Opinionated Introduction*, London: Harper Collins.
- Armstrong, D M (1996), [Rezension von Casati/Varzi, Holes and other Superficialities], in: *Journal of Philosophy* 93, 585–586.
- Armstrong, D M (1997), *A World of State of Affairs*, Cambridge: Cambridge University Press.
- Asplund, J (1968), *Sociala egenskapsrymder*, Uppsala: Argos.
- Baader, F et al. (Hgg.) (2003), *The Description Logic Handbook. Theory, Implementation and Applications*, Cambridge: Cambridge University Press.
- Baier, A C (1972), „Ways and Means“, in: *Canadian Journal of Philosophy* 1, 275–293.

- Barker, R G (1968), *Ecological Psychology. Concepts and Methods for Studying the Environment of Human Behavior*, Stanford, CA: Stanford University Press.
- Berg, J (1983), „Aristotle’s Theory of Definition“, in: *Atti del Convegno Internazionale di Storia della Logica 1982*, Bologna: CLUEB, 19–30.
- Bernauer, J (1994), „Subsumption principles underlying medical concept systems and their formal reconstruction“, in: J. G. Ozbolt (Hg.), *Proceedings of the 18th Annual Symposium on Computer Applications in Medical Care 1994*, Washington: Heinley & Belfus, 140–144.
- Birnbacher, D (1995), „Gibt es rationale Argumente für ein Abtreibungsverbot?“, in: *Revue internationale de Philosophie* 3, 357–373.
- Bittner, T (2002) , „Approximate Qualitative Temporal Reasoning“, in: *Annals of Mathematics and Artificial Intelligence* 35, 39–80.
- Bittner, T und Smith, B (2001), „Granular Partitions and Vagueness“, in: C. Welty, B. Smith (Hgg.), *Formal Ontology and Information Systems*, New York: ACM Press, 309–321.
- Bittner, T und Smith, B (2003), „A Theory of Granular Partitions“, in: M. Duckham et al. (Hgg.), *Foundations of Geographic Information Science*, London: Taylor & Francis, 117–151.
- Bodenreider, O et al. (2007), „Subsumption in SNOMED CT: An Exploration into Large Description Logic-Based Biomedical Terminologies“, in: *Artificial Intelligence in Medicine* 39, 183–195.
- Bodenreider, O; Smith, B und Burgun, A (2004), „The Ontology-Epistemology Divide: A Case Study in Medical Terminology“, in: A. Varzi, L. Vieu (Hgg.), *Formal Ontology in Information Systems. Proceedings of the Third International Conference*, Amsterdam: IOS Press, 185–195.
- Bonitz, H (1853), *Über die Kategorien des Aristoteles*, ND Darmstadt: Wissenschaftliche Buchgesellschaft 1967.
- Borges, J L (1996), „Die analytische Sprache John Wilkins“, in: ders., *Das Eine und die Vielen. Essays zur Literatur*, übers. K. A. Horst, München: Hanser, 209–214.
- Brentano, F (1882), *Von der mannigfachen Bedeutung des Seienden nach Aristoteles*, Freiburg: Herder.
- Brochhausen, C (2002), *Die Expression und Kinetik von Zelladhäsionsmolekülen in der entzündeten Appendix vermiformis: ihre pathologische und diagnostische Relevanz*, Frankfurt a.M.: Verlag für Neue Wissenschaft.
- Brody, B (1975), *Abortion and the Sanctity of Human Life*, Cambridge, Mass.: MIT Press.
- Bucher, T (1998), *Einführung in die angewandte Logik*, 2. erw. Aufl., Berlin: de Gruyter.
- Campell, K (1990), *Abstract Particulars*, Oxford: Blackwell.
- Carnap, R (1934), *The Logical Syntax of Language*, London: Routledge & Kegan Paul.
- Carroll, L (1965), *The Works of Lewis Carroll*, London: Paul Hamlyn.
- Casati, R und Varzi, A C (1994), *Holes and Other Superficialities*, Cambridge, Mass.: MIT Press.

- Casati, R und Varzi, A C (1999), *Parts and Places. The Structures of Spatial Representation*, Cambridge, Mass.: MIT Press.
- Ceusters, W et al. (2004), „Mistakes in Medical Ontologies: Where Do They Come From and How Can They Be Detected?“, in: D. M. Pisanelli (Hg.), *Ontologies in Medicine. Proceedings of the Workshop on Medical Ontologies, Rome, October 2003*, Amsterdam: IOS, 145–164.
- Ceusters, W; Elkin, P und Smith, B (2006), „Referent Tracking: The Problem of Negative Findings“, in: *Studies in Health Technology and Informatics* 124, 741–746.
- Ceusters, W, Smith, B und Goldberg, L (2005), „A Terminological and Ontological Analysis of the National Cancer Institute Thesaurus“, in: *Methods of Information in Medicine* 44, 489–507.
- Chisholm, R M (1996), *A Realistic Theory of Categories: An Essay on Ontology*, Cambridge: Cambridge University Press.
- Cohen, S M (2000), „Aristotle’s Metaphysics“, in: *Stanford Encyclopedia of Philosophy*, online unter: <http://plato.stanford.edu/entries/aristotle-metaphysics/>.
- Comrie, B (1976), *Aspect*, Cambridge: Cambridge University Press.
- Corcho, O und Gomez-Perez, A (2000), „A Roadmap to Ontology Specification Languages“, in: R. Dieng, O. Corby (Hgg.), *Knowledge Engineering and Knowledge Management. Methods, Models and Tools*, Berlin: Springer, 80–96.
- Davidson, D (1990), „Die logische Form der Handlungssätze“, in: ders., *Handlung und Ereignis*, Frankfurt a.M.: Suhrkamp, 155–177.
- Dowty, D R (1991), *Word Meaning and Montague Grammar*, Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Dugas, M und Schmidt, K (2003), *Medizinische Informatik und Bioinformatik. Ein Kompendium für Studium und Praxis*, Berlin: Springer.
- Ebert, T (1985), „Gattungen der Prädikate und Gattungen des Seienden bei Aristoteles. Zum Verhältnis von Kat. 4 und Top. I 9“, in: *Archiv für Geschichte der Philosophie* 67, 113–138.
- Feibleman, J K (1974), „Professor Quine and Real Classes“, in: *Notre Dame Journal of Formal Logic* 15, 207–224.
- Fellbaum, C (Hg.) (1998), *WordNet: An Electronical Lexical Database*, Cambridge, Mass.: MIT Press.
- Ford, N M (1988), *When did I begin? Conception of the Human Individual in History, Philosophy and Science*, Cambridge: Cambridge University Press.
- Foucault, M (1974), *Die Ordnung der Dinge*, Frankfurt a.M.: Suhrkamp.
- Fragoso, G et al. (2004), „Overview and utilization of the NCI Thesaurus“, in: *Comparative and Functional Genomics* 5, 648–654.

- Frank, A (1996), „Ontology: A Consumer's Point of View“, in: O. Stock (Hg.), *Spatial and Temporal Reasoning*, Dordrecht: Kluwer.
- Franklin, J (2002), „Stove's Discovery of the Worst Argument in the World“, in: *Philosophy* 77, 615–624.
- Frege, G (1884), *Grundlagen der Arithmetik*, Breslau: Koebner.
- Frege, G (1892), „Begriff und Gegenstand“, in: *Vierteljahresschrift für wissenschaftliche Philosophie* 16, 192–205.
- Gaddis, V und Gaddis, M (1992), *The Curious World of Twins*, New York: Hawthorn Books.
- Galton, A (1984), *The Logic of Aspect. An Axiomatic Approach*, Clarendon Press: Oxford.
- Gaus, W (2003), *Dokumentations- und Ordnungslehre. Theorie und Praxis des Information Retrieval*, 4. überarb. und erw. Ausg., Berlin/Heidelberg: Springer.
- Gibson, J J (1979), *The Ecological Approach to Visual Perception*, Boston: Houghton Mifflin.
- Gilbert, S F (1997), *Developmental biology*, 5. Aufl., Sunderland, Mass: Sinauer Associates.
- Gill, K (1993), „On the Metaphysical Distinction between Processes and Events“, in: *Canadian Journal of Philosophy* 23, 365–384.
- Goclenius, R (1613), *Lexicon philosophicum*, Frankfurt a.M., ND Hildesheim 1964.
- Goldman, A (1971), „The Individuation of Action“, in: *Journal of Philosophy* 68, 761–774.
- Grenon, P (2003), „Knowledge Management from the Ontological Standpoint“, in: K. Freyberg, H. J. Petsche, B. Klein (Hgg.), *Knowledge Management and Philosophy. Proceedings of the WM 2003 Workshop on Knowledge Management and Philosophy* (= CEUR Workshop-Proceedings 85), online unter: <http://CEUR-WS.org/Vol-85/>.
- Grenon, P und Smith, B (2004), „SNAP and SPAN: Towards Dynamic Spatial Ontology“, in: *Spatial Cognition and Computation* 4, 69–103.
- Gruber, T R (1993), „A Translation Approach to Portable Ontologies“, in: *Knowledge Acquisition* 5, 199–220.
- Guarino, N (2001), „Review of Sowa's Knowledge Representation“, in: *AI Magazine* 22/3, 123–124.
- Hershenov, M (2002), „Olson's Embryo Problem“, in: *Australasian Journal of Philosophy* 80, 502–510.
- Hochberg, H (1965), „Universals, Particulars and Predication“, in: *Review of Metaphysics* 19, 89–91.
- Hochberg, H (1966), „Things and Descriptions“, in: *American Philosophical Quarterly* 3, 1–9.
- Hochberg, H (1969), „Moore and Russell on Particulars, Relations and Identity“, in: E. D. Klemke (Hg.), *Studies in the Philosophy of G. E. Moore*, Chicago: Quadrangle Books, 155–194.

- Husserl, E (1913), *Ideen zu einer reinen Phänomenologie und phänomenologischen Philosophie I* (= Jahrbuch für philosophische und phänomenologische Forschung 1); ND in Husserliana III/1, hg. K. Schuhmann, Den Haag: Nijhoff 1976.
- Ingarden, R (1964/1965/1974), *Der Streit um die Existenz der Welt*, 3 Bde., Tübingen: Niemeyer.
- Ingarden, R (1971), *Über die Verantwortung*, Stuttgart: Reclam.
- Jansen, L (2002), *Tun und Können. Ein systematischer Kommentar zu Aristoteles' Theorie der Vermögen im neunten Buch der Metaphysik*, Frankfurt a.M.: Hänsel-Hohenhausen.
- Jansen, L (2005a), „katégoria“, in: O. Höffe (Hg.), *Aristoteles-Lexikon*, Stuttgart: Kröner, 299–304.
- Jansen, L (2005b), „Was ist Sozialontologie?“, in: O. Neumaier, C. Sedmak, M. Zichy (Hgg.), *Philosophische Perspektiven. Beiträge zum VII. Internationalen Kongress der ÖGP*, Frankfurt a.M./Lancaster: Ontos, 279–284.
- Jansen, L (2006), „Aristoteles' Kategorie des Relativen zwischen Dialektik und Ontologie“, in: *Philosophiegeschichte und logische Analyse* 9, 79–104.
- Jansen, L (2007), „Aristotle's Categories“, in: *Topoi* 26, 151–158.
- Johansson, I (1986), „Levels of Intension and Theories of Reference“, in: *Theoria* 52, 1–16.
- Johansson, I (2000), „Determinables as Universals“, in: *The Monist* 83, 101–121.
- Johansson, I (2004), *Ontological Investigations. An Inquiry into the Categories of Nature, Man and Society*, 2. erw. Aufl., Frankfurt a.M.: Ontos.
- Johansson, I (2005), „Qualities, Quantities and the Endurant-Perdurant Distinction in Top-Level Ontologies“, in: G. Büchel, B. Klein, T. Roth-Berghofer (Hgg.), *Proceedings of the Second International Workshop on Philosophy and Informatics* (= CEUR Workshop Proceedings 130), online unter: <http://CEUR-WS.org/Vol-130/>.
- Johansson, I (2006a), „Four Kinds of 'Is_A' Relations: genus-subsumption, determinable-subsumption, specification, and specialization“, in: I. Johansson, B. Klein, T. Roth-Berghofer (Hgg.), *WSPI 2006: Contributions to the Third International Workshop on Philosophy and Informatics* (= IFOMIS Reports 14), Saarbrücken, 47–62.
- Johansson, I (2006b), „Bioinformatics and Biological Reality“, in: *Journal of Biomedical Informatics* 39, 274–287.
- Johnson, W E (1921), *Logic. Part I*, Cambridge: Cambridge University Press.
- Jullien, F (Hg.) (2004), *Die Kunst, Listen zu erstellen*, Berlin: Merve.
- Kahn, Ch H (1978), „Questions and Categories“, in: H. Hiz (Hg.), *Questions*, Dordrecht/Boston: Reidel, 227–278.
- Kant, I (1781/1787), *Kritik der reinen Vernunft*, in: ders., *Werkausgabe in 12 Bänden*, hg. W. Weischedel, Frankfurt a.M., 2002, Bde. 3–4.
- Kenny, A (1963), *Action, Emotion, and the Will*, London: Routledge.

- Knoepffler, N (1999), *Forschung an menschlichen Embryonen*, Stuttgart: Hirzel.
- Köhler, J et al. (2006), „Quality Control for Terms and Definitions in Ontologies and Taxonomies“, *BMC Bioinformatics* 7, 212, online unter: <http://www.biomedcentral.com/1471-2105/7/212>.
- Kutschera, F v (1992), *Einführung in die moderne Logik*, 6. Aufl., Freiburg: Alber.
- Langacker, R (1987), *Foundations of Cognitive Grammar, Volume I: Theoretical Prerequisites*, Stanford, CA: Stanford University Press.
- Lewis, D K (1986), *On the Plurality of Worlds*, Oxford: Blackwell.
- Locke, J (1690), *An Essay concerning Human Understanding*, hg. P. H. Nidditch, Oxford: Clarendon Press 1975.
- Lockwood, M (1985), „When does a Life Begin?“, in: M. Lockwood (Hg.), *Moral Dilemmas in Modern Medicine*, New York: Oxford University Press, 9-31.
- Lowe, E J (2002), *A Survey of Metaphysics*, Oxford: Oxford University Press.
- Lowe, E J (2006), *The Four-Category-Ontology*, Oxford: Clarendon.
- Macdonald, C (1998), „Tropes and Other Things“ in: S. Laurence, C. Macdonald (Hgg.), *Contemporary Readings in the Foundations of Metaphysics*, Oxford: Blackwell, 329–350.
- Maturana, H R und Varela, F J (1987), *Der Baum der Erkenntnis. Die biologischen Wurzeln des menschlichen Erkennens*, übers. K. Ludewig, Bern: Scherz.
- Mayr, E (1996), „What is a Species, and What is Not“, in: *Philosophy of Science* 63, 262–277.
- McCray, A (1993), „Representing biomedical knowledge in the UMLS semantic network“, in: N.C. Broering (Hg.), *High performance medical libraries: Advances in information management for the virtual era*, Westport, CT: Meckler, 45–55.
- McCray, A (2003), „An Upper Level Ontology for the Biomedical Domain“, in: *Comparative and Functional Genomics* 4, 80–84
- Meixner, U (1992), „On Negative and Disjunctive Properties“, in: K. Mulligan (Hg.), *Language, Truth and Ontology*, Dordrecht: Kluwer, 28–36.
- Michael, J; Mejino, J L V und Rosse, C (2001), „The Role of Definitions in Biomedical Concept Representation“, in: *Proceedings of the American Medical Informatics Symposium*, Amsterdam: IOS Press, 463–467.
- Mourelatos, A P D (1978), „Events, Processes, and States“, in: *Linguistics and Philosophy* 2, 415–434.
- Mourelatos, A P D (1993), „Aristotele’s kinesis/energeia Distinction: A Marginal Note on Kathleen Gills Paper“, in: *Canadian Journal of Philosophy* 23, 385–388.
- Nardi, D und Brachman, R J (2002), „An introduction to description logics“, in: F. Baader et al. (Hgg.), *The Description Logic Handbook. Theory, Application, Implementation*, Cambridge: Cambridge University Press, 1–39.

- Niles, I und Pease, A (2001), „Towards a Standard Upper Ontology“, in: C. Welty, B. Smith (Hgg.), *Proceedings of the 2nd International Conference on Formal Ontology in Information Systems*, New York: ACM Press, 2–9.
- Oehler, K (1986), *Aristoteles. Kategorien* (= Werke in deutscher Übersetzung 1/1), 2. Aufl., Berlin: Akademie Verlag 1986.
- Olson, E T (1997a), *The Human Animal*. Oxford: Oxford University Press.
- Olson, E T (1997b), „Was I Ever a Fetus?“, in: *Philosophy and Phenomenological Research* 57, 95–110.
- Ouzounis, C A et al. (2003), „Classification Schemes for Protein Structure and Function“ in: *Nature Reviews Genetics* 4, 508–519.
- Paton, N W et al. (2000), „Conceptual Modelling of Genomic Information“, in: *Bioinformatics* 16, 548–557.
- Pearson, H (2002), „Your destiny from day one“, in: *Nature Science Update*, online unter: www.nature.com/nsu/020701/020701-12.html.
- Peirce, C S (1931-58), *Collected Papers*, 8 Bde., ND Bristol: Thoemmes Press 1998.
- Pisanelli, D M (Hg.) (2004), *Ontologies in Medicine. Proceedings of the Workshop on Medical Ontologies, Rome, October 2003*, Amsterdam: IOS Press.
- Platon, *Werke in acht Bänden*, hg. G. Eigler, 3. unveränd. Aufl., Darmstadt: Wissenschaftliche Buchgesellschaft 1990.
- Quine, W V O (1963), *Set Theory and its Logic*, Cambridge, Mass.: Harvard University Press.
- Ridder, L (2002), *Mereologie. Ein Beitrag zur Ontologie und Erkenntnistheorie*, Frankfurt a.M.: Klostermann.
- Rödl, S (2005), *Kategorien des Zeitlichen. Eine Untersuchung der Formen des endlichen Verstandes*, Frankfurt a.M.: Suhrkamp.
- Rosse, C und Mejino J L V (2003), „A Reference Ontology for Bioinformatics: The Foundational Model of Anatomy“, in: *Journal of Biomedical Informatics* 36, 478–500.
- Russell, B (1940), *An Inquiry into Meaning and Truth*, London: Allen & Unwin.
- Russell, B (1948), *Human Knowledge. Its Scope and Limits*, London: Allen & Unwin.
- Russell, B (1959), *My Philosophical Development*, London: Allen & Unwin.
- Ryle, G (1949), *The Concept of Mind*, Chicago: University of Chicago Press.
- Schmidt, J (1980), *Die Umweltlehre Jakob von Uexkülls in ihrer Bedeutung für die Entwicklung der vergleichenden Verhaltensforschung*, Marburg: Philipps-Universität Marburg (Inaugural-Dissertation).
- Schnieder, B (2005), „Mein Leben und ich. Eine ontologische Ménage à deux“, in: *Zeitschrift für philosophische Forschung* 59, 489–511.
- Schulz, W A (2005), *Molecular Biology of Human Cancers*, Dordrecht: Springer.

- Schulz S und Hahn U (2007), „Towards the Ontological Foundations of Symbolic Biological Theories“, in: *Artificial Intelligence in Medicine* 39, 237–250.
- Schulz, S und Jansen, L (2006), „Lmo-2 interacts with elf-2: On the Meaning of Common Statements in Biomedical Literature“, in: O. Bodenreider (Hg.), *Biomedical Ontology in Action: Proceedings of the 2nd International Workshop on Formal Biomedical Knowledge Representation*, online veröffentlicht unter: <http://CEUR-WS.org/Vol-222/>, 37–45.
- Schulz, S und Johansson, I (2007) „Continua in Biological Systems“, in: *The Monist* 90, 499–523.
- Searle, J R (1959), „Determinables and the Notion of Resemblance“, in: *Proceedings of the Aristotelian Society Supplement* 33, 141–158.
- Searle, J R (1997), *Die Konstruktion der gesellschaftlichen Wirklichkeit. Zur Ontologie sozialer Tatsachen*, Hamburg: Rowohlt.
- Sellars, W F (1963), „Philosophy and the Scientific Image of Man“, in: ders. (Hg.), *Science, Perception and Reality*, London: Routledge & Kegan Paul, 1–40.
- Simons, P (1987), *Parts. A Study in Ontology*, Oxford: Clarendon Press.
- Simons, P (1992), „Categories and Ways of Being“, in: ders. (Hg.), *Philosophy and Logic in Central Europe from Bolzano to Tarski. Selected Essays*, Dordrecht/Boston/London: Kluwer, 377–394.
- Simons, P (2005), „Against Set Theory“, in: J.C. Marek und M.E. Reicher (Hgg.), *Experience and Analysis*, Wien: öbv&hpt, 143–152.
- Smith, B (1992), „Zum Wesen des Common Sense: Aristoteles und die naive Physik“, in: *Zeitschrift für philosophische Forschung* 46, 508–525.
- Smith, B (1995), „On Drawing Lines on a Map“, in: A.U. Frank und W. Kuhn (Hgg.), *Spatial Information Theory. A Theoretical Basis for GIS* (= Lecture Notes in Computer Science 988), Berlin/Heidelberg/New York: Springer, 475–484.
- Smith, B (1998), „The Basic tools of formal Ontology“, in: N. Guarino, *Formal Ontology in Information Systems*, Amsterdam: IOS Press, 19–28.
- Smith, B (1999), „Agglomerations“, in: C. Freska und D. M. Mark (Hgg.), *Spatial Information Theory. Cognitive and Computational Foundations of Geographic Information Science* (= Lecture Notes in Computer Science 1661), Berlin: Springer, 267–282.
- Smith, B (2000), „Gegenstände und ihre Umwelten: Von Aristoteles zur ökologischen Ontologie“, in: B. Boisits und S. Rinofner-Kreidl (Hgg.), *Einheit und Vielheit. Organologische Denkmodelle in der Moderne*, Wien: Passagen Verlag, 35–64.
- Smith, B (2001a), „True Grid“, in: D. R. Montello (Hg.), *Spatial Information Theory: Foundation of Geographic Information Science* (= Lecture Notes in Computer Science 2205), Berlin: Springer, 14–27.
- Smith, B (2001b), „Fiat objects“, in: *Topoi* 20, 131–148.

- Smith, B (2003a), „Aristoteles 2002“, in: T. Buchheim, H. Flashar und R. A. H. King, *Kann man heute noch etwas anfangen mit Aristoteles?*, Hamburg: Meiner, 3–38.
- Smith, B (2003b) „Ontology“, in: L. Floridi (Hg.), *Blackwell Guide to the Philosophy of Computing and Information*, Oxford: Blackwell, 155–166.
- Smith, B (2004a), „Beyond Concepts, or: Ontology as Reality Representation“, in: A. Varzi und L. Vieu (Hgg.), *Formal Ontology and Information Systems. Proceedings of the Third International Conference*, Amsterdam: IOS Press, 73–84.
- Smith, B (2004b), „Carving up reality“, in: M. Gorman, J. Sanford (Hgg.): *Categories. Historical and Systematic Essays*, Washington DC: Catholic University of America Press, 225–237.
- Smith, B (2005a), „Against Fantology“, in: J. C. Marek, M. E. Reicher (Hg.): *Experience and Analysis*, Wien: öbv&hpt, 153–170.
- Smith, B (2005b), „The Logic of Biological Classification and the Foundations of Biomedical Ontology“, in: P. Hájek et al. (Hgg.), *Logic, Methodology and Philosophy of Science. Proceedings of the 12th International Conference*, London: King's College Publications, 505–520.
- Smith, B et al. (2005), „Relations in Biomedical Ontologies“, in: *Genome Biology* 6, R46.
- Smith, B et al. (2007), „The OBO Foundry: Coordinated Evolution of Ontologies to Support Biomedical Data Integration“, in: *Nature Biotechnology* 25, 1251–1255; online unter: <http://www.nature.com/nbt/journal/v25/n11/pdf/nbt1346.pdf>.
- Smith, B und Brogaard, B (2003), „Sixteen Days“, in: *Journal of Medicine and Philosophy* 28, 45–78; dt. Übers.: „Sechzehn Tage: Wann beginnt ein menschliches Leben?“, in: G. Imaguire, C. Schneider (Hgg.), *Untersuchungen zur Ontologie, Festschrift für Hans Burkhardt*, München: Philosophia 2006, 3–40.
- Smith, B und Ceusters, W (2007), „Ontology as the Core Discipline of Biomedical Informatics. Legacies of the Past and Recommendations for the Future Direction of Research“, in: G.D. Crnkovic, S. Stuart (Hgg.), *Computing, Information, Cognition. The Nexus and the Liminal*, Newcastle: Cambridge Scholars Publishing, 104–122.
- Smith, B; Ceusters, W und Siebert, D (2004) „Was die philosophische Ontologie zur biomedizinischen Informatik beitragen kann“, in: *Information: Wissenschaft und Praxis* 55, 143–146.
- Smith, B und Grenon P (2004), „The Cornucopia of Formal-Ontological Relations“, in: *Dialectica* 58, 279–296.
- Smith, B und Klagges B (2005), „Philosophie und biomedizinische Forschung“, in: *Allgemeine Zeitschrift für Philosophie* 30, 5–26
- Smith, B; Köhler, J und Kumar, A (2004). „On the Application of Formal Principles to Life Science Data: A Case Study in the Gene Ontology“, in: E. Rahm (Hg.), *Proceedings of Data Integration of Life Sciences*, Berlin: Springer, 79–94.

- Smith, B; Kusnierczyk, W; Schober, D und Ceusters, W (2006) „Towards a Reference Terminology for Ontology Research and Development in the Biomedical Domain“, in: O. Bodenreider (Hg.), *KR-MED 2006 Proceedings. Second International Workshop on Formal Biomedical Knowledge Representation* (= CEUR Workshop-Proceedings 222), online unter: <http://www.CEUR-WS.org/Vol-222/>, 57–66.
- Smith, B und Rosse, C (2004), „The Role of Foundational Relations in Biomedical Ontologies“, in: M. Fieschi et al. (Hgg.), *MEDINFO 2004*, Amsterdam: IOS Press, 444–448.
- Smith, B und Varzi, A C (1999), „The Niche“, in: *Noûs* 33, 198–222.
- Smith, B und Varzi, A C (2000), „Fiat and Bona Fide Boundaries“, in: *Philosophy and Phenomenological Research* 60, 401–420.
- Smith, B; Williams, J und Schulze-Kremer, S (2003), „The Ontology of the Gene Ontology“, in: *Proceedings of the Annual Symposium of the American Medical Informatics Association*, Amsterdam: IOS Press 609–613.
- Sowa, J F (2000), *Knowledge Representation. Logical, Philosophical and Computational Foundations*, Pacific Grove CA: Course Technology.
- Spinoza, B (1677), *Die Ethik*, lat.-dt., rev. übers. J. Stern, Reclam: Stuttgart 1977.
- Stoecker, R (1999), *Der Hirntod. Ein medizinethisches Problem und eine moralphilosophische Transformation*, Freiburg: Alber.
- Stout, R (1997), „Processes“, in: *Philosophy* 72, 19–27.
- Strawson, P F (1959), *Individuals. An Essay in Descriptive Metaphysics*, London: Routledge.
- Swift, J (1726), *Travels into Several Remote Nations of the World in Four Parts. By Lemuel Gulliver, First a Surgeon, and then a Captain of Several Ships*, zit. nach: ders., *Ausgewählte Werke. Bd. 3: Gullivers Reise*, hg. A. Schlösser, 4. Aufl., Berlin, Weimar: Aufbau Verlag 1996.
- Taivalsaari, A (1996), „On the Notion of Inheritance“, in: *ACM Computing Surveys* 28, 438–479.
- Tarski, A (1935), „Der Wahrheitsbegriff in den formalisierten Sprachen“, zuerst 1935; ND in: K. Berka, L. Kreiser (Hg.), *Logik-Texte*, 4. Aufl., Berlin 1986.
- Tegtmeier, E (2002), „Warum David Lewis’ Unterscheidung zwischen Mitdauern und Währen verfehlt ist“, in: W. Löffler (Hg.), *Substanz und Identität*, Paderborn: Mentis, 83–95.
- Thomas von Aquin, *In duodecim libros Metaphysicorum Aristotelis expositio*, hg. M.-R. Cathala und R. M. Spiazzi, Turin/Rom: Marietti 1964.
- Thomas von Aquin, *In octo libros Physicorum Aristotelis expositio*, hg. M. Maggiolo, Turin/Rom: Marietti 1965.
- Tooley, M (1983), *Abortion and Infanticide*, Oxford: Clarendon Press.
- Trettin, K (2000), „Ontologie individueller Qualitäten“, in: R. Hüntelmann, E. Tegtmeier (Hgg.), *Ontologie*, St. Augustin: Academica, 145–164.

- Uexküll, J v (1928), *Theoretische Biologie*, Berlin: Springer.
- Vendler, Z (1972), *Linguistics in Philosophy*, Ithaca: Cornell University Press.
- Wachter, D v (2000), *Dinge und Eigenschaften. Versuch zur Ontologie*, Dettelbach: Röhl.
- Williams, D C (1953), „The Elements of Being“, in: *Review of Metaphysics* 7, 3-18; 171–192.
- Wilson, J (1999), *Biological Individuality. The Identity and Persistence of Living Entities*, Cambridge: Cambridge University Press.
- Winger, F (1984), *SNOMED – Systematisierte Nomenklatur der Medizin*, Berlin: Springer.
- Wittgenstein, L (1922), *Tractatus Logico-Philosophicus*, London: Kegan Paul, ND in: ders. *Werkausgabe*, Bd. 1, Frankfurt a.M.: Suhrkamp 1984, 7–85.
- Zaiß, A et al. (2005), „Medizinische Dokumentation, Terminologie und Linguistik“, in: T. M. Lehmann, *Handbuch der Medizinischen Informatik*, 2.Aufl., München/Wien: Hanser, 89–143.

Noch nie haben Biologie und Medizin so viel Wissen produziert wie heute, und ohne Informationstechnik wäre es schlichtweg unmöglich, den Überblick zu wahren. Das lebenswissenschaftliche Wissen informationstechnisch verfügbar zu machen ist die Aufgabe der angewandten biomedizinischen Ontologie, eines multidisziplinären Arbeitsgebiets, in dem Informatiker, Biologen und Mediziner gemeinsam mit Philosophen daran arbeiten, die biomedizinische Realität informationstechnisch zu repräsentieren.

Die einzelnen Kapitel behandeln die zentralen Themen der angewandten Ontologie: Realitätsrepräsentation, granulare Partitionen, Klassifikationen, die Kategorien der Top-Level-Ontologie, räumliche Entitäten, zeitliche Entitäten, ontologische Relationen, Subsumptionsarten, Spezifikation und Spezialisierung. Weitere Kapitel beschäftigen sich mit der Ontologie des Embryos und dem Beginn der Existenz eines menschlichen Individuums und dem neuen Bild der Ontologie, das sich durch die angewandte Ontologie ergibt. Die Autoren des Buches zeigen, wie die philosophische Ontologie zur angewandten Ontologie wird, die nicht nur für die Lebenswissenschaften von zunehmender Wichtigkeit ist. Und so richtet sich dieses Buch gleichermaßen an Biologen, Mediziner, Informatiker und Philosophen.

Ludger Jansen ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Philosophie der Universität Rostock und dort Geschäftsführer des Zentrums für Logik, Wissenschaftstheorie und Wissenschaftsgeschichte. **Barry Smith** ist Julian-Park-Professor für Philosophie an der State University New York in Buffalo und Direktor des Instituts für formale Ontologie und medizinische Informationswissenschaften (IFOMIS) in Saarbrücken. Er ist zudem Direktor des amerikanischen National Center for Ontological Research und einer der leitenden Forscher am National Center for Biomedical Ontology.



ISBN 978-3-7281-3183-6 (Buchausgabe)

ISBN 978-3-7281-3362-5

DOI-Nr. 10.3218/3362-5