



Leopoldina
Nationale Akademie
der Wissenschaften

ACTA HISTORICA LEOPOLDINA

Herausgegeben von Benno Parthier
im Auftrag des Präsidiums
der Deutschen Akademie der Naturforscher Leopoldina

Analogien in Naturwissenschaften, Medizin und Technik

Herausgegeben von Klaus Hentschel



**Deutsche Akademie der Naturforscher Leopoldina –
Nationale Akademie der Wissenschaften, Halle (Saale) 2010**
Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft mbH Stuttgart

Für die großzügige finanzielle Unterstützung der Publikation danken wir der
Gerda Henkel Stiftung.

ACTA HISTORICA LEOPOLDINA

Herausgegeben von BENNO PARTHIER, Mitglied der Akademie,
im Auftrag des Präsidiums der
Deutschen Akademie der Naturforscher Leopoldina

Nummer 56

2010

Analogien in Naturwissenschaften, Medizin und Technik

Fachtagung der
Deutschen Akademie der Naturforscher Leopoldina und der
Abteilung für Geschichte der Naturwissenschaften und Technik
der Universität Stuttgart

vom 17. bis 20. März 2008
Internationales Begegnungszentrum Eulenhof
(Universität Stuttgart, Campus Vaihingen)

Herausgegeben von
Klaus HENTSCHEL (Stuttgart)
Mitglied der Akademie

Mit 84 Abbildungen und 14 Tabellen



**Deutsche Akademie der Naturforscher Leopoldina –
Nationale Akademie der Wissenschaften, Halle (Saale) 2010
Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft mbH Stuttgart**

Redaktion: Dr. Michael KAASCH und Dr. Joachim KAASCH

**Die Schriftenreihe Nova Acta Leopoldina erscheint bei der Wissenschaftlichen Verlagsgesellschaft mbH,
Stuttgart, Birkenwaldstraße 44, 70191 Stuttgart, Bundesrepublik Deutschland.
Jedes Heft ist einzeln käuflich!**

Die Schriftenreihe wird gefördert durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung sowie das Kultusministerium des Landes Sachsen-Anhalt.

Einbandbild:

Das Diagramm des *orbis terrarum*. Mittelalterliche Illumination nach ISIDOR VON SEVILLA (vgl. Beitrag KRÜGER auf S. 123ff.).

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über [http//dnb.ddb.de](http://dnb.ddb.de) abrufbar.

Die Abkürzung ML hinter dem Namen der Autoren steht für Mitglied der Deutschen Akademie der Naturforscher Leopoldina – Nationale Akademie der Wissenschaften.

Alle Rechte, auch die des auszugsweisen Nachdruckes, der fotomechanischen Wiedergabe und der Übersetzung, vorbehalten.

© 2010 Deutsche Akademie der Naturforscher Leopoldina e. V. – Nationale Akademie der Wissenschaften
Emil-Abderhalden-Straße 37, 06108 Halle (Saale)

Fax +49 345 4723939, Tel. +49 345 4723934

Herausgeber: Prof. Dr. Dr. h. c. Benno PARTHIER (Halle/Saale) im Auftrag des Präsidiums der Akademie

Printed in Germany 2010

Gesamtherstellung: Druck-Zuck GmbH Halle (Saale)

ISBN: 978-3-8047-2865-3

ISSN: 0001-5857

Gedruckt auf chlorfrei gebleichtem Papier.

Inhalt

BERG, Gunnar: Eröffnung	7
1. Teil: Grundlegendes zu Analogien als heuristische Strategie	
HENTSCHEL, Klaus: Die Funktion von Analogien in den Naturwissenschaften, auch in Abgrenzung zu Metaphern und Modellen	13
HUBIG, Christoph: Analogie und Kreativität	67
KASPER, Lutz: Metaphern der Physik – eine fachdidaktische Reflexion	91
2. Teil: Analogien in Antike, Mittelalter und früher Neuzeit	
KRÜGER, Reinhard: Ei, Apfel, Hand und menschlicher Körper: Analogien im kosmologischen Denken des Mittelalters	123
SCHOTT, Heinz: Magierin Natur und Magier Mensch: Zu einer fundamentalen Analogiebildung der Alchemie	151
KRAFFT, Fritz: Vom Segen und Fluch einer Analogie – Johannes Keplers kosmischer Magnetismus	171
KLEINERT, Andreas: Wie ermittelt man die Zerstörungskraft einer Kanone? Eine Analogiebetrachtung bei Niccolò Tartaglia	195
FRIEBE, Peter: Mechanistische Analogien bei Robert Boyle, Daniel Bernoulli u. a. frühen Vertretern der kinetischen Theorie der Wärme	205
3. Teil: Analogien bei Denkern der Neuzeit	
PULTE, Helmut: Der Kantische Analogiebegriff und die Theorie der modernen Naturwissenschaften: Eine schematisierende Übersicht	233
HEIDELBERGER, Michael: Analogie und Quantifizierung: Von Maxwell über Helmholtz zur Messtheorie	255
SIEMSEN, Hayo: Die psychophysiologische Fundierung des Analogiebegriffs bei Ernst Mach	279

4. Teil: Analogien in Querschnittsdisziplinen

KNOBLOCH, Eberhard: Analogien und mathematisches Denken	309
CHEMLA, Karine: Usage of the Terms “Likewise” and “Like” in Texts for Algorithms. Algorithmic Analogies in Ancient China	329
BREIDBACH, Olaf: Relationale Identitäten: Analogisches Denken in der zoologischen Systematik	359
NACHTIGALL, Werner: Analogien und Analogieforschung in der Technischen Biologie und Bionik	383
ARTMANN, Stefan: Kybernetik zwischen Ingenieurwesen und Metaphysik – Eine Fall- studie zum Gebrauch von Analogien in den Strukturwissenschaften	399
KÜMMEL, Werner: Revolution als „Fieber“: Variationen eines Vergleichs	419
Personenregister	439

Eröffnung

Gunnar BERG ML, Halle (Saale)

Lieber Herr Kollege HENTSCHEL!
Liebe Kolleginnen und Kollegen!
Meine sehr verehrten Damen, meine Herren!

Ich begrüße Sie herzlich hier im Internationalen Begegnungszentrum der Universität Stuttgart und freue mich, dass ich diese Tagung zu „Analogien in Naturwissenschaften, Medizin und Technik“ eröffnen darf. Ich grüße Sie namens des Präsidiums der Deutschen Akademie der Naturforscher Leopoldina, besonders aber im Namen unseres Präsidenten, Professor Volker TER MEULEN, der leider nicht selbst hier sein kann.

Ich danke Herrn Kollegen HENTSCHEL und den Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern der Abteilung Geschichte der Naturwissenschaften und Technik für die Anregung zu der Tagung sowie für die gesamte Organisation, an der dieses Mal die Geschäftsstelle in Halle nur marginal beteiligt war.

Üblicherweise sage ich an dieser Stelle etwas zur Geschichte der Leopoldina. Da diese aber die meisten der Anwesenden in ihrer Eigenschaft als Wissenschaftshistoriker besser als ich kennen, werde ich mich nicht aufs Glatteis begeben und nur etwas zu den neueren Ereignissen sagen. Es sind drei Parallelentwicklungen zu nennen:

- (1.) Sie wissen, dass die Leopoldina seit ihrer Gründung medizinisch-naturwissenschaftlich ausgerichtet ist. Aber seit Jahrzehnten sind auch die Geisteswissenschaften hier beheimatet, nämlich durch Ihre Sektion, die der Wissenschaftsgeschichte. Man kann auch sagen, dass dadurch die Brücke zwischen den Naturwissenschaften einerseits und den Geisteswissenschaften andererseits gebildet wird. Anfang der 1990er Jahre wurde beschlossen, diese dadurch zu verstärken, dass sich die Leopoldina gegenüber solchen Geistes- und Sozialwissenschaften öffnet, die empirisch arbeiten bzw. die sich mit naturwissenschaftlich orientierten Fragestellungen befassen. So wurden die Sektionen „Psychologie und Kognitionswissenschaften“, „Ökonomik und empirische Sozialwissenschaften“, „Wissenschaftstheorie“ sowie „Kulturwissenschaften“ gegründet. Hinzu kamen, nun wieder relativ eng an die Naturwissenschaften anschließend, die Sektionen „Informationswissenschaften“ und „Technikwissenschaften“.
- (2.) In zunehmendem Maße hat die Leopoldina seit Ende der 1990er Jahre Stellungnahmen zu wissenschaftspolitisch brisanten Themen angefertigt, zu nennen sind Infektionskrankheiten, Stammzellen, Energiesicherheit und Nanotechnologie, besonders aber

hat sie Deutschland bei der Vorbereitung der G8-Gipfeltreffen vertreten, als aus den Teilnehmerländern jeweils eine Akademie aufgefordert war, gemeinsam Vorlagen für wissenschaftliche Themen zu liefern, die dann beim Treffen behandelt werden sollten. So hatte für das G8-Treffen im Vorjahr in Heiligendamm die Leopoldina die Federführung inne und koordinierte bei Zusammentreffen in Halle die Ausarbeitung der Papiere zu Energie, Klima und Geistigem Eigentum. Besonders beeindruckt waren unsere Gäste, als es gelang, bei einem Treffen aller Akademievertreter die im Vorfeld des Gipfels ausgearbeiteten Papiere der Bundeskanzlerin persönlich zu übergeben.

- (3.) Bereits Anfang der 1990er Jahre existierte der Vorschlag von Bundeswissenschaftsminister RIESENHUBER, unterstützt von Bundeskanzler KOHL, der Leopoldina die Stellung einer Nationalen Akademie zu übertragen. Nach intensiven Diskussionen wurde das seinerzeit vom Senat der Akademie abgelehnt. Doch die Anstrengungen zur Gründung einer Nationalen Akademie kamen Anfang der 2000er Jahre erneut in Gang, wobei zunächst allerdings an eine Neugründung gedacht war, an der Leopoldina, acatech als Vertreter der Technikwissenschaften und die Union der Akademien der Wissenschaften in Deutschland in gleicher Weise beteiligt sein sollten. Das scheiterte nicht zuletzt an der Uneinigkeit der Vertreter aus der Wissenschaft. Und nun trat das äußerst seltene Ereignis ein, dass sich eine historische Chance wiederholt. Bundesministerin SCHAVAN verkündete im Herbst vergangenen Jahres überraschend, sie wolle sich dafür einsetzen, dass die Leopoldina Nationale Akademie werde und es gelang ihr Anfang diesen Jahres, zu erreichen – vermutlich nach entsprechender Vorbereitung –, dass die Gemeinsame Wissenschaftskonferenz (GWK), in der Bund und Länder sich über wissenschaftspolitische Fragen abstimmen, bereits in ihrer ersten Sitzung diesem Vorhaben einstimmig zustimmte. Der Bundespräsident hat die Schirmherrschaft zugesagt, so dass Mitte 2008 die Nationale Akademie in einem Festakt in Halle aus der Taufe gehoben werden wird. Die Leopoldina als Nationale Akademie wird unter Mitwirkung von acatach und der Union der Akademien die Bundesregierung in wissenschaftsrelevanten Fragen durch Arbeitspapiere und Stellungnahmen, die in der Regel in wissenschaftlichen Kommissionen erarbeitet werden, beraten. Ein Ständiger Ausschuss (Koordinierungsgremium) unter der Leitung der Leopoldina und bestehend aus je drei Vertretern von Leopoldina, acatech und Union, wobei einer der Sitze ständig von der Berlin-Brandenburgischen Akademie der Wissenschaften wahrgenommen wird, stimmt die Aktivitäten ab. Die Erhebung zur Nationalen Akademie bedeutete für die Leopoldina also nicht nur Ehre und Anerkennung ihrer bisherigen Tätigkeit, sondern erhebliche zusätzliche Arbeit, auf die ich die anwesenden Leopoldina-Mitglieder bereits heute hinweisen möchte.

Doch nun noch einige Anmerkungen zum Thema des Symposiums, ohne damit der Diskussion vorgreifen zu wollen. Ich erlaube es mir, sie unter ein Motto zu stellen, dessen Kenntnis und Übersetzung ich Andreas KLEINERT, Halle, verdanke: *Die Analogie gefällt uns, weil sie unserer Eitelkeit schmeichelt und unserer Bequemlichkeit entgegenkommt: Aber die Natur ist nicht gezwungen, sich unseren Ideen anzupassen* (D'ALEMBERT im Artikel ‚Attraction‘ der *Encyclopédie*).

Ich bin sehr gespannt, wie die einzelnen Autoren die Bedeutung von Analogien bewerten werden. Wenn man die Zusammenfassungen der Vorträge liest, bekommt man den Eindruck, dass es sich um einen sehr schillernden Begriff handelt. Da es bei der Analogie um die Übertragung von Erkenntnissen aus einem bekannten Gegenstandsbereich in einen neuen, eben

den gerade zu untersuchenden Bereich geht, werden damit im wesentlichen auch ‚nur‘ diese Erkenntnisse transferiert, und es besteht die Gefahr, dass die Sicht auf neue Dinge versperrt wird. Man fragt sich dann, wie das eigentlich Neue bei der Erkenntnis entsteht, welche Mechanismen, die ja weit über die Analogie hinausgehen müssen, dabei wirksam werden?

Sicher waren Analogien in einigen Fällen wertvolle heuristische Hilfsmittel, haben Anstöße zur Erkenntnisgewinnung gegeben, dafür haben sie aber in anderen arg in die Irre geführt. Leider stellt man immer erst in der Rückschau fest, ob das Herbeiziehen einer Analogie zum Erfolg beigetragen hat – und sicher kann man die Bedeutung von Analogien auch übertreiben. Ich komme gerade vom Bundeskongress des „Deutschen Vereins für die Förderung des mathematischen und naturwissenschaftlichen Unterrichts“ (MNU) in Kaiserslautern. Dort wurde für heute ein Vortrag „Strukturen und Analogien in der Physik“ angekündigt, aus dessen Zusammenfassung hervorgeht, dass der Autor immer dann von Analogien zwischen zwei Themenbereichen spricht, „wenn diese durch dieselben mathematischen Strukturen beschrieben werden“. Auf diese Weise findet er auch „eine Analogie zwischen klassischer Mechanik und zwischen Quantenmechanik“, was man in gewisser Weise so sehen kann. Wenn solch eine ‚Analogie‘ aber nun ausgerechnet in der Schule betont werden sollte – der Vortrag wird auf einem Kongress gehalten, bei dem der Schulunterricht im Mittelpunkt steht –, befürchte ich, dass sich bei den Schülern solch eine eingängige Analogie besonders gut einprägt, aber gerade der qualitative Unterschied zwischen beiden Ansätzen auf der Strecke bleibt. Ich bin gespannt, wie Herr ARTMANN aus Sicht der Strukturwissenschaften und Herr KASPER im Zusammenhang mit dem Schulunterricht dieses Problem behandeln werden. Strukturwissenschaften betonen in erster Linie die Ähnlichkeit mathematischer Strukturen, man denke nur an die Formulierung des Gravitationsgesetzes und des Coulomb-Gesetzes, aber für den Naturwissenschaftler sind es ja die physikalischen Unterschiede, die besonders interessieren, die aber möglicherweise durch gleichartige formale Strukturen eher verdeckt werden. Im Schulunterricht sind für mich, wie gerade mit dem Beispiel Quantenmechanik erwähnt, Analogien besonders problematisch, da es ja hier um Didaktik und Verständnis, aber nicht um das Erforschen neuartiger Phänomene geht, wo Analogien, richtig bewertet, heuristische Hinweise geben können, aber erst dann zum Neuen führen, wenn sie wieder rechtzeitig aufgegeben werden. Das Paradebeispiel für den Analogiegebrauch in der Schule ist das Atommodell und dessen Deutung als ‚Sonnensystem im Kleinen‘. Bereits RUTHERFORD, nach dessen Entdeckung dieses Bild geprägt wurde, wusste, dass es falsch sein musste. Es wurde sofort ausgerechnet, in welcher kurzen Zeit die Elektronen den Atomkern erreicht haben würden, und erst BOHR ‚rettete‘ die Stabilität, indem er das Atom eben nicht als Sonnensystem behandelte. Bedauerlicherweise haben aber die Physiker wider besseres Wissen dieses Bild in die Welt gesetzt, so dass es heute in allen Köpfen steckt. Wird es in der Schule behandelt, so wird es wegen seiner überzeugenden Einfachheit bei der überwiegenden Mehrzahl der Schüler trotz aller späterer Anstrengungen das dominierende Bild bleiben, wie alle Erfahrungen bisher gezeigt haben. Es sollte eine Aufgabe der Didaktiker sein, einen Zugang zum Atom zu entwickeln, bei dem die Analogie zum Sonnensystem, aber auch das Bohr-Modell vermieden und die quantenmechanische Beschreibung des Atoms vermittelt wird. Ebenso ist die in der Schule zu hörende Behauptung falsch: „Elektronen sind Wellen.“ Gestattet ist nur die folgende Aussage: Will man das Ergebnis der Streuversuche des quantenmechanischen Objektes Elektron mit einem klassischen Bild beschreiben, dann lässt sich das Ergebnis wie das von einer Welle herrührende angeben. Wie wollte man andernfalls den lichtelektrischen Effekt interpretieren?

Noch problembeladener sehe ich aber die Anwendung von Metaphern, wobei der Übergang zu den Analogien womöglich fließend ist. Wenn auch kein explizites Thema des Symposiums, so kommt es doch häufig vor, dass wir die Anwendung von naturwissenschaftlichen Metaphern im Alltagssprachgebrauch erleben. Dabei ist die Bedeutung meist eklatant verzerrt, ich denke nur an die zeitweise sehr beliebten und auch heute noch nicht völlig aus dem Gebrauch gekommenen Begriffe ‚Quantensprung‘ und ‚Halbwertszeit des Wissens‘, gar nicht zu reden von SOKALS Zusammenstellung von Zitaten hauptsächlich französischer Philosophen in seinem mit BRICEMONT verfassten Buch *Eleganter Unsinn*.

Ich freue mich auf die Vorträge und die zu erwartenden Diskussionen, danke nochmals den Organisatoren hier vor Ort sowie dem „Verein der Freunde des Historischen Instituts der Universität Stuttgart“, besonders aber der Gerda Henkel Stiftung in Düsseldorf für finanzielle Unterstützung, ohne die das Symposium in dieser Form nicht zustande gekommen wäre. Ich wünsche uns eine interessante und anregende Veranstaltung sowie einen angenehmen Aufenthalt hier auf dem Universitäts-Campus in Vaihingen.

Prof. Dr. Dr.-Ing. Gunnar BERG
Deutsche Akademie der Naturforscher Leopoldina
Nationale Akademie der Wissenschaften
Emil-Abderhalden-Straße 37
06108 Halle (Saale)
Bundesrepublik Deutschland
Tel.: +49 345 47239889
Fax: +49 345 4723919
E-Mail: gunnar.berg@physik.uni-halle.de

**1. Teil:
Grundlegendes zu Analogien
als heuristische Strategie**

Die Funktion von Analogien in den Naturwissenschaften, auch in Abgrenzung zu Metaphern und Modellen

Klaus HENTSCHEL ML, Stuttgart

Mit 6 Abbildungen

Zusammenfassung

Diese Einleitung untersucht die verschiedenen Funktionen von Analogien in Wissenschaft, Medizin und Technik. Der Schwerpunkt liegt auf ihrer heuristischen Bedeutung. Die Ergiebigkeit von Analogien ist mit der systematischen Tiefe und Breite der bestehenden Verbindungen verknüpft. Verschiedene Beispiele aus unterschiedlichen Perioden der Wissenschaftsgeschichte werden behandelt, vor allem GALILEO, spätviktorianische Anhänger der Maxwellschen Theorie wie George Francis FITZGERALD und Oliver LODGE, aber auch Heinrich HERTZ und Niels BOHR. Diese Beispiele werden in Hinblick auf die spezifisch verschiedenen beanspruchten Gültigkeitsdauern untersucht. Sie dienen als Beweis oder Gegenbeweis für verschiedene systematische Analogieanalysen, wie sie von verschiedenen Wissenschaftsdenkern, vor allem Francis BACON, John Stuart MILL, Ernst MACH, Harald HØFFDING, Ernest NAGEL, Mary HESSE und Peter ACHINSTEIN unterbreitet wurden. Der analytische Rahmen für die hier unterstützten Analogien ist das, was die Kognitionswissenschaftlerin Dedre GENTNER als *structure-mapping* bezeichnete.

Abstract

This introduction surveys the various functions of analogies in science, medicine and technology. The focus is on their heuristic importance. The productiveness of analogies is linked to the systematic depth and breadth of the established connections. Various examples are presented from different periods in the history of science, most notably GALILEO; such late-Victorian Maxwellians as George Francis FITZGERALD and Oliver LODGE; and Heinrich HERTZ and Niels BOHR. These examples are examined in terms of the specific differing temporal ranges of their claimed validities. They serve as evidence or counterevidence for various systematic analyses of analogies as put forward by various philosophers of science, most notably Francis BACON, John Stuart MILL, Ernst MACH, Harald HØFFDING, Ernest NAGEL, Mary HESSE and Peter ACHINSTEIN. The analytic framework for analogies supported here is what the cognitive scientist Dedre GENTNER has termed *structure-mapping*.

Einleitung

Analogien zählen zu den ältesten Denkformen der Menschheit¹ und erfreuen sich bis heute großer Beliebtheit, sowohl in der Umgangssprache wie auch in literarischen und wissenschaftlichen Diskursen.² Das Wort Analogie leitet sich ab aus der griechischen Vorsilbe *ἀνα-*

1 Siehe etwa SCHNEIDER 2000 sowie STAHL 1993 über die Nutzung von Analogien in der Archäologie.

2 Für eine knapper gefasste Literaturübersicht siehe HENTSCHEL 2007b, eine Kurzfassung dieses Aufsatzes, die allen Teilnehmerinnen und Teilnehmern der Tagung in Stuttgart 2008 zur Verfügung gestellt wurde, um die begriffliche und methodische Kohärenz der Beiträge dieses Sammelbandes zu erhöhen. Ferner die Einführung von DURAND-RICHARD in DURAND-RICHARD 2008 sowie die leider auf angelsächsische Literatur beschränkte Bibliographie von GUARINI et al. 2009.

und dem Substantiv *λόγος*. Sowohl das Adjektiv *ἀναλογος* wie auch das Substantiv *ἀναλογία* finden sich erst in der klassischen Zeit, zuerst im pythagoräischen Sinn geometrischer Proportion (A:B analog C:D), seit der Zeit von PLATON auch im übertragenen Sinne.³ Otto REGENBOGEN hielt die Analogie gar für *die* prototypische Forschungsmethode antiker, genauer „voraristotelischer Naturwissenschaft“, die Althilologen Wolfgang SCHADEWALDT und Hermann FRÄNKEL haben die Bedeutung analogischer Denkformen speziell in den Fragmenten der Vorsokratiker herausgearbeitet,⁴ und auch der Doyen der alten Geschichte, Geoffrey LLOYD, hält Analogien neben Polaritäten für eines der Grundmuster antiken Denkens, und zwar sowohl im vorsokratischen Griechenland wie auch im alten China.⁵ Aber auch im Denken des Mittelalters und der frühen Neuzeit finden sich Analogien wie etwa die zwischen Mikrokosmos und Makrokosmos⁶ oder die zwischen belebter und unbelebter Natur⁷ zuhauf. Das *Novum Organon* von Francis BACON, dem wichtigsten Methodologen der frühen Neuzeit und geistigen Paten der Londoner *Royal Society*, hat als Kern eine systematische Erfassung und Tabellierung von Analogien im allgemeinen Sinne von „resemblances and conjugations of things“,⁸ deren Studium für ihn den ersten unentbehrlichen Schritt in Richtung von empirischer Naturwissenschaft darstellte:

“Men’s labour therefore should be turned to the investigation and observation of the resemblances and analogies of things, as well as in wholes as in parts. For these it is which detect the unity of nature, and lay a foundation for the constitution of the sciences.”⁹

Seit der frühen Neuzeit bis heute wurde z. B. der Mensch u. a. mit einer Maschine, mit hydraulischen Systemen, mit einem Computer und mit einem Hologramm verglichen, wobei auffällt, dass die jeweiligen Basisbereiche der zu verschiedenen Zeiten präferierten Analogien immer die avanciertesten Bereiche der jeweiligen Technik waren. Aber auch in der heutigen Natur- und Geisteswissenschaften, Medizin und Technik werden Analogien trotz gelegentlich anzutreffender abschätziger Bemerkungen über die Gefahr „bloßer“ Analogiebetrachtungen quer durch die Disziplinen von der Archäologie bis zu den Biowissenschaften und von der Physik bis zur Sprachwissenschaft nicht nur als eine beliebte Popularisierungsstrategie einge-

3 Zur Begriffsgeschichte von „Analogie“ siehe SZABO 1969, S. 193–221, KLUXEN 1971 sowie IRMSCHER 1988.

4 Siehe SCHADEWALDT 1978, z. B. S. 374, sowie vor ihm bereits FRÄNKEL 1955 zur Heraklitischen Denkform.

5 Siehe REGENBOGEN 1931 bzw. LLOYD 1966, 1968. Zu analogischem Denken im alten China siehe ferner z. B. BODDE 1991, S. 71ff., LO 1995, Patrick FREI in GLOY und BACHMANN 2000 und Alexei VOLKOV in DURAND-RICHARD 2008.

6 Siehe z. B. die Beiträge von BACHMANN, ALBERTINI und GLOY in GLOY und BACHMANN 2000; die Beiträge über „Analogy in Patristic and Medieval Thought“ sowie für die frühe Neuzeit (etwa für HOBBS’ Leviathan) wichtigen „Analogy of the body politic“ im Dictionary of the History of Ideas I, 64–70 (1968); speziell zur Mikrokosmos-Makrokosmos-Analogie: ALLERS 1944, 1994, FEHRENBACH 1996, BÖHME 2002 und hier die Beiträge von Heinz SCHOTT und Reinhard KRÜGER.

7 In der metaphorischen Rede vom „Totbrennen“ des Kalkes finden sich Spuren dieser Analogie bis ins 18. Jahrhundert, in der Alltagssprache z. T. bis heute.

8 Siehe BACON 1620/1979, II, 4 und 10–16 sowie z. B. LEATHERDALE 1974, S. 4–8, zu BACON und S. 9 zur Umsetzung dieses Methodenideals in der botanischen Taxonomie etwa von ADANSON. Für weitere Beispiele personen-orientierten Nachweises der Wirkungsmächtigkeit analogischen Denkens in der frühen Neuzeit siehe etwa STICKER 1969 zu LEIBNIZ sowie Beiträge von Katherine PARK, Lorraine DASTON und Peter GALISON über BACON, GALILEI und DESCARTES in Isis (1984).

9 Beide Zitate aus BACON 1620/1979, II, 27, der ebenda einschränkend ergänzt: “although they [analogies] are of little use for the discovery of forms, they nevertheless are very serviceable in revealing the fabric of the parts of the universe, and anatomizing its members; from which they often lead us along to sublime and noble axioms, especially those which relate to the configuration of the world rather than to simple forms and natures.”

setzt, sondern weiterhin auch als *eine* von vielen Forschungsstrategien.¹⁰ Einer der ersten, der mit einer Vielzahl von Beispielen auf die große heuristische Bedeutung von Analogien in der Forschungspraxis hingewiesen hat, war der Physiker, Physiologe und Philosoph Ernst MACH (1838–1916),¹¹ zugleich Vorreiter einer engen Verbindung von Wissenschaftsgeschichte und -theorie. Mit dem Überhandnehmen formalistischer Ansätze in der Wissenschaftstheorie gerieten diese praxisnahen Einsichten zeitweise in den Hintergrund, aber neue kognitionspsychologische und wissenschaftstheoretische Strömungen haben seit etwa 1995 zu einer neuen Welle des Interesses an schwer formalisierbaren, aber wissenschaftlich dennoch oft außerordentlich fruchtbaren *mental leaps* wie eben auch dem Analogieschluss geführt.¹² Eine der Funktionen dieser Aufsatzsammlung ist die einer Art Zwischenbilanz des Wissensstandes dieses spannenden Forschungsfeldes und der Nachweis von Fruchtbarkeit der in diesem Kontext gewonnenen Einsichten für die Wissenschafts-, Medizin- und Technikgeschichte, welche von den Ergebnissen jener transdisziplinär zwischen Feldern wie Kognitionswissenschaft, Philosophie und Kulturgeschichte weit verstreuten Studien zu Analogien stärker als bislang Gebrauch machen sollten.

Analogien als schillerndes Untersuchungsobjekt

In einem amüsanten Aufsatz über die ambivalente Rolle von Analogien in der Quantentheorie schreibt der zu Provokationen neigende Wissenschaftstheoretiker Mario BUNGE Analogien die Rolle einer „prolific but superficial matron“ zu und konstatiert: „Analogy, like the Indian monkeys, is found in every household and everyone admires its fertility but nobody examines it carefully and no one trusts it.“¹³ Ihrem hohen Verbreitungsgrad in Vergangenheit und Gegenwart korrespondiert allerdings keine ebenso große Klarheit über ihre Definition und Abgrenzung von anderen Formen des Vergleichens und des In-Beziehung-Setzens. Schon John Stuart MILL klagte: „There is no word [...] which is used more loosely, or in a greater variety of senses, than analogy.“¹⁴ Insbesondere herrscht bis heute beträchtliche Verwirrung über die systematische Abgrenzung der Metaphern von Analogien einerseits sowie über die wissenschaftstheoretisch ebenso grundlegende Unterscheidung zwischen Analogien und Modellen andererseits.¹⁵ Leider übergehen auch renommierte Kognitionspsychologen wie etwa Diane F. HALPERN diese Unterscheidungen gerne allzu leichtfertig mit Bemerkungen wie „The English grammatical [gemeint ist: semantic] distinction among analogy, metaphor, and

10 Zur Archäologie siehe WYLIE 1988, STAHL 1993; zur Physik SEELIGER 1947/48, HARRÉ 1988 und TIEMANN 1993 sowie PATY und COMTE in DURAND-RICHARD 2008; zur Chemie VAN'T HOFF 1885, FARBER 1950, SNELDERS 1994 und FRANCOEUR 1997 (letzterer insbesondere zu „materiellen Analogien“, sprich physischen Modellen von Molekülen); zur Biologie CANGUILHEM 1963, BONNER 1963; zur Technik SARLEMUN und KROES 1988; für diese u. v. a. andere Disziplinen von der Medizin über die Mathematik und Philosophie bis zur Philologie siehe diverse Beiträge zu Berichten zur Wissenschaftsgeschichte *J2* (1989) wie auch in diesem Band.

11 Siehe insbesondere MACH 1905/1926, S. 220–231 sowie in diesem Band den Beitrag von Hayo SIEMSEN.

12 Ein Indiz dafür: GENTNER et al. 2001, ferner auch die Publikationen von THAGARD, HOLYOAK und GENTNER sowie DURAND-RICHARD 2008 mit Schwerpunkt auf der Analyse von Verwendung von Analogien in der Geschichte der Mathematik.

13 Siehe BUNGE 1967.

14 MILL 1843/1887, S. 393; vgl. dazu auch WELLER 1970, S. 113.

15 Schon ACHINSTEIN 1964, S. 330f. klagte über die synonyme Verwendung von Analogie und Modell bei so angesehenen Wissenschaftstheoretikern wie Ernest NAGEL, Richard BRAITHWAITE u. v. a.; vgl. z. B. HESSE 1966, ACHINSTEIN 1967, Kap. 7 (Analogies and Models), sowie LEATHERDALE 1974, Kap. 1–2.

simile is not being considered here because it is irrelevant in this context.”¹⁶ Es zeigt sich, dass ein Verzicht auf saubere begriffliche Abgrenzung von Metapher, Analogie und Modell mit einem herben Verlust an Auflösungsschärfe einhergeht. Diesem Manko soll hier durch ausführlich begründete Wortwahl sowie eine Kombination systematischer Betrachtungen und wissenschaftshistorischer Beispiele abgeholfen werden, wobei der Autor die Hoffnung hegt, dass die angedeuteten begrifflichen Abgrenzungen auch auf andere Gebiete übertragbar sind, in denen sowohl Metaphern wie auch Analogien und Modelle eingesetzt werden und in denen eine Vermischung jener drei, miteinander verwandten, aber keinesfalls deckungsgleichen Denkformen allzu nahe liegt. Begonnen werden soll mit einigen begrifflichen Abgrenzungen.

Metaphern und Analogien

Auf den ersten Blick scheinen Metapher und Analogie fast synonym miteinander zu sein. Ob ich (metaphorisch) von der „Blütezeit“ einer Kultur rede, oder eine Analogie zwischen den Wachstumsphasen einer Pflanze und den Entwicklungsphasen einer Kultur behaupte, scheint – zumindest was die dahinterstehende Systematik des Vergleichens betrifft – auf das gleiche hinauszulaufen. Ist ersteres nicht eigentlich eine implizite Form von letzterem? Mit anderen Worten: sind Metaphern nicht so etwas wie unausgepackte Analogien, oder umgekehrt Analogien so etwas wie ausgeführte Metaphern? Tatsächlich hat u. a. Max BLACK (1909–1988) in einflussreichen Beiträgen Metapher und Analogie in genau diesem Sinn aufeinander bezogen,¹⁷ während Charles PERELMAN und ihm folgend die Vertreter der *new rhetoric* die Metapher als eine eingepackte, kondensierte Analogie aufgefasst haben.¹⁸ Die auf ARISTOTELES, CICERO und QUINTILIAN zurückgehende klassische Theorie der Metapher interpretiert diese als einen **verkürzten Vergleich**,¹⁹ und zwar zweifach verkürzt: um die fehlende Vergleichspartikel „wie“ und um den Vergleichsgesichtspunkt. Mit der Übertragung eines fremden Namens auf etwas, dem eigentlich eine andere Bezeichnung zukommt, entsteht – auch im Kontrast zu anderen Tropen wie etwa der Metonymie, Synekdoche oder Ironie, denen kein Vergleich zugrunde liegt – nach dieser Auffassung eine vergleichsvermittelte Bedeutungsübertragung. Dadurch, dass das *tertium comparationis* unerwähnt bleibt, muss jede Metapher vom Leser oder Hörer semantisch erst aufgeschlossen werden (sofern es sich nicht um sogenannte „tote“ Metaphern handelt, deren metaphorischer Charakter aufgrund häufigen Gebrauchs niemandem in der Sprachgemeinschaft mehr bewusst ist). Auf diesen metaphorischen Überschuss bzw. die von der Metapher eingeleitete semantische Interaktion

16 HALPERN 1996, S. 83, in fast gleichem Wortlaut nochmals auf S. 375.

17 Siehe BLACK 1954; reprinted in BLACK 1962, S. 22–47, 259, sowie BLACK 1979, auf S. 31: “every metaphor may be said to mediate an analogy or structural correspondence.” Ohne auf die Qualifikationen in BLACKS Interaktionstheorie der Metapher zu achten, auf die ich später zurückkommen werde, hat darauf bezugnehmend z. B. STEPAN 1986 Metapher und Analogie “interchangeably” als völlig synonym miteinander verwendet (Zitat S. 261); auch HUTTEN 1956, OPPENHEIMER 1956, LLOYD 1966, BERGGREN 1962/63, ROTHBART 1984, S. 61 ff., u. v. a. Autoren trennen nicht scharf genug.

18 Siehe PERELMAN 1969, hier S. 4, 7, sowie PERELMAN und OLBRECHTS-TYTECA 1969/2000, Teil 3, III, §82–88, insbesondere §87.

19 ARISTOTELES *Rhet.* G4.1406b20–24, sowie 1457b, wo Metaphern als Bezeichnung von etwas mit dem Namen eines anderen, aufgrund der Analogie beider, definiert werden; M. T. CICERO, *de orat.* III, 157 bzw. M. F. QUINTILIAN: *Inst. orat.* VIII, 6, 8f. Zu ARISTOTELES’ Theorie der Analogie vgl. ferner HESSE 1965b, KOPPE 1995 sowie Philippe HUNEMAN in DURAND-RICHARD 2008.

zwischen dem sogenannten „Brennpunkt“ der Metapher (in ihrem ursprünglichen Wortfeld) und ihrem durch die übertragene Bedeutung und deren Konnotationen entstehenden weiteren „Rahmen“ heben einige neuere Theorien der Metaphorik ab.²⁰

Douglas BERGGREN formulierte eine regelrechte **Spannungstheorie** (*tension theory*), um diese in metaphorischer Rede vollzogene Überschreitung semantischer Grenzen zwischen Bedeutungsfeldern zu explizieren. Eigentlich begehe man in bzw. mit jeder Metapher einen Selbstwiderspruch (“a significant self-contradiction”), aber dieser sei im Unterschied zu sinnloser oder fehlerhafter Rede bewusst und gezielt eingesetzt sowie begleitet von dem Wissen um den fiktiven Charakter des Ausgesagten. Das subsidiäre Bedeutungsfeld, das durch die Metapher eröffnet wird, reiche ihren Brennpunkt als eigentlichen Gegenstand mit neuen Bedeutungsschichten an und wirke dadurch wie ein WahrnehmungsfILTER, der die Aufmerksamkeit auf neue Aspekte dieses Brennpunktes lenke und zu einer Art stereoskopischer Sicht auf diesen Gegenstand führe, das nun aus zwei verschiedenen Perspektiven auf einmal gesehen werden könne.²¹ Ein gutes Beispiel dafür wäre die in der frühen Neuzeit vielbenutzte Metapher vom Buch der Natur, das in mathematischen Lettern geschrieben ist: Statt einem bloß-kontemplativen Betrachten der Natur wird hier eine neue „Lesart“ der Natur nahegelegt, die jenseits der Oberflächenerscheinungen nach (abstrakten) Strukturen sucht und zu angestrengtem „Lesen“ auffordert.

Auf genau solche semantische Reorganisation hebt die von den Linguisten Samuel R. LEVIN (1917–2010), Eva Feder KITTAY und Adrienne LEHRER entwickelte Theorie der Metapher als **Transfer semantischer Felder** ab.²² In Metaphern, so ihre These, die ich weit überzeugender finde als die beiden erstgenannten Theorien, werden Bedeutungsschichten von einem sekundären Vergleichsbereich S' auf einen primär interessierenden Zielbereich S übertragen, so etwa wenn man – wie DESCARTES, LA METTRIE und andere Anhänger des mechanistischen Weltbildes – den menschlichen Körper mit einer Maschine oder mit einer Uhr vergleicht.²³ Das semantische Feld des Zielbereichs S, hier der Mensch mit all seinen typischen Attributen, würde durch diese Metapher um eine Reihe ganz untypischer Attribute erweitert, die einem mit dem ersten unverträglichen semantischen Kontrastfeld S', nämlich dem des unbelebten, speziell des Maschinellen, zugeordnet wären. Mit dieser Übertragung semantischer Eigenschaften (*feature transfer*) sei nicht nur eine (in diesem Falle zumindest in der frühen Neuzeit ungeheure) Provokation verbunden, sondern zumindest potentiell immer auch ein Erkenntnisgewinn, nämlich dann, wenn es sich als fruchtbar erweist, das Arbeiten des menschlichen Körpers oder Geistes mit dem Funktionieren einer Maschine zu vergleichen.²⁴ Der Sprachphilosoph Daniel ROTHBART hat diese semantische Transfertheorie der Metapher durch Un-

20 Siehe z. B. BERGGREN 1962/63, BLACK 1954, 1979, LEATHERDALE 1974, S. 1ff., TOURANGEAU und STEINBERG 1981 sowie KOPPE 1995 für weitere Nachweise.

21 Siehe BERGGREN 1962/63, insbesondere S. 240–244, zum *metaphorical sort-crossing* und zum dadurch erreichten *plurisignificative sign focus*. In die gleiche Richtung gehen Mark TURNERS Überlegungen zum *conceptual blending*.

22 Zum folgenden siehe LEVIN 1977, KITTAY und LEHRER 1981 sowie ROTHBART 1984; ein historisches Beispiel in GRUBER 1980.

23 Für Hinweise auf Primärliteratur und weitergehende Analysen dieser Uhren- und Maschinenmetapher sowie der damit konnotierten metaphorischen Felder siehe z. B. LAUDAN 1966, McREYNOLDS 1978.

24 Dieses Beispiel ist auch deswegen so gut, weil es zeigt, wie dieser durch die Uhren-Metapher angeschobene Transfer sehr auf der Oberfläche bleibt, ohne mit einem Transfer ganzer Relationsnetze oder weitergehender Aussagen verbunden werden zu können. Es machte (und macht bis heute) keinen Sinn, nach weitergehenden Entsprechungen etwa des Ineinandergreifens der Zahnräder oder der Unruhe der Uhr im menschlichen Gehirn zu suchen und einschlägige Konnotationen wie das „richtig-ticken“ oder das „aufziehen“ sind als konzeptuelle Metapher Teil eines breiten, aber diffusen „metaphorischen Feldes“, wie Lutz KASPER in seinem Beitrag ausführt.

terscheidung von vier verschiedenen Typen semantischer Übertragung weiter ausgebaut: in Metaphern könne das semantische Feld des Zielbereiches entweder durch einzelne Attribute erweitert werden (*constant conjoining transfer*), oder einzelne Attribute des Zielbereiches würden durch den Vergleichsbereich ersetzt (*constant replacing transfer*), wie etwa in der metaphorischen Redewendung, dass mein Computer nach einer „Krankheit“ wieder „gesund“ sei. Der semantische Konflikt, dass etwas nicht zugleich belebt und unbelebt sein könne, und etwas unbelebtes niemals gesund oder krank sein kann, wird dadurch aufgelöst, dass dem Computer – wenn hier auch nur spielerisch – eine Art „Leben“ zugebilligt werden muss. Statt einzelnen zeitlich konstanten Attributen könnten in Metaphern ferner auch Variablen in dieser doppelten Weise transferiert werden.²⁵ Einige Fachtermini der Wissenschaft werden durch eine solche stipulative, gleichwohl metaphorische Übertragung kreiert, so etwa in der Astrophysik die Rede von „Weißen Zwergen“ als prägnante Bezeichnung von hellleuchtenden, aber relativ zu anderen sehr kleinen Sternen, oder „Schwarze Löcher“ als Singularitäten in der Raumzeit, der nicht einmal Licht mehr zu entkommen vermag. Viele Fachausdrücke der Wissenschaften sind auf diese Weise als von Anfang an tote Metaphern entstanden, während andere, etwa die der chemischen Affinität, anfangs sehr wohl echte Metaphern gewesen seien, die erst allmählich in einem langsamen Gewöhnungsprozess nicht mehr als solche erkennbar seien.²⁶ In genau jenem semantischen Informationsgewinn aus der Anreicherung des Zielbereiches mit semantischen Attributen oder Variablen des Vergleichsbereiches besteht für die Anhänger der semantischen Transfertheorie auch die kreative Leistung von Metaphern in der Wissenschaft, welche inzwischen von niemandem mehr ernsthaft bestritten wird.

Auf den ersten Blick hat die Auffassung von Metaphern als semantischem Transfer einiges für sich, doch hat schon in den 1960er Jahren Max BLACK darauf hingewiesen, dass beim Gebrauch von Metaphern mehr passiert als nur ein einseitig gerichteter Übertrag von Attributen durch Vergleich von *explanans* und *explanandum*. Deshalb vertrat BLACK eine andere Auffassung der Metapher, die sogenannte **Interaktionstheorie**.²⁷ Ihm zufolge findet bei jeder „guten“ Metapher ein Prozess wechselseitiger Assimilation von sekundärem und primärem Bereich statt, an dessen Ende sich unsere Sicht von beiden Bereichen geändert hat: nicht nur unsere Wahrnehmung des Menschen als wolfsähnlich, sondern auch umgekehrt die des Wolfes als menschenähnlicher. Deshalb seien, so BLACK weiter, Metaphern keine einseitig gerichteten Vergleiche, sondern wechselseitig angelegt. So richtig BLACKS Hinweis auf die Existenz einer Rückkopplung einer Metapher von „*x* als *y*“ vom Primärbereich *x* auf den Sekundärbereich *y* ist, so sehr zeigt doch gerade die für BLACK so wichtige Kommunikationssituation, in die Metaphern jeweils eingebettet sind, dass es für die Metaphern-verwendenden Sprecher (oder Schreiber) eben *nicht* auf die nähere Beleuchtung von *y*, sondern nur auf den Primärbereich *x* ankommt. Sie reden (oder schreiben) von *x* und illustrieren dies neben

Jenen metaphorischen Modellierungs-Angeboten frühneuzeitlicher Mechanisten blieb heuristische Fruchtbarkeit weitgehend versagt. Für eine ausgeführte Analyse siehe hier den Beitrag von Peter FRIEBE über BOYLE.

25 Zu den Einzelheiten und ihrer Formalisierung siehe ROTHBART 1984, S. 599ff., der auch schon erkannt hat, dass „recipient and donor semantic field must be incongruous [but must] share fundamental and ontological precepts“ (S. 613), da ihre Verbindung sonst nicht zu kohärenten Konzepten führen kann.

26 Siehe nochmals ROTHBART 1984, S. 608f. zu dieser *aggramatization* sowie z. B. RANDALL 2005 für viele weitere Beispiele für Metaphern in der Sprache der Physik. Der Versuch von JONES 1982, die ganze Physik als Metapher zu interpretieren, mit Raum, Zeit, Materie und Zahl als „kardinalen Metaphern“, wird von ROTHBART 1984, S. 614, zu Recht als Beispiel für eine *metaphoric inflation* angeprangert, welche seither leider noch zugenommen hat.

27 Neben den bereits weiter oben genannten Texten von BLACK empfehle ich als eine sehr klare Analyse der Black-schen Interaktionstheorie (auch im Hinblick auf deren wissenschaftstheoretischen Nutzen) HESSE 1965a.

anderen Stilmitteln auch durch die eine oder andere Metapher, (wie oben schon gezeigt) häufig auch durch Metaphern aus verschiedenen Sekundärfeldern y . Eindeutiger Bezugspunkt bei dieser Verwendung bleibt – im wissenschaftlichen Diskurs ebenso wie in den meisten umgangssprachlichen Verwendungen, vielleicht nicht so sehr im literarischen Kontext – das Primärfeld x . Metaphern sind (im Unterschied zu Analogien) asymmetrisch.²⁸

Wenn Joseph John THOMSON (1856–1940) nach der Jahrhundertwende vom *plum pudding model* des Atoms redete, dann war der Sinn dieser Metapher nicht etwa, neues über Früchtepuddings auszusagen, sondern anzudeuten, dass er sich die Verteilung negativer Ladungen im Atom so vorstellte, wie die von Früchten in einem kontinuierlichen Teig, also einer im gesamten Raum ausgeschmierten positiven Ladung. Dass für das gleiche Modell im deutschen die Variante „Rosinenkuchenmodell“ gebräuchlicher ist, zeigt übrigens auch, wie wenig es hier auf den Sekundärbereich dieser Metapher ankommt. Die in der Kosmologie der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts aufkommende Rede von einem „Seifenblasen-Universum“ will nur ein *simile* für großräumige Massenverteilungen bieten, und auch John Archibald WHEELERS Metapher von *quantum foams* (1955) ist ein unausgepacktes *simile*, mit dem Fluktuationen der Raum-Zeit-Struktur in sehr kleinen Dimensionen der unvorstellbar kleinen Größenordnung $\sim 10^{-35}$ m angedeutet werden sollen. Demgegenüber ist z. B. die Rede des Entomologen William Morton WHEELER (1865–1937) von der Ameisenkolonie als einem Organismus – obwohl scheinbar genauso weithergeholt und genauso überraschend – mehr als eine bloße Metapher, sondern eine verblüffend gut funktionierende, allerdings soziobiologisch sehr gefährlich mißbrauchbare Analogie.²⁹ Worin besteht nun also der genaue Unterschied zur Analogie?

Zur Abgrenzung von Metapher und Analogie

Wenn man sich der gängigen Deutung von Metaphern als einer vergleichsvermittelten Bedeutungsübertragung³⁰ oder auch der semantischen Transfertheorie der Metapher anschließt und im Kontrast dazu die traditionelle Deutung von Analogien als Ausdruck einer strukturellen oder funktionellen Ähnlichkeitsrelation³¹ vor Augen hat, scheinen Metaphern und Analogien in eben jener überraschenden In-Beziehung-Setzung zweier ganz verschiedener semantischer Felder einander sehr ähnlich zu sein. Auch die Wortherkunft von „Metapher“ scheint dies zu bestätigen, denn μεταφέρειν bedeutet im griechischen „hinübertragen“, „überführen“, „übertragen“ oder „verschieben“.³² In diesem Sinne wären also die Wellenmetaphorik der Akustik

28 In ihrem neuesten Aufsatz erwähnen GENTNER und COLHOUN 2009, S. 4, experimentelle Ergebnisse, denen zufolge in den ersten 600 Millisekunden „participants found forward and reversed metaphors equally comprehensible“, aber danach setzen doch stark asymmetrische Effekte ein, die beispielsweise die beiden Sätze: „my butcher is like a surgeon“ und „my surgeon is like a butcher“ sehr deutlich voneinander unterscheiden!

29 Siehe zu der verblüffenden Wirkung dieser Analogie WHEELERS, BONNER 1963, S. 275; zum Ausbau dieser Analogie dann u. a. die Arbeiten der Soziobiologen A. E. EMERSON, C. R. HASKINS und E. O. WILSON.

30 Diese Meinung vertritt HESSE 1965b unter Rückgriff auf die Aristotelische Theorie der Metapher.

31 In diesem Sinne beispielsweise der Beitrag über „Analogie“ in der Enzyklopädie Philosophie und Wissenschaftstheorie, Bd. 1, S. 98–99, sowie Oxford English Dictionary, 2. Aufl., Bd. 1, S. 432 (1989), dort insbesondere die Wortbedeutungen 3 – 4; auch die ursprüngliche griechische Bedeutung von *ἀναλογία* verweist auf die Übereinstimmung von Relationen bzw. Proportionen zwischen zwei Vergleichsobjekten (A:B wie C:D). (Ebenda, Bed. 1.) Zu diesem Wortursprung von Analogie als geometrischer Proportion in der griechischen Mathematik siehe detailliert SZABÓ 1969, S. 193–221, sowie IRMSCHER 1988.

32 Siehe z. B. KOPPE 1995 sowie GLOY in GLOY und BACHMANN 2000, S. 265.

oder die Strom- und Teilchenmetaphorik der Elektrodynamik nur Bedeutungsverschiebungen aus den anschaulichen Erfahrungsbereichen der klassischen Mechanik makroskopischer Körper in nicht mehr sichtbare Gegenstandsbereiche hinein. Gleichsam „aus Verlegenheit“ würden diese abstrakten Prozesse mit Bezeichnungen aus den besser vertrauten sichtbaren Erfahrungskontexten belegt, als „anschauliche *Katachresen* für unanschauliche Zusammenhänge“.³³

„Auf den zweiten Blick“ (auch dieses eine Metapher, von deren unsere Sprache geradezu „durchtränkt“ ist – dabei gleich noch eine Metapher „auf dem Fuße“ folgend) bestehen aber wichtige Unterschiede zwischen Metapher und Analogie, die es meines Erachtens rechtfertigen, ja sogar notwendig machen, eine kategoriale Unterscheidung beider vorzunehmen. Auch wenn es vielleicht Grenzfälle geben wird, die eine eindeutige Zuordnung schwermachen, sollte dies nicht darüber hinwegtäuschen, dass aufgrund der gleich zu erläuternden Merkmale im allgemeinen recht gut entscheidbar ist, ob ein sprachlicher Vergleich *nur* eine Metapher oder *schon* eine Analogie ist. Die in diesem Beiwörtern „nur“ und „schon“ angedeutete Abstufung ist, so behaupte ich, die einer Stufenfolge von einfachem, gewissermaßen harmlosen und nicht weiter belastbaren verkürzten *simile* über die Analogie als einem komplexen Vergleich mit mehrstufigen, belastbaren Ähnlichkeitsrelationen hin zu einem voll ausgebautem Modell als letzter und komplexester Stufe. Damit kommen wir zu folgender schematischer Abgrenzung (Abb. 1).

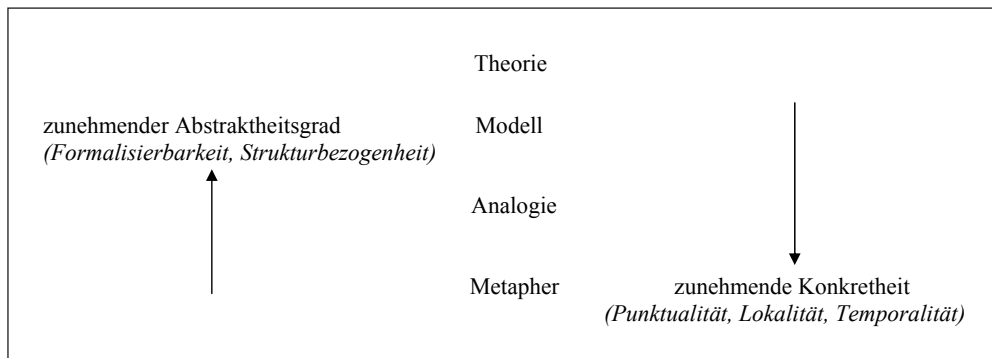


Abb. 1 Schematische Abgrenzung von Theorie, Modell, Analogie und Metapher in Hinsicht auf Abstraktionsgrad bzw. Objekteigenschaftsbezogenheit

Man beachte, dass die vertikale Richtung keine Relation der Inklusion darstellen sollen: zwar sind sowohl Analogien wie auch Metaphern Formen des Vergleichens, aber nicht alle Metaphern sind auch Analogien (oder umgekehrt) und nicht alle Analogien sind Modelle. Wir werden im Folgenden sehen, wie dieses einfache Schema neben dieser ersten Dimension von Abstraktheit bzw. Objekteigenschaftsbezogenheit noch durch etliche weitere Dimensionen angereichert werden kann, die diese Grundunterscheidung allesamt stützen. Umgangssprachliche und auch literarische Diskurse erreichen die Stufe eines „Modells“ meist gar nicht, weshalb in literaturwissenschaftlichem Kontext auch zumeist nur Analogien und Metaphern thematisiert und oft genug vermengt werden. Demgegenüber werden hier vorwiegend natur-

³³ Siehe in diesem Sinne HESSE 1966 sowie diese referierend KOPPE 1995, Zitat S. 869; vgl. hier in diesem Band die Beiträge von LUTZ KASPER und CHRISTOPH HUBIG.

wissenschaftliche Beispiele herangezogen, um die drei Stufen zu exemplifizieren und dabei auch systematisch klar voneinander abzugrenzen. Die zwischen Metapher, Analogie und Modell kategorial unterscheidenden Wesensmerkmale (im Sinne der Aristotelischen *differentia specifica*), welche ich nun nacheinander besprechen werde, sind solche der zeitlichen Reichweite, der Tiefe und der Richtung des Vergleichens.

Zeitliche Reichweite

Metaphern sind (im besten Falle) geistvolle, aber eher für den Augenblick, die spezifische Sprechsituation bzw. den jeweiligen Kontext des Textes konzipierte Stilmittel. „Metaphors profess their inconstancy“, schrieb Thomas HOBBS (1588–1679) in seinem *Leviathan*.³⁴ Metaphern kommen einem „begnadeten“ Redner „über die Lippen“ und bieten sich dem Schreiber gleichsam als „verzierende Schnörkel“ seines Textes an, ohne dass sie über diese momentgebundene Wirkung hinaus einen Langzeiteffekt haben oder haben sollen. Es sind feinsinnige *minutiae* des Denkens, Gedanken-„splitter“, „kalkulierte Absurditäten“.³⁵ Ihr korrekter Einsatz bedarf der ständigen Kontrolle, insbesondere zur Kompatibilität mit anderen Metaphern, wie sie kurz zuvor eingesetzt wurden oder kurz danach verwendet werden sollen. In dem unaufmerksamen „Mischen“ von Metaphern besteht eine der „Todsünden“ des Schreibens und Vortragens, die einem früher auf guten Schulen noch „ausgetrieben“ wurde, während in heutigen Gebrauchstexten eine veritable „Inflation“ von Metaphern zu konstatieren ist, die trotz ihrer häufigen Inkompatibilität miteinander keinen mehr so recht zu stören scheint, vielleicht auch deshalb, weil die Ubiquität von Metaphern deren Vorhandensein bzw. deren Verwendung kaum mehr bewusst macht.³⁶ Schon dieser unsystematische, erratische Einsatz von Metaphern in wissenschaftlichen Texten ebenso wie in der Umgangssprache, in der sie oft in breiten „metaphorischen Feldern“ auftreten,³⁷ statt gezielt und bewusst eingesetzt zu werden, zeigt ihren markanten Unterschied von Analogien, deren Einsatz zumindest in wissenschaftlichen Texten sehr viel überlegter und systematischer erfolgt.

Spontaneität versus Systematizität

Genau in diesem vereinzelnden, partikulär-bleibenden Einsatz besteht meines Erachtens das Wesen der Metapher und die Basis ihrer kategorialen Abgrenzbarkeit von Analogien und Modellen. Der in der Metapher steckende Vergleich, die In-Relation-Setzung zweier Themen, bleibt „parasitär“ zum laufenden Diskurs, mehr oder weniger zufällig bestimmt durch die Visualität und Sprachwelt, vielleicht auch das momentane sprachliche Umfeld und den sonstigen Hintergrund des jeweiligen Autors. Diese häufig eher unbewusste Steuerung in der Wahl

³⁴ In der von C. B. MACPHERSON 1968 bei Penguin herausgegebenen Ausgabe auf S. 110; deshalb zählte HOBBS Metaphern kategorisch unter die „abuses of speech“, ohne allerdings selbst auf sie zu verzichten!

³⁵ Diesen letzten, wie ich finde außerordentlich treffenden Ausdruck hat Christian STRUB 1991 geprägt, der im Anschluss an Hans BLUMENBERGS Metaphorologie den Versuch einer „historisch reflektierten sprachanalytischen Metaphorologie“ vorgelegt hat. Andere Deutungen geben Nelson GOODMAN (*moonlighting*), Donald DAVIDSON (*day dreaming*), BEARDSLEY (*a poem in miniature*), Sol WORTH (*caricature*), FAUCONNIER und TURNER 2008 (*blending*); zur Multidimensionalität von Metaphern RADMAN 1991 und die dort bzw. in WEINRICH 1983 zitiert weiterführenden Texte.

³⁶ In *submerged metaphors* sieht BERGGREN 1962/63, S. 456, die größte Gefahr für mißbräuchliche Verwendung.

³⁷ Ein interessantes Beispiel für die These „Metaphors do come in groups“ gibt GRUBER 1980 anhand von DARWINS Verwendung von Metaphern wie „contrivance, tangled bank, branching tree, war, wedging, selection“.

und Abfolge von Metaphern hat vielfach Anlass zu Versuchen psychoanalytischer Deutungen jener Textschicht gegeben, die allerdings in der Mehrzahl der Fälle wenig überzeugend bleiben, weil es stets viele mögliche Gründe für die Metaphernwahl gibt und oft auch mehrere Metaphern parallel zueinander benutzt werden.³⁸ Der amerikanische Kognitionslinguist George LAKOFF (*1941) hat freilich die Auffassung vertreten, dass die Wahl mancher Metaphern, speziell der sogenannten „konzeptionellen Metaphern“, sehr wohl auf ein dahinter stehendes Denkmodell schließen lasse: so zeige eine verstärkte Wahl militärischer Metaphern an, dass sich der Sprecher in einem mental-emotionalen „Kriegszustand“ befinde, während umgekehrt die bevorzugte Wahl von Familienmetaphern Harmoniebedürfnis signalisiere – beides Phänomene, die er an vielen interessanten Beispielen aus Politik und Alltagswelt nachgewiesen und untersucht hat.³⁹ Während sich für HOBBS, John LOCKE u. v. a. damit massive Kritik an den Metaphern als „loose figures of speech“ verband, bewerteten andere dieses nomadenhafte der Metaphern äußerst positiv und machen es z. T. sogar zu ihrem einzigen Wesensmerkmal,⁴⁰ weil dadurch Bedeutungen zwischen verschiedenen Kontexten „wandern“ können und Wissen sich durch metaphorischen Sprachgebrauch fortentwickelt. In diesem Band verfolgt insbesondere der Beitrag von Lutz KASPER diese Lakoffsche Perspektive auf „metaphorische Konzeptualisierungen“ physikalischer Wissensfeldern weiter.

Dennoch funktionieren Analogien – zumindest idealtypisch – anders als Metaphern, selbst wenn man konzeptuelle Metaphern mit LAKOFF und Mark JOHNSON oder Sabine MAASEN und Peter WEINGART als nicht-hinterfragbare, Denkform-bestimmende Elemente des Diskurses aufzuwerten bereit ist. Mit der Aufstellung einer Analogie verbinden sich zeitlich wie auch systematisch weiterreichende Behauptungen und Absichten. Ich bediene mich einer Analogie nicht nur zur Verdeutlichung oder Ausschmückung eines einzelnen „Punktes“ in meiner Argumentation und auch nicht im Sinne eines Trojanischen Pferdes wie etwa die verführerische Holismus-Metapher in präfaschistoiden Texten,⁴¹ sondern weil ich weitergehende Absichten damit verfolge, die meinen Argumentationsgang für längere Zeit (mit)bestimmen werden und in der jeweils vorgebrachten Analogie offen zum Ausdruck gebracht werden. Insofern reklamiere ich für Analogien größere zeitliche Reichweite, sowohl bezogen auf ihre Präsenz im jeweiligen Diskurs wie auch auf die Geltungsdauer dieser Analogie, die nicht nur für den Moment konzipiert wurde, sondern Anspruch auf längeres Bedachtwerden erhebt. An dieser Stelle ist es dann auch wichtig, darauf hinzuweisen, dass viele Analogien – in den Naturwissenschaften wie auch im Alltagsgebrauch und in der Literatur – keineswegs mit dem Anspruch auf absolute und unbedingte Geltung vorgetragen werden, sondern typischerweise in der Manier eines unverbindlichen Vorschlags: wie etwas auch sein *könnte*, womit sich X *vielleicht* auch vergleichen ließe, oder was Y *eventuell* auch ähneln könnte. Dieses konjunktivisch-hypothetische der Analogie ist wichtig, weil der darin angedeutete Freiraum des Denkens genau der ist, in dem neue Theorieentwürfe, neue Denkansätze und neue Formen des Sehens wissenschaftlicher Objekte als etwas ande-

38 Ein typisches Beispiel sind die umstrittenen Versuche der Deutung langer Wortlisten unklarer Funktion in LEONARDO DA VINCI'S *Codex Trivulzianus* durch STITES 1970 oder der bevorzugten Metaphern von SHAKESPEARE durch SPURGEON 1935. FISCHER 1970, S. 245, empfiehlt deshalb als Rezept gegen irreführende Verwendung von Metaphern ihre Bewusstmachung und ihren kontrollierten Einsatz.

39 Siehe für interessante Beispiele insbesondere aus der US-amerikanischen Politik LAKOFF und JOHNSON 1980, insbesondere S. 473f., zur Abgrenzung idiosynkratischer (unsystematischer) von konventionellen (systematischen) Metaphern.

40 So etwa die Wissenschaftssoziologen Sabine MAASEN und Peter WEINGART 2000, S. 3f., 20f.; vgl. auch S. 27.

41 Siehe dazu HARRINGTON 1995 und die dort genannte Primärliteratur.

res denn gemeinhin gesehen sich entfalten können, ohne gleich mit dem Verweis auf das „offensichtliche“ Anderssein der Wirklichkeit abgetötet zu werden. Darum waren (und sind noch immer) Analogien mit die wichtigsten Vehikel des Neuen in den Wissenschaften; heuristische Verfahren der Wissenserweiterung auf der Basis von Bekanntem. Wie diese Übertragung im Einzelnen funktioniert, wird im nächsten Abschnitt noch näher besprochen – zunächst noch weiter zum Unterschied von Analogien und Modellen im Hinblick auf ihre zeitliche Geltungsdauer.

Aus den gelungensten Analogien, die ihren Ursprung wissenspsychologisch betrachtet übrigens durchaus auch in spontanen Metaphern haben können, was von Kognitionspsychologen und Linguisten einmal näher zu untersuchen wäre, werden durch weitere „Vertiefung“ und „Andockung“ theoretischen Wissens in der obersten hier betrachteten Stufe der Wissensorganisation dann veritable Modelle,⁴² wie ich sie weiter unten an Beispielen von MAXWELL, HERTZ und BOHR diskutieren werde. Kennzeichen dieser Modelle ist u. a., dass sie als Modelle von der *scientific community* wahrgenommen und für längere Zeit diskutiert werden. Wie der „Fortschritt“ der Wissenschaften es will (auch dies eine aus dem zeremoniellen Hofwesen stammende Metapher,⁴³ allerdings eine von ungeheurer Wirkungsmächtigkeit), werden die allermeisten davon früher oder später wieder durch neue, andere Modelle abgelöst und „ad acta“ gelegt. Aber festzuhalten bleibt, dass historisch gesehen viele Modelle die Gemüter der Naturforscher für eine ganze Zeit beweg(t)en, womit schon rein faktisch ein höherer Geltungsanspruch und eine längere zeitliche Reichweite ihrer Wirkung belegt ist, ganz unabhängig davon, wie man wissenschaftstheoretisch zu ihrer normativen Geltungskraft stehen mag. Ich selbst bin dezidiert Anhänger einer naturalisierten Epistemologie, wonach es nicht Sinn und Zweck von Wissenschaftsgeschichte und Wissenschaftsforschung sein kann, selbst normative Aussagen über die Geltung oder Nichtgeltung solcher Modelle zu treffen, sondern nur retrospektiv-beschreibend die jeweilige historische Geltungskraft solcher Modelle zu erfassen und die Gründe dieser so unterschiedlich langen Wirkmächtigkeit zu verstehen. Wie sich im nächsten Abschnitt zeigen wird, hängen diese Gründe aufs engste zusammen mit der unterschiedlichen Tiefe und Relationsdichte dieser Modelle.

Tiefe

Wie die obigen Betrachtungen zur hohen Wahlfreiheit bei der Selektion von Metaphern sowohl in Gebrauchstexten wie auch in wissenschaftlichen Quellen gezeigt haben, sind Metaphern sprachliche Instrumente zur punktuellen Verdeutlichung, zur „Ausschmückung kleiner Flächen“, um schon wieder „in einem Bilde“ zu reden. Diese Metaphern fallen einem oft erst während des Schreibens bzw. während der freien Rede ein. Ihre Sequenz mag allenfalls einer assoziativen Logik geschuldet sein, die eben auch das Nachwirken einer Metapher auf die ein oder zwei nächstfolgenden erklären mag, wie sie des Öfteren in Texten nachweisbar ist (siehe oben die beiden mit geschweifter Klammer hervorgehobenen Beispiele). Abgesehen von dieser paarweisen Verkettung, die Metaphern den Markow-Ketten analog macht (hier eine Analogie, keine Metapher!) unterliegen die Abfolgen von Metaphern zumindest in naturwissenschaftlichen,

42 Zur historischen Genese dieses Konzepts siehe JAMMER 1965, MÜLLER 1983 sowie STACHOWIAK 1983.

43 Laut Oxford English Dictionary, 2. Aufl., Bd. 12 (1989), S. 592–593, bedeutete *progress* ursprünglich „a state journey made by a royal or noble personage, or by a church dignitary“. Aus diesen offiziellen, zeremoniellen Rundreisen abgeleitet wurde es dann im schon übertragenen Sinne synonym für das Reisen an sich benutzt und daraus wiederum durch metaphorische Erweiterung abgeleitet, erschließt sich auch das Fortschreiten im Sinne des Erreichens immer höherer Ziele: OED, Wortbedeutungen 1 – 2; 3 bzw. 4.

medizinischen und technischen Gebrauchstexten aber typischerweise keiner übergeordneten Gesetzmäßigkeit – ein(e) Autor(in) wird sich ganz verschiedener Metaphern aus ganz verschiedenen Bereichen bedienen, um das Argument zu stützen, ohne dass diese Bereiche miteinander etwas zu tun haben müssen. Die von Metaphern eines Textes aufgemachten Beziehungsräume haben keine miteinander vernetzte Struktur, sondern sie bleiben untereinander unverbunden, um nochmals ein vielleicht hilfreiches Bild zu konstruieren. Warum sind solche Metaphern trotzdem hilfreich? Eben weil sie eine zusätzliche Dimension eröffnen, ein Bild, ein Gleichnis, das, wenn es gut gewählt ist, genau das vor Augen führt, um das es an jener Stelle eigentlich geht. Über diese lokal begrenzte Wirkung hinaus haben Metaphern in naturwissenschaftlichen Texten – anders als in literarischen – normalerweise keine systematische, übergeordnete Funktion für das Ganze, auch wenn durch die Metaphorik eines Autors bei sorgfältiger Auswahl insgesamt sehr wohl eine gewisse Akzentuierung des Gesamteindrucks erfolgen kann. Sofern eine Metapher über ein längeres Textstück hinweg „ausgebaut“ wird, wird aus ihr eine Allegorie.⁴⁴ Eine launige Metapher, wie z. B. die Bezeichnung einer Person X als ein „Partylöwe“, gibt nicht viel her bezüglich der Übertragbarkeit der Attribute eines Löwen auf die Attribute von X: vielleicht soll es heißen, dass X ähnlich selbstsicher und dominant ist, vielleicht aber auch nur, dass X ähnlich faul ist und nur, wenn’s ums Fressen und andere körperlich vordringliche Angelegenheiten geht, in die Gänge kommt ... Wie auch immer: die Liste der sinnvoll übertragbaren Attribute wird recht klein bleiben und die systematische Reichweite dieses Vergleichs der Person X mit einem Löwen somit gering. Ganz anders liegt die Sache bei Analogien.

Die Strukturtransfer-Theorie der Analogie

So verschieden auch die Motive für die Einführung von Analogien sein mögen: sofern es sich bei ihnen überhaupt um Analogien handelt, steckt mehr dahinter als nur ein lokales, quasi-punktuell *simile*, wie es viele Metaphern kennzeichnet. Den tiefen strukturellen Unterschied zwischen Metapher und Analogie erfasste schon 1874 W. Stanley JEVONS: “analogy denotes a resemblance not between things, but between the relations of things.”⁴⁵ Auch der dänische Philosoph Harald HØFFDING (1843–1931) grenzte 1905 Analogien von Metaphern in gleicher Weise ab; zwar benutzen beide Ähnlichkeitsbetrachtungen (*likenesses*), aber bei Analogien sind dies Ähnlichkeiten zwischen Relationen, nicht zwischen vereinzelt Eigenschaften.⁴⁶ Mit jeder Analogie, die diesen Namen verdient, werden also weiterreichende Netze von Beziehungen zwischen zwei verschiedenen Gegenstandsbereichen oder -objekten behauptet, dem **Quell-** oder **Basisbereich B** und dem **Ziel-** oder **Targetbereich Z**⁴⁷: „B ist analog Z“ behauptet das Vorhandensein *etlicher* gleicher oder übertragbarer Eigenschaften von B und Z *und* ähnliche Beziehungen *zwischen* den Attributen von B und denen von Z.

44 Die klassische Belegstelle der Rhetorik dazu ist QUINTILIAN: Inst. orat. VIII, 6, 44, sowie HORAZ: Carm. I, 14; über größer angelegte Bildfelder und -reihen in französischen Novellen bzw. Predigten von John DONNE, analysiert bei ULLMANN 1960 bzw. SCHLEINER 1970, siehe WEINRICH 1983, Sp. 1186.

45 JEVONS 1920, S. 627; LEATHERDALE 1974, S. 4, führt den nicht sehr gebräuchlichen Unterschied zwischen *manifest analogies* im Sinne der Übertragung von Eigenschaften zwischen Objekten und *imported analogies* im Sinne von formalen Struktur analogien ein, der hier nicht übernommen wird.

46 HØFFDING 1905, S. 200: “Analogy is likeness of the relations of different objects, not likeness of single qualities.”

47 Siehe zu dieser Terminologie z. B. GENTNER 1983, darauf aufbauend HOLYOAK und THAGARD 1989. PERELMAN 1969, S. 4, bzw. 2000, S. 373, spricht hingegen von der Basis, die dem *secondary system* von BLACK und HESSE entspricht, als *phoros* und vom Zielbereich [dem *primary system* BLACKS entsprechend] als *thème*.

Mit anderen Worten: eine Analogie zwischen B und Z geht über den punktuellen Vergleich *einzelner* Attribute (wie sie für die Metapher typisch sind) weit hinaus und setzt typischerweise **ganze „Netze“ von Relationen** miteinander in Beziehung. B und Z ähneln einander nicht nur in *einer* Hinsicht, sondern in überraschend *vielen*. In wie vielen ist beim Aufkommen einer Analogie oft noch gar nicht von vornherein klar – die besten Analogien sind solche, bei denen sich durch weitere Verwendung und „Ausspinnen“ der Analogie immer weitere Parallelen zwischen Basis und Target ergeben. Und zwar, wie an historischen Beispielen im Folgenden noch zu exemplifizieren sein wird, auch in beide Richtungen.

Damit hängt auch die große **heuristische Stärke der Analogie** als Erkenntnisfindungs- und Erweiterungsinstrument zusammen. Wenn nämlich bezüglich des Basisbereichs das Wissen bereits fortgeschritten ist und vieles über die Binnenrelationen verschiedener Attribute von B bekannt ist, leistet die Analogie eine quasi-automatische Übertragung dieses gesamten Wissens über B auf den noch unbekanntem oder unzureichend erforschten Zielbereich Z, so z. B. von den optischen Komponenten eines Mikroskops auf die elektrischen Komponenten eines zum Mikroskop „analog“ konstruierten Elektronenmikroskops.⁴⁸ Selbstverständlich ist durch die Verwendung der Analogie noch keineswegs garantiert, dass diese Übertragung von B auf Z legitim ist, dass also Z tatsächlich auch genau die gleichen Binnenrelationen seiner Attribute aufweist, wie B dies tut, aber letzteres ist dann durch weitere Erforschung von Z abprüfbar und führt im besten Falle zur Bestätigung und zum weiteren Ausbau der Analogie, andernfalls früher oder später zur Modifikation oder zum Fallenlassen dieser Analogie, vielleicht zugunsten einer anderen, neuen Analogie.

Die Kognitionspsychologin Dedre GENTNER, Begründerin dieser Theorie von Analogien als geistiger Übertragung von Strukturen (*mental mapping*), der auch ich mich anschließen möchte, hat diese kognitive Theorie an etlichen praktischen Beispielen ausgeführt, welche sowohl der Wissenschaftsgeschichte wie auch dem Schulunterricht sowie der kognitionspsychologischen Forschung entstammen. Sie hat ferner auch gezeigt, wie Analogien sich systematisch analysieren lassen als Übertragung ganzer Bündel von Relationen R zwischen Objekten der Basis- und Zieldomäne. Während die meisten Attribute A der Objekte b_i der Basis bzw. t_i der Zieldomäne für die Analogie ignoriert werden müssen, behauptet jede Analogie GENTNER zufolge genau diese Erhaltung der Relationen beim Übergang von B zu Z: $R(b_i, b_j) \rightarrow R(t_i, t_j)$. Daraus folgt dann auch konsequent ihre Definition der Analogie im Unterschied zu einer vollständigen Ähnlichkeitsbehauptung, bei der gerade auch diese Attribute von B auf Z übertragbar sind: “An analogy is a comparison in which relational predicates, but few or no object attributes, can be mapped from base to target.”⁴⁹

Systematizität von Analogien und ihr Zusammenhang mit Schemata

Eine weitere, ebenfalls einleuchtende These von GENTNER ist die, dass es unter all den vielen vorhandenen Relationsaussagen typischerweise die höher abstrahierten und stark mit anderen Komponenten vernetzten Relationstypen sind, die in Analogien von B auf Z übertragbar

48 Zu diesem faszinierenden Beispiel siehe SARLEMIJN 1987, S. 41, 44, dort als „Anamorphie“ bezeichnet. Weitere heuristische Vorteile von Analogien bei NAGEL 1961, S. 110, WELLER 1970, S. 115; HOLYOAK 1985.

49 GENTNER 1983, S. 159. Die starke Formalisierung erklärt sich im Hinblick auf die von ihr angestrebte Umsetzbarkeit dieses Formalismus für eine maschinelle Spracherkennung und Argumentrekonstruktion. Diese sprachlogisch-formale Seite der Analogienrekonstruktionen wird hier im Folgenden nicht weiter berücksichtigt.

sind, eine These, die sich als **Systematizität der Analogie** zusammenfassen lässt.⁵⁰ So wird beispielsweise bei der Analogie zwischen Planetensystem und Atombau u. a. die Relation übernommen, dass die Sonne (bzw. der Kern) wesentlich massiver als die umlaufenden Planeten (bzw. Elektronen) ist, während die im Basissystem ebenso gültige Relation, dass die Sonne sehr viel heißer ist als die Planeten ignoriert werden muss, um die Analogie nicht misszuverstehen. Ersteres ist aber für das Verständnis der Analogie sehr viel wichtiger, da es genau die Masse ist, die auch für die Berechnung der Gravitationskraft zwischen Sonne und Planet relevant ist, während die Temperatur der Sonne und andere ihrer Attribute, dafür irrelevant sind. Die Massenrelation hat Systematizität im Gesamtgefüge der Analogie, während die Temperaturrelation dies nicht hat, sondern eine Einzelbehauptung ohne Querbezüge bleibt.

Unter welchen Bedingungen werden Analogien überhaupt erkannt und konstruktiv eingesetzt? In einem hochinteressanten Experiment haben Mary L. GICK und Keith J. HOLYOAK 1983 mehreren Gruppen gleichaltriger, jugendlicher Testpersonen verschiedene hilfreiche Vorinformationen in Form von Geschichten gegeben und untersucht, wie viele von ihnen dann jeweils unter Nutzung dieser Vorinformationen eine dazu analoge Lösung des Problems (das berühmte Dunckersche Strahlungsproblem) zu finden in der Lage waren.⁵¹ Diejenigen, die als Vergleichsgruppe ganz ohne jegliche Vorinformationen in den Test geschickt wurden, hatten nur zu rund 10 % von sich aus eine richtige Lösung anzubieten; diejenigen, die zuvor nur eine dazu analoge Geschichte erzählt bekommen hatten, waren auch nur zu 30 % in der Lage, die Dunckersche Konvergenzlösung zu finden, während sich diese Quote auf 75 % erhöhte, wenn ihnen der Wink gegeben wurde, die vorher gehörte Geschichte bei ihrer Lösungssuche zu berücksichtigen, was schon zeigt, wie schwer es ist, spontan zu einer analogischen Lösungsstrategie zu kommen. Aber noch verblüffender ist, dass sich diese Quote auch durch Hinzufügung einer zusammenfassenden Lösungsstrategie am Ende der präsentierten Geschichte oder durch Hinzufügung eines zusammenfassenden Diagramms nicht wesentlich verbesserte. Hingegen stieg diese Quote beträchtlich, wenn man den Versuchspersonen nacheinander nicht nur eine, sondern zwei, zueinander und zur gesuchten Lösung analoge Geschichten erzählte, und zwar auf 39 % im Falle zweier sehr ähnlicher Geschichten und sogar auf 52 % im Falle zweier semantisch sehr unähnlicher, aber strukturell analoger Geschichten. Diesen Befund interpretierten GICK und HOLYOAK dahingehend, dass sie annehmen, durch die Hintereinanderschaltung von zwei oder mehreren strukturell gleichartigen Geschichten würde aus diesen von den Versuchspersonen ein sogenanntes **Schema** gebildet, eine auf abstrakterer Ebene liegende Lösungsstrategie, die sie dann auch auf das dargebotene Problem zu übertragen fähig sind. Diese Interpretation wird noch dadurch gestützt, dass diejenigen Versuchspersonen, die ein solches allgemeines Lösungsschema zu benennen in der Lage waren, mit sehr hoher Sicherheit (zu 91 %) diese Analogie dann auch erfolgreich auf das spezielle Problem anwandten. Kognitionspsychologisch ließe sich aus diesem Experiment schließen, dass zumindest der wiederholte Gebrauch von ähnlichen Analogien besonders bei trainierten Problemlösern wie sie auch erfahrene Naturwissenschaftler und Techniker darstellen, auf tiefliegende Schemata

50 GENTNER 1983, S. 162ff., sowie ergänzend zur entwicklungspsychologischen Herausbildung der Erkenntnis solcher Systematizität zwischen dem Alter von 5 und 10 Jahren GENTNER und TOUPIN 1986.

51 Für Details dieses Experiments und seiner Auswertung siehe GICK und HOLYOAK 1980, 1983, insbesondere S. 35–37, zu den vier verschiedenen, den Versuchspersonen vorgegebenen und zur gewünschten Lösung analogen Geschichten (über Militärinterventionen und Feuerlöschen von verschiedenen Seiten); das allgemeine Schema lautet in diesem Fall: "use many small forces applied together to add up to one large force necessary to destroy the object."

schließen lässt, die diese Problemlöser durch langes Lernen und Erfahrung verinnerlicht haben. Neben diesem *reasoning from schemata* bleibt aber immer auch der direktere Schluss von einer Basis- auf eine Zieldomäne ohne den „Umweg“ über ein tieferliegendes Schema möglich. Bei der Ermittlung solcher Schemata, die naturwissenschaftlichen und technischen Schlüssen zugrunde liegen, steht die Wissenschaftsgeschichte und -psychologie noch ganz am Anfang.

Von Keith J. HOLYOAK und Paul THAGARD wurde darauf hingewiesen, dass bei Analogiebildungen in der Praxis neben diesem strukturellen Merkmal der Relationsübertragung auch **semantische und pragmatische Randbedingungen** mit am wirken sind.⁵² Das Kriterium semantischer Ähnlichkeit sorgt dafür, dass die Analogiebildung vorwiegend zwischen Bereichen stattfindet, zwischen denen ein zumindest partieller semantischer Überlapp in Bezug auf einzelne Prädikate der Basis- und Zielbereiche besteht, während das Kriterium der pragmatischen Zentralität unter all den vielen sich jeweils für eine Analogiebildung anbietenden Basisbereichen just den aussucht, der mit den übergreifenden Absichten und Erkenntnisinteressen desjenigen zusammenpasst, der oder die diese Analogie durchführt. Zusammenfassend können wir festhalten, dass Analogien (unserer Auffassung nach im Unterschied zu Metaphern) genau die von der oben geschilderten Interaktionstheorie der Metapher geforderte Wechselseitigkeit der Bezüge von Primär- und Sekundärbereich (entsprechend dem Ziel- und Basisbereich in der Definition von GENTNER) aufweisen. Auch wissenschaftshistorisch gesehen waren die besten Analogien genau diejenigen, die durch *wechselseitige* Abbildbarkeit von Relationsnetzen aufeinander das Wissen über B und Z vertieft haben.⁵³

Verschiedene Typen von Analogien

Die bislang vorliegende wissenschaftstheoretische Literatur zu Analogien, die allerdings in ihrem Gesamtumfang bei weitem nicht der immensen Bedeutung dieser Forschungsstrategie für die Wissenschaften gerecht wird, sondern noch stark ausgebaut zu werden verdient,⁵⁴ unterscheidet Analogien noch weiter: u. a., je nachdem, wie die Bereiche B und Z zueinander stehen bzw. je nach Ziel und Zweck ihres Einsatzes:

- (1.) horizontale *versus* vertikale Analogien;
- (2.) kurzreichweitige (naheliegende) *versus* langreichweitige (ferne, weithergeholte) Analogien;
- (3.) substantive (materielle oder physische) *versus* formale (mathematische oder strukturelle) Analogien;
- (4.) attributive Analogien (*analogia attributionalis*) *versus* funktionelle Analogien;
- (5.) visuelle *versus* verbal repräsentierte Analogien;
- (6.) tiefe (ergiebige bzw. starke) *versus* flache (platte bzw. schwache) Analogien;

52 Zum Folgenden siehe HOLYOAK und THAGARD 1989 sowie KEANE et al. 1994 zu *constraints* in AI-Programmen zur Erfassung von Analogien. Eine Einschränkung des *mapping*-Modells der Analogie für mathematische Anwendungen in objektreichen, aber relationsarmen Domänen zeigt SCHLIMM 2008 auf, aber seine axiomatische Charakterisierung von Analogien findet umgekehrt für unsere historischen Beispiele keinerlei Anwendbarkeit.

53 Siehe NERSESSIAN 1988 sowie meine eigenen Beispiele im Folgenden, insbesondere zu MAXWELL und HERTZ, beides Meister in diesem Hin- und Her zwischen verschiedenen Ebenen der Analogiebildung und Modellierung.

54 Für neuere Ansätze einer wissenschaftstheoretischen Analyse von Analogien siehe z. B. HOLYOAK und THAGARD 1995, DARDEN und RADA 1988 und die in den folgenden Fußnoten erwähnten früheren Autoren und Texte.

- (7.) positive *versus* negative Analogien (KEYNES);
- (8.) heuristische *versus* rechtfertigende Analogien;
- (9.) illustrative *versus* komparative Analogien.

ad (1.) Die erste dieser Unterscheidungen grenzt den üblichen Fall derjenigen Analogien, in denen Basis- und Zielbereich verschieden voneinander sind, von dem eher ungewöhnlichen, aber in den Naturwissenschaften durchaus vorkommenden Fall ab, dass *innerhalb* eines Gegenstandsgebiets eine Analogie zwischen verschiedenen Ebenen z. B. der Auflösung oder der Theoretizität erfolgt. Ersteres ist z. B. der Fall, wenn Charles DARWIN (1809–1882) in seiner Theorie der Evolution eine Analogie zwischen biologischen Populationsstatistiken und der kameralistisch-volkswirtschaftlichen Bevölkerungsstatistik eines Adam SMITH (1723–1790) konstruierte, eine für damalige Verhältnisse äußerst gewagte, überhaupt nicht naheliegende Analogie zwischen zwei nebeneinanderstehenden Wissensgebieten.⁵⁵ Eine im Unterschied dazu **vertikale** Analogie lag beispielsweise vor, als man sich in den 1930er Jahren dazu entschloss, sich den Atomkern aus noch kleineren Teilchen, den Neutronen und Protonen, zusammengesetzt vorzustellen, analog zu der früher schon akzeptierten Zusammensetzung des Atoms aus Hülle (Elektronen) und Kern und analog auch zu der noch viel älteren Idee einer Zusammensetzung der Materie insgesamt aus sehr viel kleineren Atomen. Auch der japanische Physiker Hideki YUKAWA (1907–1981), der in den 1930er Jahren annahm, dass die Kernkraft durch ein Austauschteilchen analog zum Austauschteilchen des Photons für die elektromagnetische Kraft vermittelt wird, ließ sich dabei von einer formalen Analogie zwischen zwei Teilgebieten der Physik leiten, von dem eines auf sehr kleine Raumzeitbereiche nahe den Atomkernen beschränkt war. Diese Beschränkung der Reichweite der Kernkraft, die mit größer werdenden Abständen viel stärker als die elektromagnetische Kraft abfällt, zwang YUKAWA dann auch dazu, die Masse dieses Austauschteilchens im Unterschied zum Photon des Elektromagnetismus nicht verschwinden zu lassen, sondern ihm einen endlichen Wert zu geben, der mit der experimentell bestimmbaren Reichweite in einem reziproken Verhältnis stand.⁵⁶

ad (2.) Im Sinne der zweiten Unterscheidung wäre etwa DARWINS ausdrückliche Anleihe bei SMITH zugleich auch ein Beispiel für eine **langreichweitige Analogie**, weil die beiden Gebiete, denen die Basis bzw. die Targetdomäne entstammen, sehr „weit“ voneinander entfernt liegen. Freilich bleibt der Ausdruck „weit“ hier metaphorisch, da der Raum der von den verschiedenen Disziplinen aufgespannt wird, keine Metrik aufweist,⁵⁷ aber es ist trotz der Restunschärfe dieser Begrifflichkeit doch klar, was gemeint ist: die In-Bezug-Setzung zweier weit ab voneinander anzusiedelnder Wissensfelder (in der Sprache der Kritiker – übrigens auch der von DARWIN – dann oft als „weithergeholt“ verunglimpft). Beispiele dazu gleich.

Eine Analogie ist demgegenüber **kurzreichweitig oder „naheliegend“**, wenn die beiden durch die Analogie miteinander in Beziehung gesetzten Wissensfelder „nahe“ beieinander

55 Zur Ideengeschichte siehe etwa YOUNG 1969, zur weiteren Karriere der analogischen Übertragung eines „Kampfes um die Existenz“ als bloßer Metapher vgl. auch MAASEN und WEINGART 2000, Kap. 3 und dortige Referenzen. DARWIN hat diesbezüglich in seinen *Origin of Species* (Penguin-Ausgabe 1962, S. 216) übrigens (in unserem Sinn terminologisch ungenau) von *metaphorical expressions* gesprochen und diese damit gerechtfertigt, dass sie für die Kürze der Kommunikation unverzichtbar seien (“they are almost necessary for brevity”).

56 Für eine hochinteressante introspektive Beschreibung dieses schwierigen Prozesses der Anpassung seiner Analogie an die experimentellen Befunde siehe YUKAWA 1985, S. 174f.

57 Interessante Überlegungen zu diesem Problem finden sich in BUCHANAN 1932.

liegen, z. B. verschiedene Teilgebiete der Physik betreffen, weshalb die Analogie dann oft auch als „naheliegend“ bezeichnet wird. Als ein gutes Beispiel dafür führe ich die Analogie an, welche James BRADLEY (1693–1762) zwischen der von ihm astronomisch beobachteten Aberration des Fixsternlichts und dem scheinbar schrägen Fallen z. B. von Regentropfen von einem schnell bewegten Fahrzeug aus gesehen konstruierte.⁵⁸ Aus der Perspektive der Newtonianischen Teilchentheorie des Lichts war dies eine „naheliegende“ Analogie, während sich für uns heute der „Abstand“ der beiden Bezugsebenen voneinander eher vergrößert hat. In die gleiche Kategorie des Kurzreichweitigen fällt z. B. die Analogie, die Matthias POUILLET (1790–1868) vollzog, als er 1879 die Eigenschaften des wohlbekannten ballistischen Pendels, bei dem die Geschwindigkeit eines Projektils durch den Ausschlag eines trägen Pendels bestimmt wird, auf dessen Pendelfläche es aufprallt, mit denen des von ihm neu konstruierten galvanometrischen Pendels verglich, bei dem kurzzeitig wirkende sehr große Stromstöße durch einen „analogen“ Ausschlag der Galvanometernadel gemessen wurden.⁵⁹ Bezugsdisziplin für Basis- und Zielbereich der Analogie blieb in beiden Fällen die Physik, allerdings verschiedene Teilgebiete, nämlich die altbewährte Mechanik einerseits und die Optik bzw. Elektrodynamik andererseits. MACHS Analogie zwischen der Verdichtungswelle eines Projektils in der Luft und Bugwellen eines Schiffes bzw. Stauwellen vor Brückenpfeilern verbindet Aero- und Hydrodynamik, und die Analogie zwischen Schall und Licht verbindet die Akustik mit der Optik.⁶⁰

Eine **Analogie mittlerer Reichweite** liegt vor, wenn keiner dieser beiden Extremfälle vorliegt, sondern Übertragungen zwischen eng benachbarten, aber verschiedenen Gebieten der Naturwissenschaft stattfinden, so etwa im Falle von Jacobus Henricus VAN'T HOFF (1852–1911), der 1884 die Analogie zwischen mechanischem Gleichgewicht und chemischem Gleichgewicht erkannte, woraus sich schließlich eine neue „physikalische Chemie“ ergab.⁶¹ Ein weiteres, von Elektrotechnikern bis heute sehr geschätztes Beispiel ist die Analogie zwischen elektrischen und mechanischen Schwingungsvorgängen, die sowohl auf der Ebene der Elemente schwingender Systeme wie auch auf der Ebene der beschreibenden Differentialgleichungen funktioniert, was u. a. dazu führt, das für jedes mechanische Schwingungsproblem ein elektrisches Ersatzschaltbild angegeben werden kann: den schwingenden Massen entsprechend dabei die elektrischen Kapazitäten, der Federnachgiebigkeit die Induktivität, und der Dämpfernachgiebigkeit der elektrische Widerstand; mechanische Geschwindigkeitsdifferenzen entsprechend elektrische Potentialdifferenzen (jeweils zwischen den Enden des schwingenden Elements), und der im mechanischen Element wirkenden Kraft entspricht der durch das elektrische Element fließende Strom.⁶²

Von diesen drei Analogie-Typen haben die fernreichweitigen die größte Beachtung gefunden, da in ihnen die ungeahntesten Querverbindungen zwischen Wissensgebieten aufgezeigt werden, die normalerweise nicht miteinander in Verbindung gebracht werden. In einem Auf-

58 Siehe dazu BRADLEY 1725/27; hinter dieser hübschen Analogie stand das Newtonische Teilchenbild des Lichts.

59 Siehe dazu POUILLET 1839. Dieses Instrument war wichtig als Vorbild für andere graphisch registrierende Messinstrumente, wie sie dann ab 1840 von Carl LUDWIG in Leipzig u. a. gebaut wurden.

60 Siehe HOFFMANN und BERZ 2001, S. 44, 95, 259ff., mit Auszügen aus MACHS Tagebüchern von 1887 bzw. DARRIGOL 2010 und dort jeweils genannte weiterführende Literatur.

61 Siehe VAN'T HOFF 1884 sowie u. a. zeitgenössische Arbeiten von Svante ARRHENIUS, Pierre DUHEM und Wilhelm OSTWALD.

62 Ausführliche und sehr klare Darstellungen dieser Analogie bei KLOTTER 1950, SARLEMIJN und KROES 1988, S. 250f.

satz *Über die Methoden der theoretischen Physik* schrieb einer der Vordenker dieser damals noch jungen Subdisziplin der Physik, Ludwig BOLTZMANN (1844–1906), über die gerade von ungeahnt „weitreichenden“ Analogien ausgehende Faszination:⁶³

„Die überraschendsten und weitgehendsten Analogien zeigten sich zwischen scheinbar ganz disparaten Naturvorgängen. Die Natur schien gewissermassen die verschiedensten Dinge genau nach demselben Plane gebaut zu haben, oder, wie der Analytiker trocken sagt, dieselben Differentialgleichungen gelten für die verschiedensten Phänomene. So geschieht die Wärmeleitung, die Diffusion und die Verbreitung der Elektrizität in Leitern nach denselben Gesetzen. Dieselben Gleichungen können als Auflösung eines Problems der Hydrodynamik und der Potentialtheorie betrachtet werden. Die Theorie der Flüssigkeitswirbel sowie die der Gasreibung zeigt die überraschendste Analogie mit der des Elektromagnetismus etc.“

Ein anderes gutes Beispiel für eine heuristisch fruchtbare fernreichweitige Analogie wäre etwa die Migration der Normalverteilungskurve, entwickelt zwischen 1774 und 1812 von Pierre Simon DE LAPLACE (1749–1827), Carl Friedrich GAUSS (1777–1855) und Wilhelm BESSEL (1784–1846) im Kontext der Analyse von statistischen Fehlern bei astronomischen und geophysikalischen Messungen, in die Bevölkerungsstatistik ab 1835 durch den belgischen Astronom und Statistiker Adolphe QUETELET (1796–1874) und ab 1869 in die Anthropologie durch Francis GALTON (1822–1911).⁶⁴ Wie schwer gerade die Auffindung guter fernreichweitiger Analogien ist, wird uns – für die viele dieser Analogien selbstverständlich geworden sind – oft nicht bewusst. Es kommt aber sehr gut zum Ausdruck in folgendem Zitat des US-amerikanischen Psychologen und Vorkämpfers des Pragmatismus William JAMES (1842–1910):

“Why cannot anyone reason as well as anyone else? Why does it need a Newton to notice the law of squares, a Darwin to notice the survival of the fittest? The flash of insight between an apple and the moon, between the rivalry for food in nature and the rivalry for man’s selection, was too recondite for any but exceptional minds. Genius, then, [...] is identical with the possession of similar associations to an extreme degree.”⁶⁵

JAMES koppelt den Begriff des Genies also ganz eng an den Gebrauch von Analogien. Heute etwas aus der Mode gekommen, wird statt des Genie-Begriffs in neueren Texten statt dessen lieber von Kreativität oder anderen positiv besetzten Termini verwandter Bedeutung gesprochen, aber geblieben ist die Grundidee, jene seltene Gabe des Herstellens fruchtbarer Querbeziehungen mit dem souveränen Einsatz von Analogien zu verknüpfen. Nur konsequent, dass einige dieser Autoren ihre Klientel dann speziell in diesem Erzeugen von Analogien trainieren,⁶⁶ um deren „Kreativitätspotential“ zu erhöhen, was freilich nur die eine Hälfte

63 Ludwig BOLTZMANN in DYCK 1892, S. 89–98, Zitat S. 95; BOLTZMANN verwies dabei übrigens auch auf MAXWELL 1890, Bd. 1, S. 156; für das verwandte Beispiel der Laplace-Gleichung, mit der Gravitation, Elektrostatik, Elastizität und der Fluss von Fluida beschrieben werden kann, siehe LEATHERDALE 1974, S. 28.

64 Siehe dazu DASTON 2008 und die dort genannten Primärtexte, ferner VAN BENDEGEM 2000.

65 Siehe JAMES 1890, Bd. II, S. 343 und 360.

66 Für Beispiele siehe etwa HALPERN 1996, S. 374ff., *analogical thinking* und dort genannte weitere Autoren wie etwa W. J. J. GORDON, der seinen Kunden riet, bewusst Analogien herbeizuführen zu “strange new contexts in which to view a familiar problem”, um aus dieser Verfremdung neue Impulse zu gewinnen. Vgl. neben dieser

des Problems löst, da als zweiter Schritt eine ebenso souveräne kritische Bewertung der unzähligen Möglichkeiten zur Herstellung von Analogien folgen muss, um aus dem Heuhafen von Stroh die wertvolle Nadel herauszufischen. Meines Erachtens bestand die „Genialität“ (wenn man denn an diesem Terminus festhalten will) von Robert HOOKE, Johannes KEPLER, Ernst MACH, James Clerk MAXWELL oder Henri POINCARÉ – alles bekennende Anhänger der analogischen Methode – nicht so sehr im Produzieren einer besonders großen Zahl analogischer Verknüpfungen, sondern eher darin, aus diesem großen Fundus von Möglichkeiten besonders effizient und zuverlässig diejenigen Optionen herauszufischen, die wissenschaftlich erfolversprechend weiterzuverfolgen sind.⁶⁷ Im Falle von Antoine LAVOISIER (1743–1794), der die Fernanalogie des Verbrennungsvorgangs von Kohle mit dem Prozess der Atmung erkannte (in beiden Fällen wird dasjenige Gas, das der Sauerstoff nannte, verbraucht und Kohlendioxid erzeugt),⁶⁸ blieb der Ausbau dieser fruchtbaren Analogie zu einem geschlossenen System der antiphlogistischen Chemie letztlich den Anhängern dieses während der französischen Revolution guillotinierten Naturforschers vorbehalten. In unzähligen anderen Fällen sind diese äußerst riskanten fernreichweitigen Analogien jedoch gescheitert, so etwa auch der ambitionöse Versuch des Innsbrucker Physikers Leopold PFAUNDLER (1839–1920), in Analogie zum bereits sozialdarwinistisch verkürzten „Kampf ums Dasein“ zwischen den Lebewesen auch in der Chemie eine solche „Concurrenz der Moleküle“ einzuführen: „im Kampf ums Dasein neigt sich der Sieg zu Gunsten der einfacheren Moleküle“; die „schwächeren“ Moleküle zerfallen, die „stärkeren“ überleben.⁶⁹

Von Kognitionspsychologinnen wie etwa Diane HALPERN wurde untersucht, ob sich Fern- oder Nahanalogien besser dem Gedächtnis einprägen und welche von beiden besser als Lernhilfe im Unterricht eingesetzt werden kann. Sie konnte durch Reihenuntersuchungen mit Kontrollgruppen nachweisen, dass Fernanalogien (im Jargon der Kognitionspsychologen auch *distant domain analogies* genannt) statistisch signifikant besser geeignet sind, das Verständnis schwieriger Sachverhalte zu fördern und sich diese besser merken zu können. Ihre Erklärung für diesen überraschenden Befund läuft darauf hinaus, dass Nahanalogien (*near domain analogies*) neben der strukturellen Ähnlichkeit von Basis und Zielbereich auch noch oberflächliche äußere Ähnlichkeiten aufweisen, die die Probanden von dem strukturell wesentlichen Kern ablenken.⁷⁰ Mit steigender *between domain distance* verschwindet diese Gefahr. “When the similarity relationship is more obscure, as in a distant domain analogy, subjects are required to seek underlying relationships in order to render it meaningful.”⁷¹

sogenannten Synektik ferner die Technik des *brainstorming* von A. F. OSBORN, Fritz ZWICKYS morphologische Analyse und G. S. ALTSCHULLERS TRIZ-Methode. Frau Katheryna SEREBRYAKOVA ist derzeit dabei, unter meiner Betreuung eine Promotion zur Geschichte dieser heuristischen Problemlösungsmethoden zu erarbeiten.

67 Über den Entdeckungsprozess und die darin beobachtbaren plötzlichen Gestaltwechsel siehe HANSON 1958; zu MAXWELL siehe unten; spezifisch zu POINCARÉ siehe Michel PATY in DURAND-RICHARD 2008.

68 Über diese Analogie siehe z. B. DOROLLE 1949, S. 99–102; vgl. jedoch auch SNELDERS 1994, S. 69f., für das Beispiel der Salz- und Blausäure, bei dem LAVOISIER durch Analogieschlüsse zur Schwefelsäure zu der irrigen Annahme geführt wurde, dass alle Säuren Sauerstoff enthalten müssten.

69 Näheres dazu berichtet SNELDERS 1994, S. 67f., dort auch Hinweise auf die Primärliteratur dazu.

70 Dass diese äußerlichen Ähnlichkeiten von jüngeren Kindern stärker bzw. bis zum Alter von etwa 5 Jahren fast ausschließlich beachtet werden, haben GENTNER und TOUPIN 1986 sowie VOSNIADOU und ORTONY 1983 nachgewiesen.

71 Siehe HALPERN et al. 1990, Zitat S. 303; als Nahanalogie diente z. B. der Vergleich des lymphatischen Systems mit dem Blutkreislauf, als Fernanalogie der der Lymphen mit einem Schwamm; vgl. weitere Beispiele ebenda, S. 300.

Andererseits zeigt sich auch eine Altersabhängigkeit in der Wahrnehmungsfähigkeit für diese struktureller angelegten Fernanalogien; von jungen Probanden im Alter bis zu etwa 9 Jahren werden sie kaum verstanden, während sich einfachere Analogien mit größerer Ähnlichkeit der Gegenstandsbereiche in Ansätzen schon ab dem Alter von 3 oder 5 Jahren zeigen.⁷² Noch rigidere Aussagen wagt Graeme S. HALFORD in seinem “structure-mapping approach to cognitive development”. Seiner Auffassung nach gibt es vier kognitiv klar voneinander getrennte Entwicklungsphasen des menschlichen Intellekts. Auf der Stufe 1, die Kinder typischerweise im Alter von einem Jahr erreichen, können sie einzelnen Objekten Namen zuordnen und verbinden mit diesen Namen auch innere Vorstellungsbilder; bis zum Alter von 5 Jahren erreichen sie in Stufe 2 die Fähigkeit, relationale Verhältnisse zu erkennen und zu benennen; erst danach kommt in Stufe 3 die Fähigkeit hinzu, einfache Systemrelationen zu erkennen und miteinander vergleichen zu können und *multiple-system mappings*, wie sie für komplexere Analogien benötigt werden, werden erst in Stufe 4 mit etwa 11 Jahren möglich.⁷³

ad (3.) Die traditionelle Wissenschaftstheorie unterscheidet zwischen **substantiven** (*synonom* damit auch materiellen oder physischen) und **formalen** (mathematischen oder strukturellen) Analogien.⁷⁴ So sind z. B. Schallwellen und Ultraschallwellen einander physisch analog, insofern beides Druckwellen sind, die sich nur bei Vorhandensein eines übertragenden physischen Mediums ausbreiten können und deren Geschwindigkeit sich in ganz analoger Weise aus den physikalischen Charakteristiken dieser Medien wie z. B. ihrer Dichte und Elastizität berechnen lassen. Schallwellen und Lichtwellen hingegen, die lange ebenfalls für einander physisch analog gehalten wurden, sind dies nicht, wohl aber formal analog, da beide Formen von Wellenausbreitung mathematisch mit ein und derselben Wellengleichung beschrieben werden können, auch wenn die zugrundeliegenden physikalischen Prozesse (longitudinale Druckwelle bzw. transversale elektromagnetische Welle) völlig verschieden sind. In gleicher Weise wurde auch die Ausbreitung von Flüssigkeiten, von Elektrizität und von Wärme im verallgemeinerten Fluidumsmodell des ausgehenden 18. Jahrhunderts für physisch analog gehalten,⁷⁵ während sich nach dem Zusammenbrechen dieses Standardmodells der Materie im 19. Jahrhundert eine formale mathematische Analogie der entsprechenden Phänomene gehalten hat, die von POISSON, RIEMANN u. a. sogar noch weiter ausgebaut wurde, obwohl die zugrundeliegende Modellvorstellung längst obsolet geworden war. Mit der Rede von materiellen Analogien werden häufig auch physische, anfassbare Modelle bezeichnet, so etwa wenn Eric FRANCOEUR 1997 von *material analogy* redet und damit *Ball-and-stick*-Modelle von Molekülen meint, deren Vorzüge er anpreist:

72 Die Altersangaben schwanken und scheinen auch stark von den jeweils zugrundegelegten Analogietypen und -beispielen abzuhängen; vgl. etwa HOLYOAK et al. 1984, S. 2042f., HALPERN 1987, HALPERN et al. 1990.

73 Siehe HALFORD 1987, insbesondere S. 621 sowie S. 616, für eine graphische Kontrastierung der 4 Typen von *mapping*. Ergänzend dazu auch WINNER et al. 1976 zur entwicklungspsychologischen Entfaltung des Verständnisses und aktiven Gebrauchs von Metaphern, die bis zum Alter von 10 Jahren häufig wörtlich, also mißverstanden werden.

74 Siehe z. B. NAGEL 1961, S. 110, sowie erläuternd dazu auch ACHINSTEIN 1964, S. 329f., 338ff., und KROES 1989, S. 147–153. Hélène METZGER hingegen unterschied 1926 zwischen virtuellen, formalen und den Wirkungsmechanismus betreffenden Analogien (*analogies agissantes*), eine Unterscheidung, die soweit ich sehe, von niemandem übernommen wurde und deshalb hier nicht weiter thematisiert wird. Zur optisch-mechanischen Analogie siehe DARRIGOL 2010.

75 Zu diesem Standardmodell des 18. Jahrhunderts siehe HEILBRON 1993 und dort angeführte Primärliteratur.

“models embody, rather than imply, the spatial relationship of the molecule’s components. As a result, the observer is freed from the constraints of perspective: free to embrace, at leisure, many points of view. Models can also be manipulated. Like many other types of objects handled by scientists in the field or the laboratory, they can be touched, measured, tested, dissected, or assembled, and tinkered with in many different fashions. In other words, they act as a material analogy.”⁷⁶

In der Beschreibung der Vorzüge solcher tangibler Modelle, stimme ich FRANCOEUR vollkommen zu, nur finde ich für all diese Objekte die Bezeichnung „materielles Modell“ eindeutiger und angemessener (vgl. hierzu unten die genauere Abgrenzung von Analogie und Modell).

ad (4.) Eng mit der vorigen Unterscheidung verwandt ist diejenige zwischen **attributiven** und **funktionalen** Analogien. Dann und nur dann, wenn der analogische Transfer von Basis zum Zielbereich in der Übertragung eines oder mehrerer Attribute eines Objekts aus dem Basisbereich besteht, dem ein „analoges“ Objekt im Zielbereich zugeordnet wird, liegt eine sogenannte attributive Analogie vor. Oft handelt es sich schlicht um äußere Ähnlichkeiten, aus denen aber in der Naturwissenschaft leider nur wenig geschlossen werden kann. Speziell im Mittelalter und in der frühen Neuzeit hatte jene *analogia attributionis* jedoch Hochkonjunktur, so etwa in der Paracelsischen Signaturenlehre, in der von *äußerlichen* Ähnlichkeiten auf *innere* Ähnlichkeiten der Wirkmechanismen geschlossen⁷⁷ wurde: Weil Melissenblätter herzförmige Gestalt haben, müssten sie laut PARACELTUS als Herzmittel tauglich sein; weil sich in der Blüte der *emphrosia officinalis* vermeintlich das menschliche Auge abzeichnet, sprach er ihr die Heilkraft des sogenannten „Augentrost“ bei Augenkrankheiten zu; weil der Adlerstein (*Aetitis*) – ein Hohlkiesel, in dem ein anderer Stein eingeschlossen ist – beim Schütteln klappert, vermutete man seine Nützlichkeit bei der Geburtshilfe, und alle roten Steine (Rubin, Granat, Haematit) wurden als blutstillende Mittel eingesetzt. Wichtiger als attributive Analogien sind darum für die spätere Praxis der Medizin, Naturwissenschaft und Technik die funktionalen Analogien, in denen Funktionsentsprechungen zwischen Komponenten im Basis- und Zielbereich vorliegen. Wie verblüffend weitgehend solche Funktionsentsprechungen zwischen völlig verschiedenen Gebieten sein können, verdeutlicht das folgende Diagramm, das funktionale Entsprechungen zwischen mechanischen, elektrischen, hydraulischen und pneumatischen Maschinenkomponenten aufzeigt, die ohne jene auf eine Systemanalyse der Ingenieure J. M. SCHOENMAKERS und H. P. TOMESSEN zurückgehende Strukturanalyse kaum zu erkennen gewesen wäre, da Elemente wie die Kupplung, der Lichtschalter oder das Steuer eines Autos kaum irgendwelche äußerlichen Attribute miteinander gemeinsam haben.⁷⁸

ad (5.) Mit den beiden vorigen Unterscheidungen verwandt, aber nicht deckungsgleich ist auch diejenige zwischen **verbal** bzw. **visuell repräsentierten Analogien**. Letztere können oft ganz oder fast ganz ohne Worte einfach nur durch Nebeneinanderstellen zweier oder mehrerer Abbildungen deutlich werden und „springen“ dem Betrachter – wenn sie gut sind – dann gleichsam „ins Auge“. Selbstverständlich können visuelle Analogien auch präzise verbalisiert oder formalisiert werden, nur können umgekehrt viele in Worten oder Formeln erfasste Analogien gar nicht oder nur auf Umwegen visualisiert werden. In den materiellen Modellen

⁷⁶ Siehe FRANCOEUR 1997, Zitat S. 14, bzw. seinen Beitrag in de CHADAREVIAN und HOPWOOD 2004.

⁷⁷ Zur frühneuzeitlichen Medizin hier den Beitrag von Heinz SCHOTT, ferner FELLMETH und KOTHEDE (Hrsg.) 1993, S. 45–50.

⁷⁸ Für dieses und weitere gute Beispiele für Funktionsanalogien siehe SARLEMIJN und KROES 1988, S. 240ff.

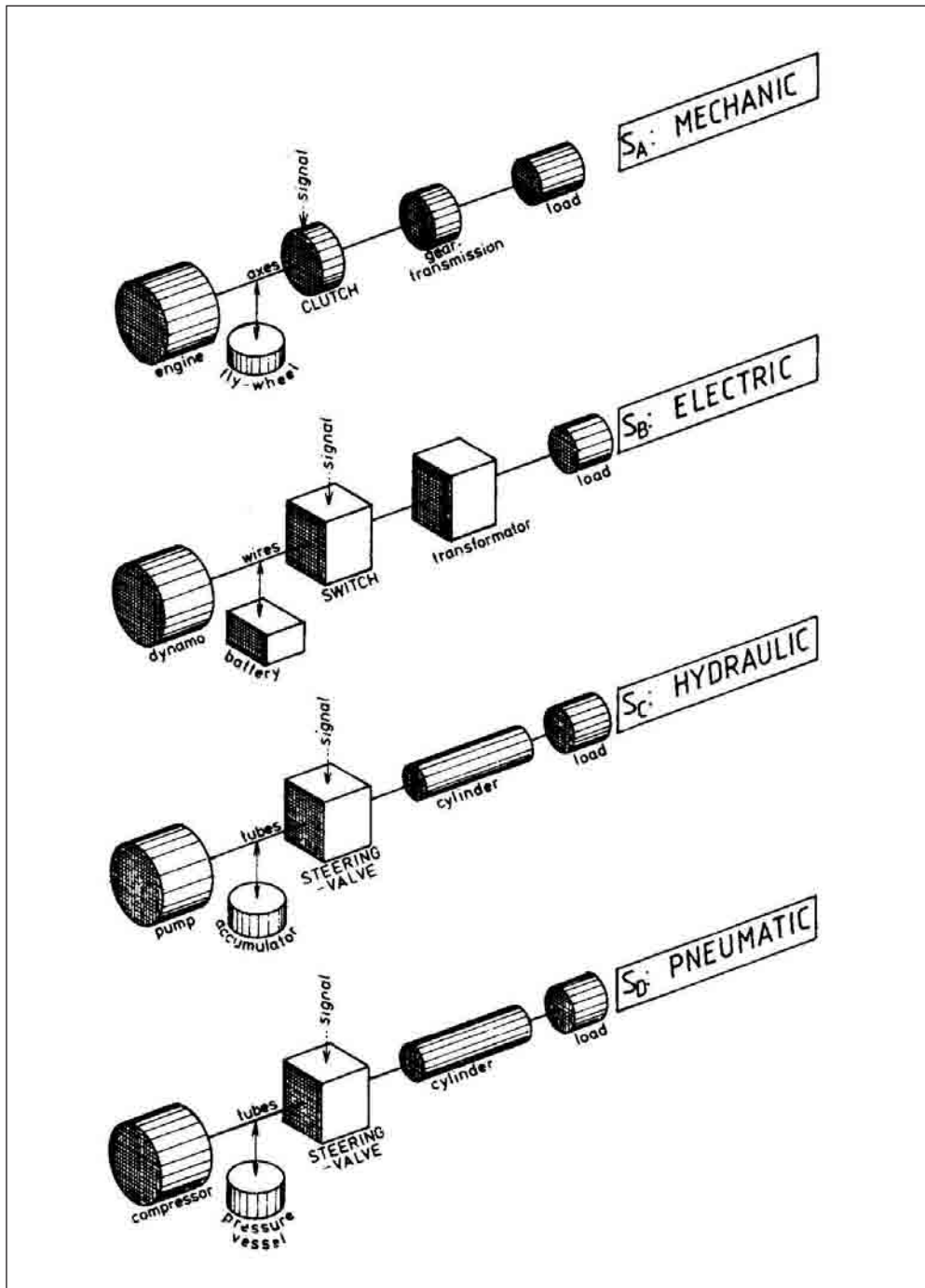


Abb. 2 Funktionsanalogien zwischen 4 technischen Systemen, aus SARLEMIJN 1987, S. 47, bzw. SARLEMIJN und KROES 1988, S. 242, modifiziert übernommen aus einer Vorlage von SCHOENMAKERS und TOMESSEN.

der vorigen Unterscheidung werden Analogien etwa der räumlichen Lage oder andere strukturelle Ähnlichkeiten visuell erfassbar, dennoch wäre es falsch, beide gleichzusetzen, zumal sehr viele visuelle Analogien auch ohne materielles Modell klar und deutlich kommunizierbar sind. Ein hervorragendes Beispiel sind die spekulativen Überlegungen von d'Arcy Wentworth THOMPSON (1860–1948) in seiner zum Klassiker avancierten Studie *On Growth and Form*, die 1917 in erster Auflage erschien und noch bis in unsere Zeit hinein immer wieder abgedruckt wurde. Unter den vielen von ihm konstruierten analogisch verknüpften Bildketten sei hier nur eine herausgegriffen, die von den berühmten Kurzzeitbelichtungsaufnahmen fallender Wassertropfen durch Arthur Mason WORTHINGTON (1852–1916) (links bzw. in der Mitte in einer späteren Zeitphase nach dem Wiederhochschnellen des Wassers als sogenannter „Strömungspilz“ oder „Tintenpilz“) bis zu scheinbar analogen Formen von „hydroiden“ Polypen (rechts) reicht. Doch was folgt aus dieser Bilderkette? Etwa, dass die mittlere und rechte Form miteinander in ihrer Genese verwandt sind? Mitnichten! Der Biologe d'Arcy THOMPSON war sich dieser Begrenzung seiner Methode sogar bewusst, denn er formuliert im Begleittext stets sehr vorsichtig: „we seem to see“, „we seem able to discover“ usw., sowie an einer Stelle sogar noch ausdrücklicher zweifelnd: „it is hard indeed to say how much or little all these analogies imply“.⁷⁹ Visuelle Analogien können zwar erstaunliche Bild- und Strukturbezüge herstellen, aber sie haben keinerlei bindende Aussagekraft über die wissenschaftlich und technisch so stark im Vordergrund stehenden Kausalbeziehungen bzw. die in der Biologie interessierenden evolutionären Relationen. Sie stehen in starker Resonanz zu attributiven Analogien (siehe oben) und werden häufig zusammen mit diesen eingesetzt (so etwa massiv in der Alchemie der frühen Neuzeit⁸⁰).

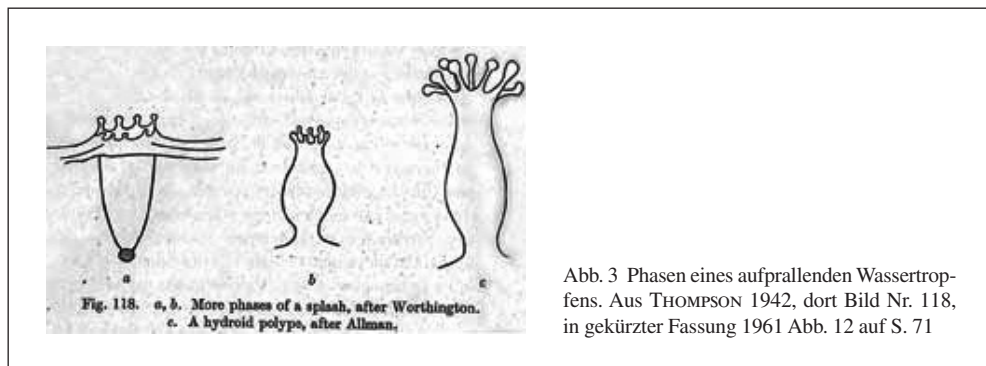


Abb. 3 Phasen eines aufprallenden Wassertropfens. Aus THOMPSON 1942, dort Bild Nr. 118, in gekürzter Fassung 1961 Abb. 12 auf S. 71

Andere, nicht minder berühmte Beispiele für frappante visuelle Analogien finden sich unter den Zeichnungen LEONARDO DA VINCIS (1452–1519). LEONARDO verglich Wirbel im Wasser mit geflochtenen Haarsträhnen, verzweigte innere Gefäße und Treppenhäuser, Wasseradern im Gestein und Adern im Körper, Aufhängungen von Maschinen mit der Nackenmuskulatur des Menschen usw. usf. Sein zeichnerisches Werk, verstreut über viele *Codices*, ist voller

⁷⁹ d'Arcy THOMPSON 1942, S. 397; vgl. für eine noch weitergehende Kritik SCHMIDT 2008, S. 10: „Fast möchte man meinen, THOMPSON folge der kritisch-paranoiden Methode eines Salvador DALI, der in jeder runden Form ein Rhinozeroshorn ausmacht.“

⁸⁰ Vgl. hier erneut den Beitrag von Heinz SCHOTT in diesem Band und dessen aussagekräftiges Bildmaterial.

wechselseitiger Querverweise, voller Zuordnungen des von ihm Gesehenen zu natürlichen Mustern. Der Kunsthistoriker und Leonardo-Kenner Martin KEMP hat LEONARDO als “lateral thinker of the most extreme kind” ausgewiesen,⁸¹ als einen visuell Denkenden und assoziativ Sehenden. Bei aller Bewunderung: Auch hier zeigt sich wieder die Gefahr des Ausuferns jener In-Beziehung-Setzung von Formen, so etwa bei LEONARDOS Zeichnungen von Wasserwirbeln, denen man die zeichnerische Konstruktion in Analogie zu den von ihm so perfekt beherrschten sich kräuselnden Haarsträhnen noch zu sehr anmerkt, als dass diese unserem heutigen, an modernen Sichtbarkeitsmachungen solcher Verwirbelungen geschulten Sehempfinden nach stimmige Portraits hydrodynamischer Wirbel wären. LEONARDOS Gestaltsehen hat ihn diese Wasserwirbel trotz seiner geschulten Beobachtungskunst zu schnell als analog zu etwas erscheinen lassen, was sie letztendlich nicht waren.



Abb. 4 LEONARDO DA VINCI, Skizzen von Wasserverwirbelungen hinter einem in die Strömung eingebrachten Störkörper (Windsor Castle, 12579gr, ca. 1513). Quasi-automatisch zeichnet LEONARDO die Verwirbelungen als Verdrehung von Zöpfen, so stark, daß sie heutigen Betrachtern ohne Erläuterung kaum als Wasserwirbel kenntlich sind. Der Begleittext von LEONARDO unten verweist ebenfalls explizit auf diese von ihm gesehene visuelle Analogie: “Observe the motion of the surface of the water which resembles that of hair, and has two motions, of which one goes on with the flow of the surface, the other forms the lines of the eddies; thus the water forms eddying whirlpools one part of which are due to the impetus of the principal current and the other to the incidental motion and return flow.”⁸²

81 Siehe KEMP 2006, S. 16; vgl. auch FEHRENBACH 1996.

82 Englisch übersetzt in RICHTER 1888, Nr. 389.

ad (6.) Auch die fünfte Unterscheidung bemüht metaphorische Redewendungen, die expliziert werden müssen. Nicht jede Analogie wird als „tief“ bezeichnet werden können, sondern nur diejenigen, die in einer (anfangs oft ungeahnten) Art und Weise auf B und Z „passen“, so dass der Übertragbarkeit von Relationen aus B auf die entsprechenden Relationen in Z kaum Grenzen gesetzt zu sein scheinen. Letzteres klingt unwahrscheinlich, und es war auch entsprechend selten in der Wissenschaftsgeschichte, dass Analogien diesen Typs gefunden wurden, aber nichts desto trotz gab und gibt es derartige Fälle ab und an, die dann von den Forschern auch so bezeichnet wurden (und werden). Erst wenn man diesen wichtigen Unterschied zweier Analogientypen aus systematischer Sicht verstanden hat, wird man die Begeisterung der Naturforscher nachvollziehen können, die immer dann auftrat, wenn sich eine solche tiefe Analogie abzeichnen begann. Die bis heute recht bekannte Maxwellsche Analogie der elektrischen und magnetischen Felder mit Spannungen und Wirbeln im elektromagnetischen Äther war eine solche tiefe Analogie, von der eine ganze Generation fanatisch begeisterter Maxwellianer gezehrt hat, auch wenn nach EINSTEIN die Begeisterung für solche quasi-mechanischen Äthermodelle dann rapide abgenommen hat.⁸³ Als ebenso tief haben sich Analogien wie z. B. die zwischen dem optischen Mikroskop und dem Elektronenmikroskop oder die zwischen dem Aufbau des Planetensystems und dem des Atoms (siehe unten) herausgestellt. Insofern Wissenschaftsgeschichte auch solche affektiven Momente der Begeisterung und nachfolgenden Enttäuschung von Akteuren verstehen und rekonstruieren können muss, darf auch die Unterscheidung „flacher“ und „tiefer“ Analogien nicht ausgeblendet werden, so sehr sich die Bewertungsmaßstäbe dafür mit den Zeiten auch ändern. Um 1800 wurde beispielsweise von Chemikern in analogischer Übertragung menschlicher Zu- und Abneigung auch von „Affinitäten“ zwischen Stoffen geredet, die tabelliert und miteinander verglichen wurden, um auf diese Weise das Stattfinden oder Nichtstattfinden chemischer Reaktionen zwischen zwei Stoffpaaren AB und CD erklären zu können. Dann (und nur dann), wenn die Affinität zwischen A und D größer ist als die zwischen A und B, werden aus der Zusammenfügung von AB und CD die chemischen Produkte AD und BC entstehen. Als Johann Wolfgang VON GOETHE durch den Chemiker Johann Friedrich August GÖTTLING (1753–1809) mit diesem Thema chemischer Wahlverwandtschaften vertraut gemacht wurde, begeisterte ihn diese Analogie zwischen dem Basisbereich menschlicher Beziehungen und dem Zielbereich chemischer Reaktionen so sehr, dass er kurzerhand Basis- und Zielbereich vertauschte und in seinem Roman *Die Wahlverwandtschaften* 1810 jene Auslösung einer chemischen Umsetzung durch größere „Affinität“ zweier in anderen Paarbindungen „gebundenen“ Elemente beschrieb: AB [Kalkstein, also in heutiger Nomenklatur CaCO_3] + verdünnte Schwefelsäure \rightarrow AD [Gips, also in heutiger Nomenklatur $\text{CaS}=4$] + „zarte luftige Säure“ [heute CO_2].

„Wenn Sie glauben, daß es nicht pedantisch aussieht, versetzte der Hauptmann, so kann ich wohl in der Zeichensprache mich kürzlich [kurz] zusammenfassen. Denken Sie sich ein A, das mit einem B innig verbunden ist, durch viele Mittel und durch manche Gewalt nicht von ihm zu trennen; denken Sie sich ein C, das sich eben so zu einem D verhält; bringen Sie nun die beiden Paare in Berührung: A wird sich zu D, C zu B werfen, ohne daß man sagen kann, wer das andere zuerst verlassen, wer sich mit dem andern zuerst wieder verbunden habe.“⁸⁴

⁸³ Zur Geschichte dieser Äthermodelle des späten 19. Jahrhunderts siehe z. B. CANTOR und HODGE 1981.

⁸⁴ J.W. VON GOETHE: *Wahlverwandtschaften*, zitiert nach der Weimarer Ausgabe 1887–1919, Abt. I, Bd. 20, S. 56; zum ideengeschichtlichen und wissenschaftshistorischen Hintergrund dieser Affinitäts-Analogie KLEIN 1994.

Diese damals so eingefahrene Redeweise von chemischen Affinitäten, durch die der Ausdruck „Affinität“ schon zu einer toten Metapher geworden war, hat die chemische Revolution jedoch nicht überlebt und kommt uns heute antiquiert und kurios vor. Dass einige lange für „tief“ gehaltene Analogien sich später als weniger tief denn erwartet herausstellen, impliziert übrigens nicht, dass alle diese Einschätzungen historisch so stark veränderlich sind. Im Gegenteil finden sich auch im naturwissenschaftlichen und technischen Bereich viele Analogien, von denen schon zum Zeitpunkt ihrer Formulierung klar war, dass sie „nur“ als „flache“ Analogien z. B. für Zwecke der Illustration und Popularisierung funktionieren können. Ein gutes Beispiel dafür wäre etwa Hans REICHENBACHS (1891–1953) hübscher Einfall, in seinem auf große Breitenwirkung hin konzipierten Buch über den Aufstieg der wissenschaftlichen Philosophie HEISENBERGS berühmt-berüchtigte Unschärferelation mit folgendem Analogon zu illustrieren: So wie ein Polizeiauto schon durch sein bloßes Auftauchen bereits Einfluss auf den Verkehrsfluss hat, den zu regulieren es die Aufgabe hat (z. B. dadurch, dass alle plötzlich ganz besonders langsam fahren, auch wenn das eigentlich vielleicht gar nicht erwünscht ist), so würde auch der Experimentator schon durch den Akt des experimentellen Eingreifens unwillkürlich Einfluss auf das untersuchte Objekt nehmen: “In our intercourse with electrons we cannot don civilian clothes; when we watch them we always disturb their traffic.”⁸⁵ Sehr schön erfasst wird durch diese illustrative Analogie die Unwillkürlichkeit, ja Unvermeidbarkeit einer Beeinflussung schon durch das bloße Da-Sein; über diesen einen Aspekt hinaus kann diese flache Analogie nicht ausgereizt werden, da sie dies und nur dies zu illustrieren beabsichtigt. Eine große Fülle ähnlicher „flacher“, aber dennoch illustrativ eingängiger Analogien findet sich beispielsweise auch in dem gelungenen Versuch einer Popularisierung der Ansätze und Ergebnisse neuester Stringtheorien durch die US-Physikerin Lisa RANDALL, darunter so einfallsreiche wie die zwischen der Kräfteverteilung in der gekrümmten Raumzeit und Sprinkler-Anlagen zur Bewässerung des Gartens oder die zwischen Strings einerseits und Gartenschläuchen aus dem Hubschrauber beobachtet, die dann ebenso eindimensional wirken wie die kompaktifizierten Zusatzdimensionen des Raumes bei niedrigerer Energieauflösung.⁸⁶

Waren alle bisherigen Unterscheidungen verschiedener Analogietypen deskriptiver Art, so schwingen im fünften Gegensatzpaar auch normative Töne mit, welche die eine Sorte von Analogien, nämlich die „flachen“, verdammen und die anderen, die „tiefen“, entsprechend in den Himmel zu loben scheinen. Auch wenn es zutrifft, dass erstere nur mit Vorsicht zu genießen und letztere anzustreben sind – es wird im allgemeinen keineswegs von vornherein klar sein, ob eine neu vorgeschlagene Analogie nun „tief“ oder „flach“ ist, da sich dieses oft erst nach einiger Zeit praktischen Umgangs mit jener Analogie erweisen wird.

ad (7.) Der Mathematiker John Maynard KEYNES (1883–1946) hat im Kontext seiner Diskussion des Induktionsproblems einen weiteren Unterschied benannt, nämlich den zwischen **positiven und negativen Analogien**.⁸⁷ Er meinte mit „positiven Analogien“ denjenigen Teil der Relationen, die beim Vergleich von Basis auf Zieldomäne übertragen werden kann, während „negative“ Analogien den bei diesem Vergleich nicht übertragbaren Anteil umfassen. Diese Redeweise ist insofern verwirrend, als streng genommen bei jeder Analogiebildung positive und negative Anteile vorhanden sein werden, so dass nicht die Analogie selbst, sondern nur

85 Siehe REICHENBACH 1957, S. 182.

86 Siehe RANDALL 2006, insbesondere S. 17, 35, 57, 66, 279, 282, ..., 444, 449 et passim.

87 Siehe KEYNES 1921, part iii, S. 217ff.

deren Anteile mit dem Gegensatz-Prädikat belegt werden. Die „tiefen“ Analogien der vorigen Unterscheidung sind somit solche, deren „positiver“ Anteil besonders hoch ist, während die „flachen“ demgegenüber einen hohen „negativen“ Anteil aufweisen. Ich schlage vor, diese Unterscheidung durch die auch umgangssprachlich besser eingefahrene und unmittelbar verständliche zwischen „Analogien“ und „Disanalogien“ abzulösen. Einen interessanten und an zahlreichen Beispielen illustrierten Vorschlag für eine graphische Notation, in der je drei verschiedene Grade der Güte von Analogien (von vollständig über unvollständig bis schwach) bzw. von Disanalogien (von geringer und mittlerer Unähnlichkeit bis hin zu extremer Unähnlichkeit) durch unterschiedlich lange und relativ zueinander parallel oder versetzt angeordnete Schlangenlinien symbolisiert werden, hat der Ingenieur Hermann DE WITT vorgelegt.⁸⁸

ad (8.) und (9.). Bezüglich der wissenschaftlichen Verwendung von Analogien wird jenseits aller Meinungsverschiedenheiten über deren Funktionieren von den allermeisten Autoren, und zwar Naturforschern wie Wissenschaftstheoretikern, die große faktische Bedeutung von Analogien bei der Findung neuen Wissens anerkannt. Der Verhaltensbiologe Konrad LORENZ (1903–1989) etwa machte die Bedeutung von Analogien als Quelle von Wissen Ende 1973 sogar zum Thema seines Nobelpreisvortrages.⁸⁹ Auch der für die wissenschaftliche Organisation des Manhattan-Projekts verantwortliche Vater der Atombombe Robert OPPENHEIMER (1904–1967), der ungarische Mathematiker Georg POLYA (1887–1985) oder die Chemiker August KEKULÉ (1829–1886) und J. H. VAN’T HOFF (1852–1911) haben diese kreative Rolle von Analogien bei der Findung von Neuem betont. Diese Hauptrolle von Analogien wird hier als **heuristische Funktion** bezeichnet. Eher selten sind Untersuchungen zum Einsatz von Analogien bei der **Illustration** bzw. **nachträglichen Rechtfertigung** von möglicherweise auf ganz anderem Wege gefundenem Wissen. Am Beispiel von Charles DARWIN (1809–1882) hat Michael RUSE aufgezeigt, dass DARWIN die Analogie zwischen künstlicher Zucht und natürlicher Selektion erst in der Phase des Ausbaus seiner Evolutionstheorie und ihrer Verteidigung gegen deren hartnäckige Kritiker weiter ausgeführt hat. Zwar sei diese Analogie bei der Genese der Evolutionstheorie latent immer schon vorhanden gewesen, doch sei sie erst in dieser späteren Phase voll aufgeblüht.⁹⁰ Eng verwandt mit diesem Rechtfertigungskontext, in dem DARWIN und seine Anhänger nach 1859 standen, ist auch der Vermittlungskontext der späteren Verbreitung von Wissen z. B. im Schul- und Universitätsunterricht. Auch dazu liegen bereits etliche Studien von Pädagogen und Entwicklungspsychologen vor, die u. a. untersucht haben, welche Bedingungen und Altersstufen vorliegen müssen, damit Analogien verschiedener Abstraktionsgrade von Lernenden verstanden werden können⁹¹ und in welchem Sinn Analogien als Lern- und Verständnishilfe fungieren können.⁹²

88 Siehe DE WITT 1972, insbesondere S. 36–39, sowie dort, S. 45–55, zu Ähnlichkeitsketten, -ringen u. a. Mustern; leider sind viele seiner Beispiele (z. B. dort, S. 111ff., zur „sozialen Gravitation“) nur mit Vorsicht zu genießen!

89 LORENZ 1973/74. Inhaltlich ist in diesem Vortrag besonders die Unterscheidung von Homologie und Analogie interessant; vgl. zu letzterem z. B. SCHARRER 1946 sowie hier den Beitrag von Olaf BREIDBACH.

90 Für Details siehe RUSE 1973; weitere Beispiele aus der Biologie bringt CANGUILHEM 1963. Schon PLATON und ARISTOTELES haben die Stärke der Analogie besonders in ihrer Überzeugungskraft gesehen: siehe dazu LLOYD 1966, S. 402, 408, und die dort angeführte Primärliteratur.

91 Siehe dazu z. B. HOLYOAK et al. 1984, TREAGUST 1992, KIPNIS 2005 sowie abstrakter ZEITOUN 1984.

92 Siehe z. B. WELLER 1970, HALPERN 1987, 1996, S. 83f., 374f., HALPERN et al. 1990, DUIT und GLYNN 1995, HERRMANN 2006, SCHMÄLZLE 2009 sowie hier den Beitrag von Lutz KASPER.

Allmähliche Erschließung von Analogien in der Ontogenese

Auf diesen Ergebnissen aufbauend haben die Kognitions- und Entwicklungspsychologen dann auch den Gebrauch von Metaphern als Funktion des Lebensalters untersucht, wobei sie feststellten, dass Kleinkinder Metaphern fast ausschließlich auf äußerliche Attribute beziehen, während mit fortschreitendem Alter ein *relational shift* zu immer stärker relationsbezogenen Metaphern stattfindet.⁹³ Ein Beispiel für ersteres wäre: "He had a pickle for a nose" oder die Bezeichnung eines Schreibstifts als "big needle"; demgegenüber wäre die Aussage: "The sun wakes the seeds" ein Beispiel für letzteres, da die Metapher des Aufweckens ein schon recht komplexes Wirkungsgefüge von Verborgensein des Samens in der Erde und seinem erst durch das Sonnenlicht hervorgerufenen Sprießen voraussetzt, welches Kleinkinder so nicht erfassen.⁹⁴ Die Fähigkeit, zwischen direkten (nicht-metaphorischen) und metaphorischen Vergleichen zu unterscheiden, zeigt sich in experimentellen Untersuchungen zur frühkindlichen Entwicklung etwa ab dem Alter von 4 – 5 Jahren, was auch so interpretiert werden kann, dass auf Analogiebildung fußende Klassifizierung von Objekten in etwa diesem Alter einsetzt.⁹⁵ Diese neueren Befunde rücken zwar Metaphern und Analogien wieder etwas enger zusammen,⁹⁶ sollten aber das oben zum Unterschied zwischen Metapher und Analogie Gesagte nicht vergessen lassen.

Aber nicht nur für Entwicklungspsychologen, sondern auch für Ethnologen, Literaturwissenschaftler und Wissenschaftshistoriker ist die Frage interessant, welche Typen von Analogien von welcher Gruppe als interessant oder berechtigt akzeptiert bzw. als unberechtigt zurückgewiesen werden. Gerade aus Disanalogien kann sehr wohl auch ergänzendes zu einer Theorie der Analogie entnommen werden, wie unlängst insbesondere Cameron SHELLEY durch Analyse einiger interessanter Beispiele gezeigt hat.⁹⁷ So zeigt sich auch hier wieder, *ex negativo*, dass diejenigen „flachen“ Analogien, deren Relationsnetz zu eng gespannt ist, in der Wissenschaftspraxis sehr schnell als „unbrauchbar“ weggeschoben werden, während viele andere denkbare Kandidaten von vornherein als Disanalogien wahrgenommen und als offensichtlich missbräuchliche Analogien gar nicht erst ernsthaft diskutiert werden.⁹⁸ Einen starken Kontrast zwischen **illustrativen und komparativen Analogien** baut die Anthropologin Ann Brower STAHL auf. Wenn zum Beispiel aus der äußerlichen Ähnlichkeit bestimmter Handwerkszeuge einer ausgestorbenen Kultur mit einer noch lebenden ohne weiteres auf eine Ähnlichkeit des Lebensstils oder bestimmter handwerklicher Praktiken geschlossen wird,⁹⁹ handelt es sich ihr zufolge um eine illustrative Analogie, mit der Ethnographie in die weit zu-

93 Siehe z. B. GENTNER und TOUPIN 1986, GENTNER 1988, HOLYOAK und THAGARD 1995, Kap. 4.

94 Für dieses Beispiel sowie etliche andere *relational shifts* im Laufe frühkindlicher Entwicklung siehe GENTNER 1988. Diese kindlichen Analogien erinnern an solche der frühen Neuzeit, etwa in FLUDD 1659, so dass sich hier eine gewisse Parallele zwischen Ontogenese und Phylogenese andeutet.

95 Siehe VOSNIADOU und ORTONY 1983, insbesondere S. 157; schon ab dem Alter von 3 Jahren waren Kinder in der Lage, sinnlose (anomale) Vergleiche zu erkennen, nicht aber, zwischen *literal* und *metaphorical* zu unterscheiden. Dieses spätere Aufkommen metaphorischen Verstehens wird auch bestätigt von WINNER et al. 1976.

96 In diesem Sinne etwa GENTNER und BOWDLE 2002, 2005 sowie der programmatische Beitrag von Dedre GENTNER u. a.: *Metaphor Is Like Analogy*. In GENTNER et al. (Eds.) 2001, S. 199–254.

97 Siehe SHELLEY 2002a und b.

98 Gute Beispiele für den Missbrauch von Metaphern und Analogien bei Henry ADAMS finden sich in MINDEL 1965, weitere Beispiele falscher oder irreführender Analogien in historischen Schriften bei FISCHER 1970, Kap. 9. Aber auch FISCHER zweifelt nicht daran: richtig eingesetzte "analogies are very useful explanatory tools" (S. 243).

99 Siehe zum folgenden STAHL 1993, S. 236–238 und 251, sowie ferner WYLIE 1988.

rückliegende Vergangenheit zurückgeschrieben würde. Demgegenüber würde ein bewusster Einsatz von Analogien, insbesondere auch eine vergleichende Betrachtung und Abwägung zwischen mehreren in die Vergangenheit ziehbarer Analogien sowie ein systematischerer Einsatz von in Zeitreihen gestuften Analogien die größten Fehler früherer Archäologie und Anthropologie verhindern. Auch sie plädiert für eine bewusste Einbeziehung von Disanalogien in diese vergleichende Bewertung der Plausibilität und Relevanz verschiedener denkbarer Analogien. Dass Analogien nicht nur in der Vergangenheit, sondern auch in der heutigen Naturwissenschaft und Technik intensiv eingesetzt werden, zeigen u. a. auch Untersuchungen von Wissenschaftssoziologen, die sich als Laborbeobachter in biochemische, molekularbiologische und hochenergiephysikalische Forschungslaboratorien begaben und dort den aktiven Gebrauch von Analogien in Gesprächen zwischen den Mitarbeitern und in den entstehenden Aufsätzen nachwiesen.¹⁰⁰

Kognitive Teilprozesse von Analogien

Von den Kognitionswissenschaftlern können wir als Wissenschafts-, Medizin- und Technikhistoriker/innen auch lernen, in welche zumindest psychologisch identifizierbaren Teilprozesse sich Analogiebildung gedanklich zerlegen lässt,¹⁰¹ wenngleich diese weitere Ausdifferenzierung bei historischen Analysen aufgrund der ohnehin schon schwierigen Quellenlage für diesen oft im verborgenen sich abspielenden Prozess vielleicht schwierig sein wird:

- (a.) Auffindung (*retrieval*) eines zu einer gegebenen Situation bzw. zu einem gegebenen Objekt ähnlichen bzw. „analogen“ im „Vorrat“ des im Gedächtnis gespeicherten Wissens;
- (b.) der eigentliche Transferprozess (*mapping*), in dem die Relationen dieses Vergleichsbereichs (*basis*) auf den Zielbereich (*target*) abgebildet werden;
- (c.) die Bewertung (*evaluation*) dieser nun gezogenen Analogie und ihrer Folgerungen;
- (d.) die Abstraktion der Basis- und Zielbereich zugrundeliegenden Struktur sowie deren Abspeicherung in der Wissensbasis (u. a. für spätere Analogiefindungen nach (a.)); das Ergebnis jener Abstraktion wird zuweilen auch Schema genannt, weil jene extrahierte Struktur „schematisch“ auf weitere Problemfälle angewendet werden kann;
- (e.) eventuell eine weitere Ausarbeitung, Verbesserung oder Modifikation jener Analogie, um einen noch besseren Fit zwischen den Strukturen von Basis- und Zielbereich zu erreichen, gefolgt von deren erneuter Abspeicherung, Bewertung, Abstraktion usw.

Dieses fünfstufige Schema ist iterativ hintereinanderschaltbar, und eine solche mehrfache Verbesserung von Analogien nach erfolgter Bewertung ist in vielen historischen Fallbeispielen auch erkennbar (vgl. hier u. a. die Beiträge von KRAFFT zu KEPLER sowie von HEIDELBERGER zu MAXWELL und HELMHOLTZ).

Gerade dieses ausdauernde Feilen, diese nachhaltige Denkarbeit an und mit Analogien ist meines Erachtens sogar eines ihrer Markenzeichen, auch im Unterschied zu den kurzlebigeren Metaphern und zu den diffuseren konzeptuellen Metaphern. Historisch besonders schlecht nachweisbar sind die Stadien (a.) und (d.): (a.), da diese Auffindung einer passenden Analogie oft sehr schnell und unerwartet vor sich geht und von den Akteuren wie eine plötz-

¹⁰⁰ Siehe etwa KNORR-CETINA 1980 und ähnliche Arbeiten von Klaus AMANN, Michael LYNCH u. a.

¹⁰¹ Zum Folgenden: GENTNER 1989, GENTNER et al. 2001b, GENTNER und COLHOUN 2009, preprint S. 3.

liche Eingebung beschrieben wird, während (*d.*), also die Abstraktion einer Struktur, umgekehrt sehr langsam abläuft und vielleicht sogar eher unbewusst erfolgt. Hingegen kann Phase (*b.*) anhand der von Akteuren vorgebrachten Begründungen für eine Analogie unmittelbar nachvollzogen werden, während die Stadien (*c.*) und (*e.*) in den Debatten, Kontroversen u. a. Auseinandersetzungen über vorgebrachte Analogien zwischen ihren Anhängern und Gegnern nachweisbar sind.

Dass Phase (*a.*) notwendig ist, bevor (*b.*) erfolgen kann, folgt jedoch schon aus rein logischen Gründen, denn nur wenn bereits ein Basisbereich ausgemacht wurde, kann ein Transfer von Strukturen aus diesem in den Zielbereich erfolgen. Doch experimentalphysikalischen Untersuchungen ist auch Phase (*a.*) durchaus zugänglich, wie die bereits oben erwähnten Studien von GICK und HOLYOAK an Probanden zeigen, bei denen die Wahrscheinlichkeit für die Auffindung einer Problemlösung von etwa 10 % bei völlig unvorbelasteten Probanden auf etwa 30 – 41 % stieg, wenn diese zuvor eine Lösung eines zum gegebenen Problem analogen Problems vorgelesen bekommen hatten. Die Wahrscheinlichkeit einer Auffindung jener Analogie stieg sogar auf rund 75 %, wenn die Probanden nach der Problemstellung auch noch einen Hinweis darauf bekamen, sich an die Lösung des vorigen Problems zu erinnern.¹⁰² Das zeigt, dass die Auffindung von passenden Analogien durch einen entsprechend großen Vorrat von strukturellen Schemata stark gefördert wird, was u. a. die Virtuosität mancher Naturforscher, Techniker und Mediziner in der Findung solcher Analogien erklären könnte.

Modelle in Abgrenzung zu Analogien

War bislang vorwiegend von dem Unterschied zwischen Metapher und Analogie die Rede, so möchte ich nunmehr noch kurz auf den Terminus „Modell“ zu sprechen kommen, wobei ich mich dabei im wesentlichen auf die Abgrenzung zur Analogie beschränken möchte.¹⁰³ In vielen Texten wird nur eine Unterscheidung zweier Grundtypen von Modellen gemacht, je nachdem, ob sie physisch-materiell vorliegen (*model_2*) oder nicht (*model_1*).¹⁰⁴ Diese Grundunterscheidung ist zwar unverzichtbar, reicht aber meines Erachtens noch nicht aus, denn ähnlich wie die Ausdrücke Metapher und Analogie changiert auch der Gebrauch des Wortes „Modell“ zwischen mindestens **fünf voneinander abgrenzbaren Bedeutungsebenen** hin und her:

- (*a.*) als umgangssprachliches Synonym für einen maßstäblich verkleinerten, häufig auch leicht vereinfachten Nachbau eines größeren Objekts (etwa das „Modell“ eines Gebäudes oder einer Maschine im Maßstab 1:100 in einem Museum); im Englischen sogenannte *scale models*;
- (*b.*) als Bezeichnung für physische Modelle, z. B. auseinandernehmbare Skelettmodelle der Anatomen, betastbare Silikon-Modelle der Mediziner zur Schulung der Früherkennung von Brustkrebs, oder chemische Modelle von Molekülen, in denen durch materielle Entsprechungen wie etwa Kügelchen für Atome und Stöckchen für chemische Bindungen

102 Siehe GICK und HOLYOAK 1980, 1983 sowie GENTNER und COLHOUN 2009, preprint S. 11.

103 Für ausführlichere Darlegungen siehe insbesondere HESSE 1954, 1959/60, 1966, 1967, LEATHERDALE 1974, Kap. 2, REDHEAD 1980, MÜLLER 1983, sowie zur Begriffsgeschichte KAULBACH 1984.

104 In diesem Sinne z. B. HESSE 1966, während LEATHERDALE 1974, S. 42ff., stärker differenziert; speziell zu meist verkleinerten *scale-models* in der Technik siehe WRIGHT 1992 sowie HOFFMANN und BERZ 2001, S. 265ff.

- räumliche Konfigurationen sowie Unterschiede erlaubter und nicht-erlaubter Anordnungen sicht- und tastbar erfahrbar gemacht werden können;¹⁰⁵
- (c.) dem Funktions-„Modell“ beispielsweise einer Dampfmaschine, aufgestellt etwa in einem technischen Museum oder auch als animiertes gif in einer Internetseite;
 - (d.) die mechanischen Modellvorstellungen zu nicht-mechanischen Prozessen beispielsweise in der Elektrodynamik des ausgehenden 19. Jahrhunderts,¹⁰⁶ bis hin zu
 - (e.) einer formal-strengen „Modelltheorie“ im Sinne von Alfred TARSKIS Metamathematik oder der mengentheoretischen Wissenschaftstheorie von Patrick COLONEL SUPPES (*1922), Wolfgang STEGMÜLLER (1923–1991) und Konsorten.¹⁰⁷

Zur klareren Abgrenzung dieser Ebenen sollte der unqualifizierte Modellbegriff nur im Sinn der formalisierten Ebene (e.) verwendet werden. Für die Beispiele unter (a.) sollte man den präziseren Terminus **Skalenmodell** benutzen, die Beispielklasse (b.) wird durch den oben schon eingeführten Begriff des **materiellen Modells** abgedeckt, während die Beispiele unter (c.) und (d.) demgegenüber **Funktionsmodelle** verschiedener Abstraktionsstufe darstellen – bei (c.) noch unter erkennbarer Beimengung einer Skalierungsebene, die auf Ebene (d.) weiter zugunsten der Abbildung von Funktionsrelationen zurückgedrängt wird. Aufgabe der physisch-herstellbaren mechanischen Funktionsmodelle des 19. Jahrhunderts war in erster Linie die Veranschaulichung abstrakter Prozesse wie etwa der Entstehung und Ausbreitung elektromagnetischer Felder oder hydrodynamischer Wirbel; Veranschaulichung dabei keineswegs nur im Sinne einer populär-verkürzten Darstellungshilfe für den Schul- und Hochschulunterricht, sondern durchaus auch als eigene Verständnishilfe der Forscher bei der tieferen Durchdringung ihres Gegenstandes. William THOMSON (1824–1907) hat einmal gesagt, er verstünde einen physikalischen Prozess erst, wenn er sich davon ein mechanisches Modell gemacht habe.¹⁰⁸ Umgekehrt hat der theoretische Physiker, Wissenschaftshistoriker und -theoretiker Pierre DUHEM (1861–1916) als erklärter Gegner mechanischer Modelle diese abwertend als eine besonders krude Form der Analogie abklassifiziert.¹⁰⁹ Funktion abstrakt-mathematischer Modelle in den Naturwissenschaften des 20. Jahrhunderts war (und ist) hingegen die Eingrenzung eines komplexen Problems durch künstliche Beschränkung des Gegenstandsbereiches auf eine geeignete Unterklasse, an der ein zu studierender Prozess klarer untersucht und genauer mathematisch „modelliert“ werden kann. Diese Modellierung erfolgt übrigens fast immer im Hinblick auf übergeordnete Theorien, mit denen Modelle jedoch nicht

105 Siehe dazu nochmals FRANCOEUR 1997 sowie hier das unter Anm. 76 angeführte Zitat.

106 Siehe dazu z. B. KLEIN 1972, MOYER 1977 sowie die folgenden Fußnoten für weitere Hinweise; noch Ludwig BOLTZMANN hat um die Jahrhundertwende Modell nur im Sinne einer physischen Repräsentation verwendet: siehe BOLTZMANN 1902/11 sowie BOLTZMANN 1892, S. 309, 360ff., 405ff., für einige eigene Modellkonstruktionen; allgemeiner zur Funktion mechanischer Modelle und zur Verschiebung des Modellbegriffs im 20. Jahrhundert: HUTTEN 1953/54, JAMMER 1965 und BAILER-JONES 2005.

107 Siehe dazu z. B. WOLTERS 1995 und dortige Literaturhinweise. STEGMÜLLER 1986, S. 46ff. definiert Theorien T mengentheoretisch als geordnetes Paar eines Theoriekerns K und intendierter Anwendungen I, wobei in diesen Theoriekern K wiederum unter anderem Modelle M der Theorie eingehen, definiert als diejenigen potentiellen Modelle M_p der Theorie, die die Fundamentalgesetze der Theorie T erfüllen. Theorien beinhalten in diesem strukturalistischen Theorienkonzept also *per definitionem* stets Modelle als Teilmengen ihrer selbst.

108 Siehe THOMSON 1884/1987, S. 206: “I never satisfy myself until I can make a mechanical model of a thing. If I can make a mechanical model, I can understand it. As long as I cannot make a mechanical model all the way through I cannot understand.”

109 Siehe DUHEM 1906/78 S. 93ff. sowie dazu ferner kritisch BERGGREN 1962/63, S. 454f., MELLOR 1968.

verwechselt werden sollten.¹¹⁰ Eine mir sinnvoll und wichtig erscheinende Form der Abgrenzung zwischen Modell und Theorie läuft darauf hinaus, Modelle (hier im Sinne von (e.)) als partielle Interpretationen von Theorien aufzufassen. So kann man z. B. Atome im Verband eines Gitters, was ihre Schwingungseigenschaften angeht, als harmonischen Oszillator modellieren, womit freilich nur ein Teil ihrer Eigenschaften erfasst wird, so dass alternativ dazu z. B. auch die Modellierung als Rotator möglich ist, womit ein anderer Freiheitsgrad erfasst wird. Die übergeordnete Bezugstheorie dabei ist entweder die klassische Mechanik oder, falls genauere Betrachtungen gemacht werden sollen, für die die Quantisierung der Energie u. a. nichtklassische Quanteneigenschaften wichtig werden, die Quantenmechanik. Im Rahmen einer Theorie sind fast immer mehrere verschiedene Modelle ein und des gleichen Systems möglich, die sich untereinander in ihrer Akzentuierung bzw. Auswahl relevanter Eigenschaften, aber auch in ihrer Genauigkeit oder in anderen pragmatischen Kriterien unterscheiden werden. Nach oben hin, in Richtung immer weiter zunehmender Abstraktion, kann sich dieses zwiebelförmige Ineinander von Modell und Theorie fortsetzen:

“Each model provides a partial interpretation of atomic theory and represents, so to speak, a certain viewpoint; we have multiple interpretations of a higher theory in terms of a simpler theory. Similarly, we may have many auxiliary models within a single theory; usually, they overlap and are mutually compatible though, on occasion, the models are alternatives.”¹¹¹

Sucht man nach **Gemeinsamkeiten zwischen diesen verschiedenen Typen von Modellen** der Klassen (a.) – (e.), so stößt man auf folgende Punkte:

- (1.) die hohe Komplexität all dieser „Modelle“ (im Unterschied zu Analogien und Metaphern);
- (2.) die bewusste Auswahl eines Teilaspekts des Zielbereiches, der in dem Modell erfasst werden soll (nur für diesen Teilbereich wird die Isomorphie des Modells und seines Gegenstands behauptet); sowie damit zusammenhängend dann auch
- (3.) die Zweckgerichtetheit all dieser Modelle (sie alle werden für einen bestimmten Zweck hergestellt bzw. entwickelt, und sie sind sinnvoll auch nur dafür verwendbar);
- (4.) die Uneindeutigkeit jedes Modells (andere „Modelle“ des gleichen Gegenstands sind „denkbar“ und meist gibt es auch etliche solche miteinander konkurrierenden Modelle).

Der Punkt (1.) grenzt Modelle bereits klar ab gegenüber Metaphern, die im Unterschied dazu eher einfache Form haben. Ferner zielen letztere auch nie auf die Behauptung einer Isomorphie, sondern verbleiben auf der Ebene vager Ähnlichkeitsbehauptungen in einem sehr eingeschränkten Bereich übertragbarer Attribute. Demgegenüber ist die möglichst weitgehende Übertragung ganzer Relationsnetze eine Gemeinsamkeit von Analogien und Modellen. Trotzdem bleibt es irreführend, von „Analogiemodellen“ zu reden, wie dies leider selbst in der *Enzyklopädie Philosophie und Wissenschaftstheorie* der Fall ist. Was mit diesem Ausdruck gemeint ist, sind tangible oder zumindest doch visualisierbare Modelle, in denen Analogien zwischen Basis und Target ausgenutzt werden, um (vgl. Punkt 3.) den Zielbereich damit besser zu verstehen, also etwa, um die damals noch unvertrauten Prozesse der Elektrodyna-

110 Zur Abgrenzung von Modell und Theorie siehe die in Anm. 105f. genannten Texte sowie BRAITHWAITE 1962/70, REDHEAD 1980, S. 146: “The model is proposed in the framework of some more basic theory or theories.” Historische Beispiele aus der Geschichte der Optik gibt PSILLOS 1995, während CARTWRIGHT et al. 1995 mit der Supraleitung ein Beispiel behandeln, in dem eine übergeordnete Theorie für die Modellierung lange Zeit fehlte.

111 Siehe HUTTEN 1953/54, Zitat S. 298 sowie die in Anm. 107 genannte formalisierte Wissenschaftstheorie.

mik durch das Ineinandergreifen verschiedener Typen von Zahnrädern und anderer *gadgets* quasi-mechanisch zu veranschaulichen. Dies war weit mehr als nur eine nachträgliche „Illustration“ oder Popularisierung – es war ein heuristisches Hilfsmittel beim „Durchdenken“ dieser Prozesse, das z. B. in Gestalt des berühmten Verschiebungsstroms von James Clark MAXWELL (1831–1879)¹¹² auch ganz konkrete Früchte getragen hat.¹¹³ Die dem Modell zugrundeliegende Analogie – bei MAXWELL z. B. die zwischen der Kopplung elektrischer und magnetischer Felder einerseits und dem mechanischen Ineinandergreifen verschieden großer Zahnräder andererseits – ist dabei eine nur partielle: es wird nicht nur von der mechanischen Reibungskraft abstrahiert, sondern auch von einem dreidimensionalen Prozess elektromagnetischer Feldausbreitung auf ein nur zweidimensional modellierbares Modell reduziert, aber dieser Nachteil wird kompensiert durch das plötzlich durch das mechanische Modell eintretende Verständnis dafür, warum diese Ausbreitung magnetischer Felder in Materie mit dem Auftreten von elektrischen Strömen gekoppelt ist und umgekehrt.¹¹⁴ Ludwig BOLTZMANN hat die eigentliche Pointe dieser Äthermodelle von MAXWELL u. v. a. (darunter auch ein von ihm selbst vorgeschlagenes) wunderbar auf den Punkt gebracht: „Sie alle zeigen, wie die neue Richtung den Verzicht auf vollständige Congruenz mit der Natur durch um so schlagenderes Hervortreten der Ähnlichkeitspunkte wettmacht.“¹¹⁵ Damit bestätigt BOLTZMANN auch klar den zweiten meiner obigen Punkte. MAXWELLS und LODGES Äthermodelle waren nicht materielle Modelle im Sinne der obigen Ebene (*b.*), auch wenn vielleicht vereinzelt tatsächliche materielle Modelle dieser Art zur Veranschaulichung für Unterrichtszwecke gebaut wurden, sondern Funktionsmodelle *à la* Ebene (*d.*) und die hervortretenden „Ähnlichkeiten“ waren solche des funktionalen Ineinandergreifens und Miteinander-Verkettet-Seins von Feldern, nicht irgendwelche materiellen oder äußerlichen Ähnlichkeiten.

Model Building um die Jahrhundertwende

Unter Wissenschaftshistorikern ist es anerkannt, dass die Viktorianische Physik insgesamt und die Maxwellsche Physik im besonderen eine Hochphase des konstruktiven Einsatzes von ausgefeilten mechanischen Modellen dargestellt hat.¹¹⁶ Gerade weil damals diese Methode der Analogiebildung und der darauf aufbauenden Modelle so beliebt war, entstanden eine Fülle verschiedener und vielfach auch direkt miteinander konkurrierender Modelle. Es wäre vermessen gewesen, von irgend einem dieser Modelle zu behaupten, dass dieses in Gänze alle Eigenschaften des jeweiligen Zielbereiches, also z. B. der Hydro- oder Elektrodynamik,

112 Siehe MAXWELL 1855 und 1862, CHALMERS 1986, CAT 2001 und die in den folgenden Anmerkungen genannten Texte, ferner den Beitrag von Michael HEIDELBERGER in diesem Band.

113 Siehe BOLTZMANN (1892; zitiert bereits oben in Anm. 63), dort insbesondere S. 96 darüber, dass MAXWELLS Formeln lediglich „Consequenzen seiner mechanischen Modelle waren“ und sich erst 1865 „von seinem Modelle los“ schälten.

114 Zu MAXWELLS berühmten Äthermodell im einzelnen siehe u. a. SIEGEL 1991, WISE 1979, HARMAN 1982, Kap. IV, CAT 2001, dort jeweils gegebene weiterführende Literaturhinweise.

115 BOLTZMANN 1892, S. 97f.; ein anderes schönes Beispiel, das Seifenhaut-Modell zur Darstellung von Torsionsspannungen in festen Körpern, das physisch nachbaubar, aber auch mathematisierbar ist, gibt PRANDTL 1904; zur optisch-mechanischen Analogie bei William Rowan HAMILTON: HANKINS 1980, Kap. 14.

116 Siehe neben den in den vorigen Anmerkungen erwähnten Texten u. a. KARGON 1969 sowie NERSESSIAN 2002 und hier den Beitrag von Michael HEIDELBERGER (notabene: Einsatz von Analogien in Modellen, nicht „Analogiemodelle“).

abzubilden vermöge, und keiner der Akteure hat diesen Anspruch erhoben. Durch diese Pluralität, ja diese Proliferation von Modellen wurden umgekehrt diejenigen Strömungen der damaligen Erkenntnistheorie gestärkt, die von einer Korrespondenztheorie der Wahrheit abzugehen bereit waren und eine Konventionalität menschlicher Erkenntnismittel betonten, also z. B. Heinrich HERTZ' Bildtheorie, Henri POINCARÉS Konventionalismus, Charles Sanders PEIRCES Pragmatismus und Percy W. BRIDGMANS Operationalismus. Der von Gregor SCHIEMANN 1997 vorgeschlagene Terminus „Wahrheitsgewißheitsverlust“ trifft diese Tendenz genau, auch wenn er diese Entwicklung eher am Beispiel von Hermann von HELMHOLTZ und seiner Schüler nachzeichnet. Einer dieser Schüler war Heinrich HERTZ (1857–1894), der zwar im Unterschied zu seinen Zeitgenossen auf den Modellbegriff verzichtete, dafür aber den Begriff des „Bildes“ einführte, der als in etwa äquivalent zu „mentalem Modell“ interpretiert werden sollte und von HERTZ folgende Rolle zugesprochen bekam:

„Wir machen uns innere Scheinbilder oder Symbole der äußeren Gegenstände, und zwar machen wir sie von solcher Art, daß die denotwendigen Folgen der Bilder stets wieder die Bilder seien von den naturnotwendigen Folgen der abgebildeten Gegenstände. [...] Die Bilder, von denen wir reden, sind unsere Vorstellungen von den Dingen; sie haben mit den Dingen die *eine* wesentliche Übereinstimmung, welche in der Erfüllung der genannten Forderung liegt, aber es ist für ihren Zweck nicht nötig, daß sie irgend eine weitere Übereinstimmung mit den Dingen haben.“¹¹⁷

Auch hier also, wie schon bei MAXWELL, FITZGERALD und BOLTZMANN, der Verzicht auf vollständige Kongruenz und die Reduktion der Abbildungs- oder Ähnlichkeitsrelation zwischen Bild und Abgebildeten (bzw. zwischen mentalem Modell und Modelliertem) auf eine selektive Gruppe von Relationen, hier bei HERTZ speziell die Kausalrelation. Nur in der denotwendigen Abfolge zweier Bilder aufeinander sollen diese mit der *qua* natürlicher Kausalität garantierten Abfolge zweier abgebildeter Gegenstände oder Prozesse aufeinander übereinstimmen. Dann und nur dann ist ein Bild (im Sinne von HERTZ) bzw. ein mentales Modell (im Sinne unseres Verständnisses) zulässig, wenn diese Übereinstimmung der Kausalrelation gegeben ist; neben diese semantische Minimalbedingung treten dann noch syntaktische und pragmatische Kriterien der Widerspruchsfreiheit und Einfachheit, mit denen *verschiedene* Bilder (bzw. Modelle) miteinander verglichen und gegebenenfalls Präferenzen begründet werden können.¹¹⁸

Insgesamt ergibt sich somit aus systematischen Überlegungen ebenso wie auch nach Analyse erster historischer Beispiele eine klare Stufenabfolge Metapher – Analogie – Modell – Theorie: Analogien unterscheiden sich von Metaphern durch die Symmetrie der durch die Analogierelation ausgedrückten Beziehung zwischen Basis und Zielbereich, während Metaphern eine einseitig gerichtete und verkürzte Form eines *similes* sind. Analogien unterscheiden sich auch von Modellen darin, dass letztere wiederum stärker asymmetrisch angelegt sind: sowohl mechanische wie auch mentale Modelle repräsentieren und „modellieren“ einen Gegenstand des eigentlichen Interesses, das *target*, durch partielle Abbildung einiger durch die jeweilige Fragestellung ausgezeichneten Relationen, um dadurch etwas über dieses *target* zu lernen. Integraler Bestandteil vieler Modelle sind Analogien; obwohl letztere keineswegs

117 HERTZ 1894, S. 1; zum Bildbegriff ferner „Bild“ in Enzyklopädie Philosophie und Wissenschaftstheorie, Stuttgart: Metzler, Bd. 1, 1995, S. 312, sowie D'AGOSTINO 1990.

118 Vgl. dazu HENTSCHEL 1998 und die dort angeführte Literatur.

zwingender Bestandteil von Modellen sind, gaben vielfach doch erkannte Analogien zweier Objekte oder Prozesse den Ausschlag für die Entwicklung komplexer Modelle von einem dieser Gegenstandsbereiche. Entwicklungspsychologisch wie auch wissenschaftshistorisch lassen sich Erweiterungen von Metaphern zu Analogien, von Analogien zu Modellen sowie schließlich auch von Modellen zu Theorien nachweisen, ferner auch eine Tendenz zur schrittweisen Erhöhung des Abstraktionsgrades von Analogien und Modellen mit fortschreitendem Entwicklungsgrad. Im Folgenden werden wir diese Unterscheidungen an einigen wissenschaftshistorischen Beispielen weiter vertiefen.

Analogien verschiedener Güte

Um zu zeigen, wie differenziert Unterscheidungen wie die im vorigen referierte zwischen „flach“ und „tief“ mitunter auch von den Akteuren selbst getroffen wurden, sei hier der Maxwellianer George Francis FITZGERALD (1851–1901) angeführt, dessen gesamtes Werk von Analogien und Modellen durchzogen ist.¹¹⁹ In einem Aufsatz über „models and likenesses“¹²⁰ unterschied FITZGERALD systematisch zwischen der ungeheuren Fülle denkbarer Modelle des Äthers, wie er selbst und viele seiner Zeitgenossen sie in dieser Zeit erdacht hatten,¹²¹ und einigen wenigen Modellen, die weitergehenden, portraitähnlichen Anspruch auf Übereinstimmung mit der Wirklichkeit hätten. Erstere waren für ihn „nur“ Modelle, während letztere von ihm emphatisch als *likeness* bezeichnet wurden, dem englischen Ausdruck für Portrait. Nur *likenesses* verfügen über das, was er selbst als *verisimilitude* bezeichnete, also wörtlich übersetzt „Wahrheitsähnlichkeit“, und zwar deswegen, weil nur diese tiefen Analogien in so überraschend vielen Punkten Entsprechungen miteinander haben, dass eine Art „unvollständiger“ Induktion von dem Übereinstimmen aller bisherigen Relationen auf das zukünftige Übereinstimmen aller weiteren, erst noch zu bestimmenden Relationen zu erwarten wäre. Selbstverständlich war sich auch FITZGERALD bewusst, dass diese Extrapolation vom Bekannten auf das Unbekannte riskant blieb, darum spricht er auch nicht von „Wahrheit“, sondern von „Wahrheitsähnlichkeit“, also etwas der Wahrheit nur nahekommendem. Damit zeigt sich bei FITZGERALD genau die oben bereits aus systematischen Erwägungen heraus geforderte Differenzierung zwischen Analogien und Modellen. Auch die folgende Passage aus seinem postum veröffentlichten Aufsatz zur Funktion von Modellen zeigt, wie er zwischen Modell und Analogie differenziert: Analogien werden in Modellen aktiviert.

“In the case of a mechanical model of the ether, we have before us a structure which we may easily conceive, and with the method of whose working we are familiar; and so we can reason about it and discover what it should do without being troubled at every turn

119 Siehe z. B. FITZGERALD 1884.

120 FITZGERALD ca.1888/1902, S. 142ff.

121 1885 hatte FITZGERALD selbst u. a. ein Modell konstruiert, dass aus einem System von Messingrädern mit massivem Rand bestand, die auf festen Achsen drehbar und durch Gummibänder gekuppelt sind, während sein Zeitgenosse Oliver LODGE eine doppelte Serie von direkt in einander greifenden Rädern vorgeschlagen hatte; siehe Oliver LODGE 1896, S. 324f., vgl. DYCK 1892, S. 400f., sowie zahlreiche Abbildungen dazu in STACHOWIAK 1983, Kap. X und XI über „mechanische Modelle“, S. 224–270. Auch MAXWELL selbst hatte sich mit ähnlichen Vorschlägen für ein „System von Zahnrädern“ bereits 1862 beteiligt: „Von unserem gegenwärtigen Gesichtspunkte aus erscheint also die Beziehung eines elektrischen Stromes zu seinen Krafterlinien analog der eines Zahnrades oder einer Zahnstange zu den Rädern, in welche sie eingreift.“

to realize our analysis, for the realization is so easy and familiar that it gives our minds no trouble. [...] A model of the ether is like a complicated algebraic formula that can be interpreted in terms of a known analogy so as to represent the laws of a surface; it is not like the surface, but we may deduce the laws of one from the other if we attend to the laws of the analogy.”¹²²

Auch, wenn einige Leser dieses Aufsatzes FITZGERALDS Korrespondenztheorie der Wahrheit nicht teilen sollten, die seinem Ansatz implizit zugrunde liegt, bleibt festzuhalten, dass es systematisch gesehen einen erkennbaren Unterschied zwischen „flachen“ und „tiefen“ Analogien gibt, wobei letztere sich dadurch auszeichnen, dass in ihnen sehr viel mehr „drin steckt“ als anfänglich zu vermuten war, oft sogar, ohne dass zu dem Zeitpunkt, in dem eine Analogie als „tief“ empfunden wird, ein Ende dieser Ausreizbarkeit erkennbar wäre. Allerdings warnt FITZGERALD auch davor, eine Analogie, und sei sie noch so tief, zu überdehnen:

“We must not press analogies too far. To suppose that the ether is at all *like* the model I am about to describe would be as bad a mistake as to suppose a sphere at all like $x^2 + y^2 + z^2 = r^2$ and to think that it must in consequence be made of paper and ink.”¹²³

Als Beispiel dafür, wie ein und derselbe Gegenstand nacheinander Basis „flacher“ und „tiefer“ Analogien darstellen kann, sei hier nochmals das Planetensystem angeführt. Bei einem populären Autor der Aufklärungszeit wie Francesco ALGAROTTI (1712–1765) wird z. B. das Planetensystem in Analogie zur Monarchie gebracht.¹²⁴ Die Sonne solle man sich als *Souverain* eines immens großen Reiches vorstellen, dessen *Seigneurs* und Barons die Hauptplaneten darstellen. Einige von ihnen würden eigene Domänen verwalten, auf denen im Kleinen die gleiche Jurisdiktion gelte, wie der *Souverain* sie im großen Reich auch walten lasse, denn in beiden würden kleinere die größeren umrunden, um ihnen den Hof zu machen. Unsere Erde sei nur ein kleines Reich, in dem lediglich ein Mond sich die Mühe dieser Umrundung mache, gar nicht zu vergleichen mit den viel größeren Reichen eines Jupiter oder Saturn, die beide sehr viel mehr Vasallen hätten.

Trotz des gefälligen Bildes einer Umkreisung des Königs durch seinen Hofstaat, das an höfische Schreittänze und anderes Zeremoniell denken lässt und wie angegossen auf den von ALGAROTTI primär avisierten Leserkreis der gebildeten Hofdamen passte, bleibt seine Analogie doch „flach“, denn es gibt nur eine recht kleine Zahl wirklich übertragbarer Relationen. *In puncto* Kurzatmigkeit handelt es sich eher um eine Art rhetorisch ausgeschmückter Metapher, wie diese nur für den Augenblick, den Effekt konzipiert. Entsprechend kurzlebig war die Wirkung dieser Analogie, die ebenso schnell wie ALGAROTTIS Traktat der Vergessenheit anheimfiel. ALGAROTTIS Analogie hatte keinerlei Systematizität, sondern verblieb auf der Ebene bloßer Illustration, wie dies übrigens für viele Analogien im populärwissenschaftlich-vermittelnden Kontext gilt.

122 FITZGERALD 1888/1902, S. 168.

123 Ebenda, S. 169 (Hervorhebung Orig.).

124 ALGAROTTI 1738 (Orig. ital.), hier Bd. 2, S. 192f.; weitere dort behandelte Analogien betreffen z. B. die Ausbreitung von Licht und Schall in der Physik von Nicolas MALEBRANCHE (1638–1715) (ebenda, S. 259) oder die zwischen der Erzeugung von Farben und anderen Körpern (ALGAROTTI 1738, Bd. 1, S. 152).

Die Analogie als Argument und rhetorische Waffe

Dass dies keineswegs so sein muss, zeigt u. a. das Beispiel von Galileo GALILEI (1564–1642), der in seinen Texten für eine breite Öffentlichkeit wie etwa dem *Dialog über die beiden hauptsächlichsten Weltsysteme*, in dem er sich für das kopernikanische und gegen das hergebrachte ptolemäische Weltbild einsetzte, eine Vielzahl von z. T. sehr raffinierten Analogien nutzte, stets mit dem übergeordneten Ziel, seine Leser von der Überlegenheit des Heliozentrismus zu überzeugen, also ganz eindeutig im Kontext der Überzeugung noch unentschlüsselter Leser, nicht im heuristischen Kontext einer eigenen Suche nach Neuem.¹²⁵ Integraler Teil dieses heliozentrischen Weltbildes von Nikolaus KOPERNIKUS (1473–1543) war die aus der Annahme, dass die Sonne im Mittelpunkt des Sonnensystems liegt, folgende Implikation, dass auch die Erde ein Planet analog anderen damals bekannte Planeten wie etwa dem Mars, der Venus oder dem Jupiter ist. Um dieses argumentative Ziel zu erreichen, nutzte GALILEI im *Dialogo* u. a. den von ihm neuentdeckten Umstand der Existenz von Jupitermonden und machte daraus folgendes Analogieargument:¹²⁶

Analog zur Erde, die vom Mond umkreist wird, wird auch der Jupiter von Monden umkreist, sogar von vier verschiedenen Monden.

Der Jupiter ist ein Planet. ~> Auch die Erde ist ein Planet wie der Jupiter.

Eine andere Form der Analogiebildung war folgende:

Die Erde wird vom Mond umkreist ~> also ist der Mond ein Planet der Erde.

Tatsächlich wurde der Mond in der antiken und mittelalterlichen Taxonomie aus genau diesem Grund stets unter die Gruppe der Planeten gezählt. Analog dazu gilt folgendes:

Die Sonne wird von der Erde umkreist ~> also ist die Erde ein Planet der Sonne.

Freilich: keines dieser Analogieargumente war zwingend. Viele Relationen von Objekten sind partiell aufeinander abbildbar, ohne dass aus diesen partiellen Analogien zwingend folgt, dass diese Objekte wirklich von ein und der selben Art sind, wie GALILEI es hier behauptet. Doch er hatte noch weitere Analogien zu verbuchen, die sein Argument unterstützten:

Der Mond zeigt auf seiner Bahn um die Erde Phasen, die von der partiellen Beschattung des Mondes durch die Erde herrühren.

Analog dazu hatte er nun mit seinem Teleskop beobachtet:

Die Venus zeigt auf ihrer Bahn um die Sonne Phasen. Woraus er dann folgerte:

~> also kreist die Venus um die Sonne (und nicht Venus und Sonne um die Erde).

Während alle bisherigen Analogieargumente nur die Kinematik des Sonnensystems betreffen, also die Frage, wer wen umkreist, fanden Analogieargumente bei GALILEI auch noch tiefer

125 Mit dieser Anspielung auf die oft angegriffene Unterscheidung Hans REICHENBACHS zwischen Entdeckungs- und Rechtfertigungskontext soll nicht behauptet werden, dass hier eine analytische Dichotomie vorliegt, wohl aber, dass es einen Unterschied macht, ob Analogien zur Erkenntnisfindung oder zur Verteidigung bereits gefundener Erkenntnisse eingesetzt werden.

126 Zum nachfolgenden siehe GALILEI 1632/1891/1982, hier insbesondere erster Tag. Zur Theorie der Analogie als Argumentation siehe hier den Haupttext weiter unten.

gehenden Einsatz als Mittel zur Aufbrechung der Aristotelischen Ontologie, die rigide zwischen supra- und sublunaren Objekten unterschied:

Erstere, ~> also alle Himmelsobjekte, waren ewig, unzerstörbar und vollkommen.

Letztere, ~> also alles Irdische, war vergänglich, unvollkommen und mit Reibung behaftet.

GALILEI beobachtete nun aber Folgendes:¹²⁷

Die Erde hat Krater, Berge, Vulkane und andere Unebenheiten der Oberfläche. Mit dem Teleskop hatte er ebensolche Krater und Berge auf dem Mond beobachtet; ~> also sind Erde und Mond analog zueinander.

Auch die Sonne hatte periodisch auf- und abschwellende dunkle Flecken; ~> also ist nicht nur der Mond (Krater, siehe oben), sondern auch die Sonne unvollkommen.

Mit diesen zuletzt angesprochenen Analogien eröffneten sich für GALILEI und KEPLER völlig neue Möglichkeiten in Richtung einer vereinheitlichten Mechanik von Himmel und Erde, die ihren Vorgängern schon aus ontologischen Gründen verwehrt geblieben waren, da sie kategorisch außerhalb des ihnen Denkmöglichen lagen.¹²⁸ Analogien vermögen also, ontologische Schranken zu durchbrechen. Dadurch schaffen sie die Option für neue Wissensorganisation.

Bohrs Analogie der Atomstruktur mit dem Planetensystem

Kontrastieren wir das Beispiel einer „schlechten“ Analogie bei ALGAROTTI noch mit der Verwendung des Planetensystems als Basis einer „guten“ Analogie beim dänischen Physiker Niels BOHR (1885–1962). Schon während seiner Ausbildung an der Universität Kopenhagen kam er in Kontakt mit dem dänischen Philosophen Harald HØFFDING (1843–1931), einem der tiefstinnigsten Wissenschaftstheoretiker der Analogie aller Zeiten. Inwieweit BOHR durch diese Grundausbildung im Rahmen des in Dänemark damals noch vorgeschriebenen Philosophikums für Naturwissenschaftler mit HØFFDINGS speziellen Ausführungen über Analogien in Kontakt kam, ist in der Historiographie bis heute umstritten.¹²⁹ Sicher ist allerdings, dass BOHR ein Lehrbuch von HØFFDING über Logik gründlich durcharbeitete und ihn auf einen Fehler hinwies, so dass von einer Kenntnis zumindest der Grundlinien von HØFFDINGS Philosophie auszugehen ist. Der Umstand, dass HØFFDING in mehreren Schriften die entscheidende Rolle von Analogien bei Denkvorgängen in der Wissenschaft ebenso wie im Alltagsdenken betonte¹³⁰ und Analogien 1924 sogar ein eigenes Buch widmete, dürfte auch seinen Studenten BOHR für den sinnvollen Gebrauch von Analogien sensibilisiert haben. Von seinem Mentor während eines *Postdoc*-Aufenthalts in Manchester, Ernest RUTHERFORD (1871–1937), übernahm BOHR die Idee, dass das Atom anders als damals allgemein angenommen in einem

127 Über GALILEIS Beobachtungen von 1609 und 1610 siehe GALILEIS *Sidereus Nuncius* (1610) in dt. Übersetzung (1980).

128 Tatsächlich finden sich erste Indizien für das Aufbrechen der Aristotelischen Grundunterscheidung zwischen supra- und sublunar schon bei den Impetustheoretikern des 14. Jahrhunderts und bei PHILOPONOS im 6. Jahrhundert n. Chr. siehe dazu HENTSCHEL 2009 und dort angeführte Primär- und Sekundärliteratur. Zu KEPLER siehe hier den Beitrag von Fritz KRAFFT und dort genannte weiterführende Literatur.

129 Siehe dazu die Debatte zwischen FAVRHOLDT 1992 und FAYE 1991 sowie HENTSCHEL 1994.

130 Siehe z. B. HØFFDING 1905: “All our knowledge, the spontaneous as well as the scientific, is therefore full of analogies” (S. 201) und “every formation of a general concept proceeds through analogy” (S. 202).

sehr kleinen und positiv geladenen Atomkern besteht, dessen Ladung durch negativ geladene Elektronen kompensiert wird. An diesem Punkt setzt nun die Modellierung eines solchen Systems durch BOHR an: Wie konnten diese negativ geladenen Elektronen um den positiven Kern verteilt sein, ohne durch elektrostatische Anziehung in den Kern hinein gezogen zu werden? Eine altbekannte Analogie der elektrostatischen Anziehung mit der Gravitation half ihm weiter: denn wodurch wurde ein analoges Hineinstürzen der Planeten auf die Sonne verhindert? Nur durch deren Bewegung, konkret: durch deren Umlauf um die Sonne, der eine Zentrifugalkraft erzeugt, die der anziehenden Gravitationskraft zwischen Planet und Sonne entgegenwirkt. Alle Bahnen der Planeten um die Sonne ergaben sich aus genau dieser Gleichsetzung zweier Kräfte. Diese harmlose Analogie zwischen Elektrizität und Gravitation leitete BOHR also auf ein Modell des Atoms, demzufolge die Elektronen auf ebensolchen Bahnen um den Atomkern kreisen. Schon jetzt sehen wir eine ganze Reihe von Ähnlichkeitsrelationen,¹³¹ wie dies für „gute“ Analogien im Unterschied zu Metaphern ja typisch ist:

Atomstruktur	~	Sonnensystem
Atomkern	~	Sonne
Elektronen	~	Planeten
Elektronenbahnen	~	Planetenbahnen
elektrostatische Anziehung	~	Anziehung zweier Massen
Elektrizität	~	Gravitation
Coulombkraft	~	Gravitationskraft

Soweit so gut. Es gab allerdings ein Problem mit dieser Analogie. Nach der klassischen Elektrodynamik muss nämlich jedes beschleunigte elektrisch geladene Teilchen Energie abstrahlen, wobei die Änderung seiner Energie mit der Zeit proportional zum Quadrat der jeweiligen Beschleunigung anwächst (das sogenannte Larmor-Theorem). Da physikalisch gesehen auch Kreisbahnen eine beschleunigte Bewegung darstellen (nicht die Größe, aber die Richtung der Geschwindigkeit des umlaufenden Teilchens ändert sich ständig) würde dies bedeuten, dass die umlaufenden Elektronen ständig an Energie verlieren und dadurch in ihrem Umlauf um den Atomkern immer langsamer werden. Irgendwann würde dann die Zentrifugalkraft nicht mehr ausreichen, um die Anziehungskraft zu kompensieren, und sie würden früher oder später auf einer immer stärker spiralförmigen Bahn in den Atomkern hineinstürzen. Damit wären diese elektrostatisch modellierten Atome instabil, ganz entgegen der bemerkenswerten Stabilität chemischer Atome.

Was wir an diesem Beispiel somit kennenlernen, ist die Eigendynamik einer solchen Analogie, die sehr häufig auf solche **Probleme mit Disanalogien** stößt, die sich früher oder später einstellen, wenn man die Analogie immer weiter ausbaut, also das Relationsnetz von Ähnlichkeitsbeziehungen immer weiter zu spannen versucht. Dem Larmor-Theorem der Elektrodynamik entspricht kein analoges Theorem der Gravitationstheorie, auch wenn man versuchen könnte, die spiralförmigen Bahnen eines solchen abstrahlungsgebremsten Elektrons durch Reibungskräfte zu modellieren: elektrostatisch gibt es keine „Reibung“.

Larmor-Theorem ($\dot{E} \sim a^2$) ~ ?

¹³¹ Für eine strengere Analyse dieser Analogien im Formalismus von GENTNERS *structure-mapping approach* siehe GENTNER 1983 (siehe oben Anm. 47), dort insbesondere das Diagramm S. 160; zur Genese des Bohrschen Atommodells ausführlicher: HEILBRON und KUHN 1969, MILANT'EV 2004.

Diese **Disanalogie zwischen Gravitation und Elektrizität** hatte alle Physiker vor BOHR (mit Ausnahme eines Japaners namens Hantaro NAGAOKA [1865–1950]) davon abgeschreckt, diese zunächst so naheliegende Analogie Ernst zu nehmen. Der junge Niels BOHR hingegen war wagemutig genug, sich über dieses Problem hinwegzusetzen. Da er die Voraussage einer solchen Larmor-Abstrahlung nicht umgehen konnte, blieb ihm nur ein Ausweg: Er musste die klassische Elektrodynamik aushebeln, d. h. für Anwendung auf die Physik von Atomen einfach für ungültig erklären. Er postulierte die Existenz bestimmter, stabiler Elektronenbahnen fester, quantisierter Energie, die von dieser Larmor-Abstrahlung angeblich nicht betroffen waren. Mit dieser *Ad-hoc*-Anpassung seines Modells erregte er zunächst den Unwillen und heftigen Widerspruch eines Großteils der *scientific community*, aber der Erfolg sollte ihm Recht geben. Wie war dieses Modell weiter auszubauen? Es lag nahe, noch eine weitere analogische Übersetzung vorzunehmen:

Umlaufszeit der Elektronen ~ Umlaufszeit der Planeten

Wie konnte diese Annahme nun mit beobachtbaren Größen in Verbindung gebracht werden? Anders als bei den Planeten „sah“ man ja die Elektronen nicht, konnte ihre Umlaufszeit und ihre sonstigen Bahnparameter nicht direkt messen. Was man beobachten konnte, waren lediglich Spektrallinien bestimmter Frequenzen ν , und zwar für jedes chemische Atom andere.¹³²

Etliche Naturforscher vor BOHR hatten sich auch schon diese Frage gestellt und immer vermutet, dass diese Spektrallinien direkt mit den Umlaufzeiten T (allgemeiner gesprochen mit den Anregungszuständen) der Elektronen im Atom zu tun haben müssten, also $\nu \sim 1/T$. BOHR machte nun aber einen zweiten, ebenso gewagten Schritt und postulierte 1913, dass die beobachteten Spektrallinien der Frequenz ν *nicht* wie $\nu \sim 1/T$ mit den Umlaufzeiten T der Elektronen korreliert waren, sondern dass diese Frequenzen das Ergebnis eines „Quantensprungs“ der Elektronen zwischen zwei Energieniveaus E_1 und E_2 waren: $\nu \sim (E_1 - E_2)$. Die Postulierung solcher „Quantensprünge“ – übrigens eine „bildschöne“ Metapher, von BOHR verwendet zur Unterfütterung eines auf einer Analogie basierenden Modells – war wiederum revolutionär, denn weder BOHR noch sonst irgendwer konnten begründen, warum ein solcher Quantensprung stattfinden sollte, was ihn auslöst und warum gerade jetzt und nicht früher oder später. Aber dieses dreiste Postulat bewährte sich, denn aus diesem Atommodell konnte BOHR nun z. B. die Serienformeln der Spektrallinien des Wasserstoffs u. a. Wasserstoffähnlicher Atome sowie etliche weitere empirisch testbare Voraussagen ableiten, die in den Folgejahren allesamt experimentell bestätigt wurden.¹³³

Die für BOHR so grundlegende Analogie zwischen Gravitation und Elektrizität erzwingt eigentlich von vornherein, nicht mit Kreisbahnen, sondern mit Ellipsenbahnen zu rechnen, wie KEPLER diese für die Planetenbewegung ja schon im 17. Jahrhundert berechnet hatte und wie NEWTON sie dann aus seiner Gravitationstheorie auch wieder ableiten konnte. Da es in BOHRs Atommodell nur auf die Energieniveaus der jeweiligen Elektronenbahnen ankam, hatte er zunächst aber nur mit Kreisbahnen gerechnet und kritische Nachfragen damit wegzubügeln versucht, dass er sagte, ellipsoidere Bahnen würden sich durch Larmor-Abstrahlung in den nicht-kreisförmigen Bahnteilen in Kreisbahnen zurückverwandeln. Das war eigent-

132 Zur visuellen Kultur der Spektroskopie des 19. Jahrhunderts und zum Aufschwung der Spektralanalyse, die diese Spektrallinien der Atome als eine Art Fingerabdruck jedes Atoms betrachtete, siehe HENTSCHEL 2002, insbesondere Kap. 2.4; ferner ebenda S. 438ff. zu dem durch BOHRs Atommodell im 20. Jahrhundert ausgelösten Umschwung der Repräsentationstechniken von Spektralkarten hin zu Termdiagrammen.

133 Für detailliertere Analysen siehe z. B. JAMMER 1966, Abschnitt 2.2; HOYER 1974, BENZ 1975.

lich unlogisch, da er ja selbst die klassische Elektrodynamik außer Kraft gesetzt hatte, aber es zeigt, wie stark er selbst noch in den alten Denkstrukturen befangen war. Nun schien es energetisch zunächst irrelevant, ob man Kreis- oder Ellipsenbahnen annimmt, aber nur, solange man im Rahmen der klassischen Mechanik und Gravitationstheorie verbleibt. Albert EINSTEIN hatte in seiner Relativitätstheorie allerdings gezeigt, dass sich normalerweise quantitativ äußerst geringfügige, aber für größer werdende Geschwindigkeiten und Massen immer erheblicher werdende Abweichungen zur klassischen Mechanik ergeben. Die Geschwindigkeiten der Elektronen auf ihren Bahnen um die Sonne waren, anders als die der Planeten bei ihrem Umlauf um die Sonne, bereits nicht mehr vernachlässigbar gering im Vergleich zur Lichtgeschwindigkeit, weshalb solche relativistischen Korrekturen in der Atomphysik auch nicht mehr vernachlässigbar waren. Darauf wies zuerst Arnold SOMMERFELD (1868–1951) hin, der BOHRS Atommodell daraufhin in zweifacher Weise ausbaute:

- (1.) durch Einführung ellipsoider Bahnen, wobei der Grad der Ellipsoidität ebenfalls nicht kontinuierlich variierte, sondern wie die Energieniveaus selbst auch quantisiert war;
- (2.) durch Berechnung relativistischer Korrekturen für die Energien derjenigen Bahnen, die besonders stark ellipsoid von der Kreisform abwichen.

Diese zweite Korrektur erklärt sich wiederum aus der basalen Analogie des Bohrschen Atommodells: Wie bei den Keplerbahnen der Planeten um die Sonne so befolgten auch die Elektronenbahnen um den Atomkern das zweite Keplersche Gesetz, demzufolge der Radiusvektor in gleichen Zeiten gleiche Flächen überschreitet. Planeten wie auch Elektronen bewegten sich also auf ellipsoiden Bahnen nahe dem anziehenden Zentralkörper schneller als weiter weg davon, und dieser Geschwindigkeitsunterschied war bei den Elektronen (anders als bei den Planeten) so beträchtlich, dass die dadurch entstehenden Energiedifferenzen nicht mehr vernachlässigt werden konnten. SOMMERFELDS Berechnungen zu dieser sogenannten relativistischen Feinstruktur der Bahnen konnten anhand spektroskopischer Präzisionsmessungen aus Tübingen experimentell bestätigt werden und stärkten das Vertrauen der *scientific community* in BOHRS Atommodell erheblich (wie übrigens auch in die damals noch bei weitem nicht allgemein akzeptierte Relativitätstheorie EINSTEINS).¹³⁴

Was uns diese hier etwas ausführlicher dargestellte Episode zu Niels BOHRS Atommodell zeigt, ist der sukzessive Ausbau einer Analogie (zwischen Planetensystem und Atomstruktur) und eines auf einer solchen Analogie basierenden Modells. Die recht lange Liste der durch die Ausgangsanalogie bereits übertragbaren Relationen zeigt, dass der Gedanke eines Aufbaus der Atome analog zum Aufbau unseres Sonnensystems einiges für sich hatte, also Anfangsplausibilität aufwies, in diesem Sinne also eine „vielversprechende“ Analogie war. Doch dann zeigte sich mit der Larmor-Formel eine erste Disanalogie, da es in der Gravitationsphysik nun mal keinen der Abstrahlung durch Beschleunigung analogen Energieverlust gibt. Erst nach BOHRS Überwindung dieser Disanalogie, die alle anderen Theoretiker abgeschreckt hatte, durch zwei äußerst radikale und gewagte Postulate, mit denen BOHR Teile der klassischen Physik für die Atomphysik „außer Kraft“ setzte, konnte BOHR sich daran machen, sein Modell weiter auszubauen, was dann ohne zusätzliche *Ad-hoc*-Annahmen durch natürliche Erweiterung des in der Fundamentalanalogie angelegten Relationsnetzes geschah und bis zur Ablösung dieses Bohr-Sommerfeldschen Atommodells durch die spätere Quantenmechanik etwa 10 Jahre lang viele wichtige Ergebnisse brachte. Dass dieses noch „semiklassische“ Atommodell aus heuti-

¹³⁴ Siehe dazu KRAGH 1984/85.

ger Perspektive unhaltbar ist, weil es z. B. noch das klassische Konzept von Bahnen benutzt, die nach der Unschärferelation HEISENBERGS so nicht nur nicht beobachtbar, sondern nicht existent sind, ändert nichts an der damaligen heuristischen Fruchtbarkeit dieses Modells.

Visuell-schematische Repräsentation dieser Analogie

Eines der von mir im mündlichen Vortrag auf der Stuttgarter Tagung sehr betonten Anliegen war das der klaren Wiedergabe von Analogien in Form von Diagrammen oder anderen visuell erfassbaren Schemata. Die vorwiegend diskursiv operierende Analyseform, wie sie in allen Geschichtswissenschaften bis heute üblich ist, hat das große Problem, die Komplexität der Relationsnetze, die in Analogien vom Basis auf den Zielbereich abgebildet werden, nicht adäquat wiedergeben zu können. Viel klarer als 1000 Worte ist da ein Diagramm, aus dem die in der Analogie zueinander in Beziehung gesetzten Relata, die Knotenpunkte und Seitenstränge der Netze von Relationen in dem Grad ihrer Übereinstimmung, aber auch in den verbleibenden Disanalogien, auf einen Blick überschaut werden können. Die vorhandene Literatur, insbesondere aus dem Bereich der Kognitionspsychologie, hat hierzu brauchbare Angebote und Methoden vorgelegt, mit denen diese Darstellung in Form von Diagrammen auf einfachem Wege erfolgen kann. Am Beispiel des Bohr-Sommerfeldschen Atommodells in Analogie zum Sonnensystem sollen diese Darstellungsformen hier kurz vorgestellt werden.

In dem folgenden Diagramm (Abb. 5) aus Dedre GENTNERS Pionieraufsatz von 1983 sehen wir zwei Netzwerke von zweistelligen Relationen (jeweils umkreist) zwischen Objekten (jeweils die nicht-umkreisten Worte), wobei die richtige Lesart der Relation durch die Markierung von S (Subjekt) und O (Objekt) an den Pfeilen angedeutet ist, also z. B. der Planet dreht sich um die Erde (zweite Relation von rechts) bzw. die Sonne ist heißer als der Planet (rechts außen).

Oben abgebildet wurde der für die Analogie wesentliche Ausschnitt des Relationswissens über das Sonnensystem, unten der entsprechende Ausschnitt zum Bohr-Sommerfeldschen Atommodell. Schon der flüchtige Vergleich dieser beiden Relationsnetze zeigt auffällige Ähnlichkeiten, insofern als vier der fünf Relationen des obigen Netzes sich auch im unteren zwischen den „analogen“ Relata wiederfinden. Die für die Analogie notwendige Ersetzung von „Sonne“ durch „Atomkern“ und von „Planet“ durch „Elektron“ wird im obigen Diagramm zusätzlich noch durch die gestrichelten Linien angedeutet, welche mit „M“ für *mapping*, also für die Abbildungsrelation als dem Hauptmerkmal von Analogien überschrieben sind. Man beachte, dass diese schematische Darstellung nicht nur die Güte der Analogie zu beurteilen erlaubt (wieviele Elemente des Relationsnetzes sind übertragbar?), sondern auch einige der Disanalogien beider Bereiche mit beinhaltet: Die fünfte (rechte) Relation ist nicht sinnvoll übertragbar und auch ganz oben ergibt sich eine Abweichung, denn der gravitativen Anziehung zwischen den Planeten untereinander steht eine elektrostatische Abstoßung der Elektronen voneinander gegenüber. Ein solches Diagramm erfasst genau den wesentlichen Strukturkern von Analogien und vermeidet überflüssigen verbalen Ballast.

Wenn man von den in Sprache gefassten Formulierungen von Analogien auszugehen hat, wie dies z. B. Linguisten und Kognitionspsychologen tun, wird der Schritt zu einer solchen schematischen Darlegung des Relationsnetzes nicht gleich gelingen, sondern man wird mit der Aufzeichnung einzelner von den Akteuren konstaterter Aussagen beginnen und aus diesen langsam ein solches Relationsnetz konstruieren. Dabei wird man zwischen einstelligen, zweistelligen und mehrstelligen Relationen unterscheiden müssen. „Der Planet dreht

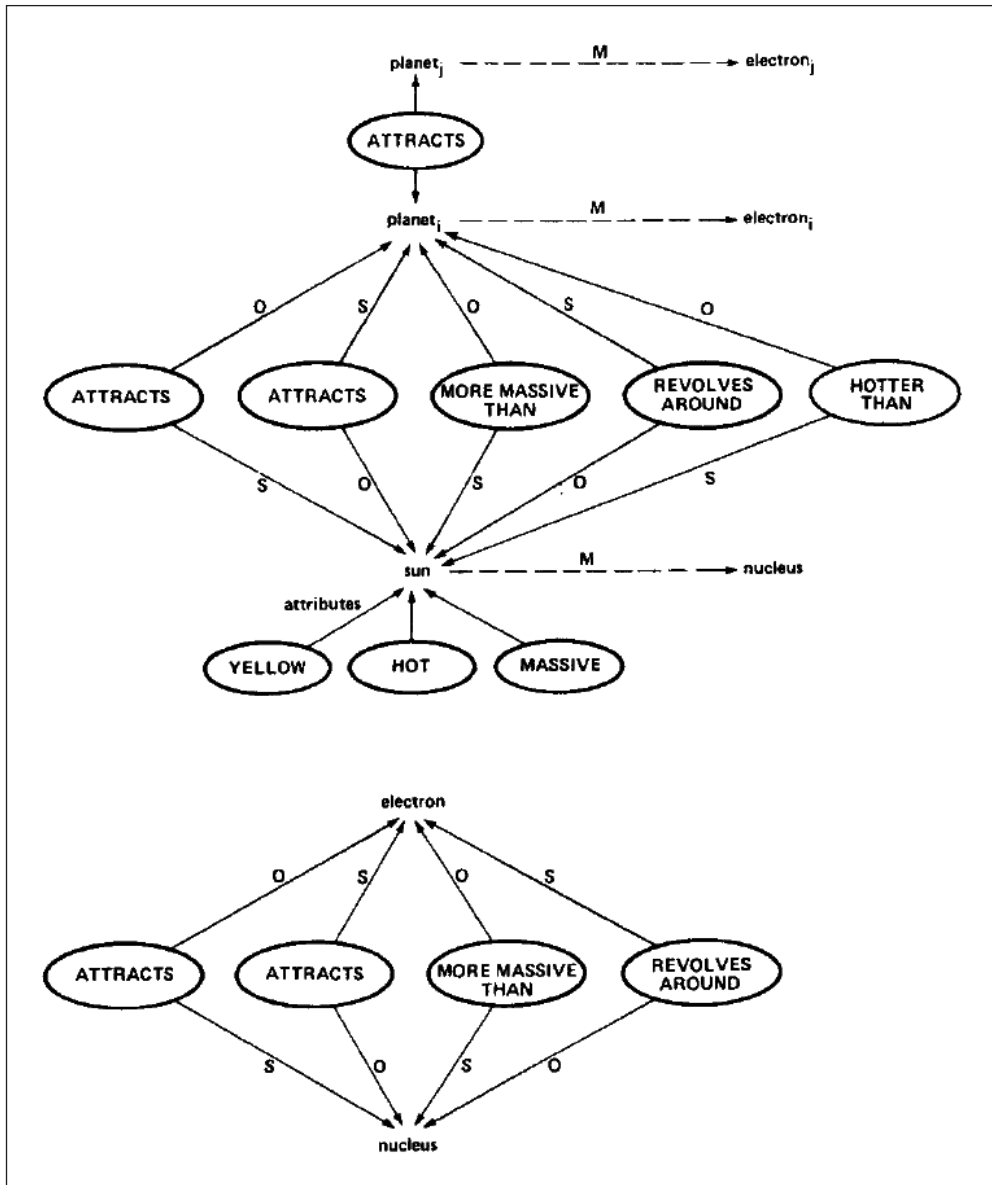


Abb. 5 Die Analogie zwischen dem Sonnensystem (oben) und dem Bohr-Sommerfeldschen Atommodell (unten). Aus GENTNER 1983, S. 160. Um diese Diagramme nicht mit Beschriftungselementen zu überlasten, schlage ich vor, die Pfeile nicht bijektiv auszulegen, sondern mit Richtungen zu versehen und dafür die S- und O-Beschriftungen wegzulassen.

sich um die Sonne“ ist beispielsweise eine zweistellige, geordnete Relation, die von Brian FALKENHAINER, Kenneth D. FORBUS und GENTNER in ihrer Strukturabbildungsmaschine (SME – *structure mapping engine*) als “REVOLVE (electron, nucleus)” wiedergegeben wurde.

“ATTRACTS (nucleus, electron)” bezeichnet eine zweite solche zweistellige Relation zwischen Elektron und Atomkern, während “AND” und “CAUSE” Relationen höherer Ordnung wiedergeben, die von links nach rechts gelesen werden sollen, also z. B. “OPPOSITE SIGN [of CHARGE as first-order relation] CAUSES ATTRACT[ion]”, usw. Durch Eingabe vieler, aber endlich vieler solcher Relationen in eine Datenbank wird ein umfangreiches Relationsnetz aufgespannt, das dann von Computersprachen der künstlichen Intelligenz gespeichert und auf Ähnlichkeiten zu anderen Relationsnetzen hin „abgeklopft“ werden kann. Dadurch wird, zumindest im Prinzip, die automatische maschinelle Erkennung von Analogien möglich.

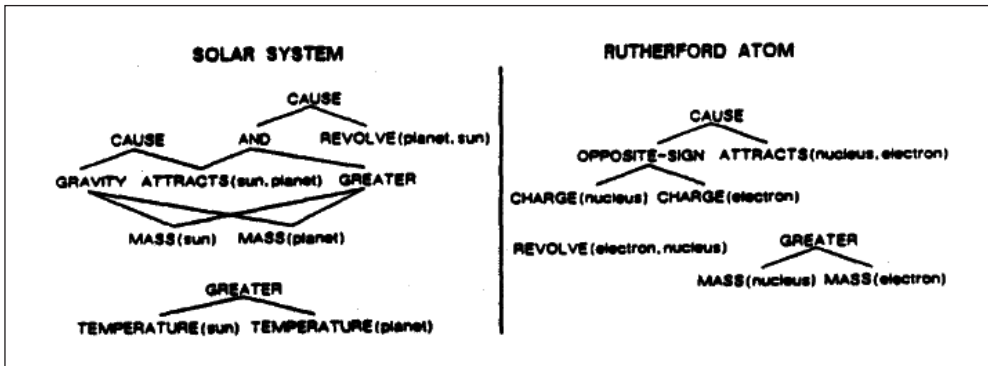


Abb. 6 Strukturanalogie Sonnensystem–Atom. Aus FALKENHAINER et al. 1990, S. 31f.

In den 1980er und 1990er Jahren war die Hoffnung groß, auf diese Art und Weise mit „künstlicher Intelligenz“ (KI) die Kreativität des Menschen bei der spontanen Formierung solcher Analogien modellieren und damit endgültig „verstehen“ zu können. Auch die große Zahl der im KI-Sektor sowie in der damit verzahnten Kognitionsforschung über Analogien publizierten Arbeiten hängt eng mit diesem Enthusiasmus zusammen. Inzwischen hat sich diese Euphorie gelegt, da sich gezeigt hat, dass es sehr viel schwieriger als erwartet ist:

- (1.) diese Datenbanken von Relationswissen so aufzubauen, dass sie dem „natürlichen“, gewachsenen Wissens eines Menschen auch nur annähernd entspricht;
- (2.) die Formalisierung der Datenbank von dem Erkenntnisinteresse bzw. dem Hinblick auf die damit dann zu formulierende Analogie unabhängig zu gestalten, denn eine Relation wie die obige “CAUSE (OPPOSITE SIGN ATTRACTS)” ist alles andere als „natürlich“ oder „intuitiv“, sondern schon stark auf die Analogie hin „getrimmt“;
- (3.) die Datenbanken hinreichend groß zu machen und in diesen großen Datenmengen dann gleichzeitig prioritäre Suchstrategien zu modellieren, die unsere unbewusste Auswahl im gegebenen Wissenshorizont leitet.

Status von Analogie-Argumenten und Analogie-basierten Modellen in der Naturforschung

Wie jetzt nicht zuletzt aufgrund des letzten historischen Beispiels des Bohr-Sommerfeldschen Atommodells klar geworden sein dürfte, haben auf Analogien basierende Modellvorstellungen

in der Naturwissenschaft stets nur eine begrenzte Geltungsdauer. Selbst in der Phase größten Enthusiasmus (etwa für das Bohr-Sommerfeldsche Atommodell zwischen 1913 und 1922 oder für die vereinheitlichten Fluidamodelle des ausgehenden 18. Jahrhunderts) konnte keiner der Akteure sich wirklich „sicher“ wähnen, dass dieses Modell weiterer Kritik standhalten würde. Wie Mario BUNGE es in polemischer Schärfe formulierte: “[...] arguments from analogy may be fertile but they are all invalid: their success, if any, does not depend on their form but on the nature of the case – whence there can be no logic of analogy. Analogies are bound to break down even if initially fertile.”¹³⁵ Trotz dieser eingebauten Zeitbombe, die Analogien und Modelle übrigens mit allen anderen Formen wissenschaftlicher Theoriebildung gemein haben, waren und sind Analogieargumente eine der verbreitetsten Formen wissenschaftlichen Argumentierens. Zu den eher bescheidenen Ansätzen einer Theorie der Analogie als Argumentationsform steht dies in einem krassen Missverhältnis.¹³⁶ In einer soeben publizierten Analyse verschiedener Typen wissenschaftlicher Argumente für und gegen die Einführung neuer Entitätsklassen am Beispiel der Klassifikation von Strahlungsformen zwischen 1700 und 1925 konnte ich zeigen, dass Analogieargumente in diesem Zeitraum nach Heterogenitätsargumenten sogar der zweithäufigst verwendete Typus von insgesamt 16 verschiedenen Argumentationstypen waren, den ich in diesem exemplarischen Themenfeld zwischen 1704 und 1922 nachweisen konnte.¹³⁷ Überhaupt dürfte der ganze Bereich der Klassifikationstätigkeit in der Wissenschaftspraxis einer der wichtigsten Sektoren für die Anwendung von Analogieargumenten sein – man denke nur an die großen Klassifikationssysteme der Naturgeschichte des 18. Jahrhunderts oder auch an die Klassifikation im Periodensystem der Elemente um 1869, die Lothar MEYER (1830–1895) und Dmitri Iwanowitsch MENDELEJEV (1834–1907) aufgrund der auffälligen Analogien in den chemischen und physikalischen Eigenschaften verschiedener Stoffklassen auf die Idee einer periodischen Anordnung in acht Hauptgruppen führten. Die an knappen, aber instruktiven wissenschaftshistorischen Beispielen ganz anderer Art reichen Studien etwa von Hélène METZGER oder Paul THAGARD lassen für andere Themenbereiche, die einer analogen Analyse noch unterzogen werden müssten, kein anderes Ergebnis erwarten. Diese Ubiquität analogischen Denkens sollte jedoch nicht darüber hinwegtäuschen, dass es historische Epochen und lokale Kontexte gab, in denen Analogien besonders geschätzt und gesucht waren, während sie in anderen, zumindest was das Selbstverständnis von Naturforschern betraf, weniger stark im Vordergrund standen. Neben der Antike und dem Mittelalter mit analogisch hochgradig angereicherten Praktiken wie etwa der Alchemie waren z. B. die Keplerzeit¹³⁸ um 1600 sowie die Sattelzeit der Jahre 1780–1820, während der insbesondere im deutschen Sprachraum die romantische Naturphilosophie blühte, solche Hochphasen ana-

135 BUNGE 1967, S. 267f.; für einen wenig ausgereiften Versuch, die Sicherheit analogen Schließens über den Isomorphiegrad zwischen Basis- u. Targetdomäne abzuschätzen, siehe WEITZENFELD 1984; in der Logik von SALMON 1983, S. 199, wächst der Reiz einer Analogie sogar mit der Verschiedenheit beider Bereiche!

136 Den Mangel guter systematischer Studien zu Analogieargumenten beklagt auch MENGEL 1995, S. 12ff., der leider in seiner eigenen Dissertation zum Thema an der Universität Hamburg außer einer Sichtung und Zusammenfassung der Literatur nichts wirklich weiterführendes beigetragen hat. Unter den von ihm genannten Publikationen noch am präzisesten DOROLLE 1949, COENEN 1982 über den Prädikatorenzusammenhang und Designatorserien, BURBIDGE 1991 über Analogien in Induktion und Deduktion sowie SCHMIDT 1995 für eine Beispielanalyse von GALILEIS Analogieargumenten. Für detailliertere Bibliographien siehe DAIBER 1991 sowie nach Perioden geordnet Manuel BACHMANN in GLOY und BACHMANN 2000, S. 24–34.

137 Siehe HENTSCHEL 2007a, insbesondere Kap. 8 und Anhang.

138 Speziell zu KEPLER siehe z. B. FIELD 1986, insbesondere S. 452f., GENTNER 2002, hier den Beitrag von Fritz KRAFFT und die dort zitierte weiterführende Literatur.

logischen Denkens.¹³⁹ Nach solchen „Blütephasen“ (eine wunderbare Metapher) gab es immer wieder aber auch Perioden, in denen die vormals so beliebten Analogien ausgesprochen verpönt waren. Besonders deutlich ist dies in zwei Epochen abzulesen:

- (1.) der betonten Nüchternheit der Mitglieder der 1660 gegründeten *Royal Society*, die sich – zumindest in ihrer Programmatik¹⁴⁰ – ganz klar abzusetzen versuchten von der von Analogien u. a. rhetorischen Redefiguren nur so strotzenden Renaissance-Periode; und
- (2.) im zweiten Drittel des 19. Jahrhunderts, als Vertreter eines neuen Ideals quantifizierender Naturforschung den vorangegangenen Blühträumen der romantischen Naturphilosophie eine herbe, ja polemische Absage erteilten.

So glaubte der selbst in seiner Jugend von den Denkfiguren der Romantik beeinflusste, sich davon dann aber in seiner weiteren Entwicklung schroff absetzende Chemiker Justus LIEBIG (1803–1873) in seinem Lehrbuch über organische Chemie 1840 Analogien sogar gleich für *alle* Fehler der bisherigen Naturforschung verantwortlich machen zu können, wobei er sich selbst dabei einer sehr gewagten Metapher bediente:

„Die Analogie hat die unglückliche Vergleichung der Lebensfunktionen der Pflanzen mit denen der Tiere in dem Bette des Procrustes erzeugt, sie ist die Mutter, die Gebärerin aller Irrtümer.“¹⁴¹

De facto haben allerdings weder LIEBIG noch der schwedische Chemiker Jöns Jakob BERZELIUS (1779–1848) als weiterer scharfer Kritiker der romantischen Naturphilosophie im frühen 19. Jahrhundert den Gebrauch von Analogien in ihrer eigenen Arbeit vermeiden können. Seit 1817 versuchte BERZELIUS beispielsweise, seine im Bereich der anorganischen Chemie so erfolgreiche elektrochemische Bindungstheorie auf die organische Chemie zu übertragen. Analog zum zusammengesetzten Ammoniumradikal NH_4 müsse es, so folgerte er in einem Analogieargument, auch bei organischen Verbindungen ein positiv geladenes, sauerstofffreies, zusammengesetztes Radikal C_xH_y geben.¹⁴² Der faktische Gebrauch von Analogien ist also nur bis zu gewissem Grade reduzierbar, aber die Einstellung zu Analogien, die Bewusstheit ihres Gebrauchs und die Begeisterung bzw. die verbleibenden Zweifel dabei sind starken Schwankungen unterworfen.

Eine offene Frage

Abgesehen von dieser ungleichen Zeitverteilung, die auf Konjunkturen oder gar Moden von Analogien mit wellenförmigen An- und Abflauen der Begeisterung¹⁴³ bei ihrem Gebrauch schließen lassen, kann man sich fragen, ob es darüber hinaus auch säkuläre Verschiebungen in der Art und Weise des Gebrauchs von Analogien gibt.¹⁴⁴ Nach Auffassung von Dedre GENT-

139 Zur Bedeutung der Analogie in der romantischen Naturbetrachtung und insbesondere in der Konzeption SCHELLINGS siehe z. B. BREIDBACH 1987, Kap. IV und dortige weiterführende Hinweise.

140 Deutlich z. B. in SPRAT 1667, kritisch analysiert und kontextualisiert in DEAR 1985; vgl. LEATHERDALE 1974, Kap. 6

141 Siehe LIEBIG 1840, S. 24; zu LIEBIGS Verhältnis zur romantischen Naturphilosophie vgl. z. B. CANEVA 1993.

142 Siehe dazu und zu weiteren Beispielen aus der Chemie des 18. und 19. Jahrhunderts SNELDERS 1994, S. 66ff.

143 Wie im vorigen ausführlich gezeigt wurde.

144 Siehe z. B. ARBER 1946; zum folgenden GENTNER und JEZIORSKI 1989.

NER und Michael JEZIORSKI sind die frühesten historischen Vorkommnisse etwa bei frühneuzeitlichen Alchemisten oder in der Antike durch weniger strenge Anwendung von Regeln gekennzeichnet, die die Beliebigkeit von Analogien einschränken und dem analogen Schließen zu mehr Stringenz verhelfen. Daraus könnte man ableiten, dass es der inflationäre Gebrauch von Analogien etwa in der frühneuzeitlichen Alchemie war, der in der Folge bei BACON, BOYLE u. a. Protagonisten der *novae scientiae* allererst zur Verfestigung dieser Regeln des Gebrauchs von Analogien geführt hat. Da in der gleichen Zeit GALILEI und KEPLER diese Regeln bereits implizit befolgt haben, können GENTNER und JEZIORSKI jenen "historical shift from metaphor to analogy" lediglich *innerhalb* von Wissensgebieten (*domain-specific*) verzeichnen, wobei die von ihnen nicht behandelte romantische Naturphilosophie dann eine Art „Rückfall“ in das vormoderne Ausufern des Analogisierens darstellen würde. Mit dieser Perspektive würden sich die Exegeten jener romantischen Denkform wie etwa Olaf BREIDBACH¹⁴⁵ allerdings wohl kaum einverstanden erklären, und auch ich finde die in ihr durchscheinende Whig-Historiographie auf die Wissenschaftsgeschichte als lineare Fortschrittsgeschichte zu stark simplifizierend. Viel hilfreicher als quasi-hegelianische Makroperspektiven auf hypostasierte säkulare Tendenzen sind genauere Analysen der mittleren Aggregationsstufe, z. B. zur Resonanz von konkretem Gebrauch von Analogieargumenten in konkreten Wissens- und Wissenschaftskontexten oder zur Funktion und „Logik“ von Analogieargumenten in wissenschaftstheoretischer, epistemologischer und systemtheoretischer Sicht. Und genau solche historischen oder/und systematischen Perspektiven sollen in den nun folgenden Einzelbeiträgen dieses Bandes eröffnet werden. Es handelt sich um den ersten Versuch einer interdisziplinären Zusammenschau von so vielen verschiedenen Wissens- und Technikfeldern, hervorgegangen aus einer vom Herausgeber organisierten wissenschaftlichen Tagung der Deutschen Akademie Leopoldina im März 2008 im Internationalen Begegnungszentrum (IBZ) der Universität Stuttgart stattgefunden hat.

Literatur

- ACHINSTEIN, Peter: Models, analogies and theories. *Philosophy of Science* 31, 328–350 (1964)
- ACHINSTEIN, Peter: *Concepts of Science: A Philosophical Analysis*. Baltimore: Johns Hopkins Univ. Press 1967
- D'AGOSTINO, Salvo: Boltzmann and Hertz on the *Bild*-conception of physical theory. *History of Science* 28, 380–398 (1990)
- ALGAROTTI, Francesco: *Le Newtonianisme pour les Dames*. Paris: Montalant 1738
- ALLERS, Rudolf: *Microcosmos. From Anaximander to Paracelsus*. *Traditio* 2, 319–407 (1944). Wiederabdruck New York: Cosmopolitan Science & Art Service 1994
- ARBER, Agnes Robertson: *Analogy in the history of science*. In: MONTAGU, Francis Ashley (Ed.): *Studies and Essays in the History of Science and Learning*; pp. 219–233. New York 1946
- BACON, Francis: *Novum organon* (1620). In engl. Übers.: *The New Organon and Related Writings*. Indianapolis: Bobbs-Merill 1979 (auch online verfügbar)
- BAILER-JONES, Daniela: *Mechanism past and present*. *Philosophia Naturalis* 42, 1–14 (2005)
- BENDEGEM, Jean Paul van: *Analogy and metaphor as essential tools for the working mathematician*. In: HALLYN, Fernand (Ed.): *Metaphor and Analogy in the Sciences*; pp. 105–124. Dordrecht: Kluwer 2000
- BENZ, Ulrich: *Arnold Sommerfeld*. Stuttgart: Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft 1975
- BERGGREN, Douglas: *The use and abuse of metaphor*. *Review of Metaphysics* 16, 236–258, 450–472 (1962/63)
- BLACK, Max: *Metaphor*. *Proceedings of the Aristotelian Society* 55, 273–294 (1954). Wiederabgedruckt in: BLACK (1962), S. 22–47, 259
- BLACK, Max: *Models and Metaphor*. Ithaca: Cornell Univ. Press 1962

145 Siehe insbesondere BREIDBACH 1987 sowie seinen Beitrag in diesem Band.

- BLACK, Max: More about metaphor. In: ORTONY, Andrew (Ed.): *Metaphor and Thought*; pp. 19–43. Cambridge Univ. Press 1979
- BODDE, Derk: *Chinese Thought, Society, and Science*. Honolulu: Univ. of Hawaii Press 1991
- BÖHME, Gernot: Der offene Leib. Eine Interpretation der Mikrokosmos-Makrokosmos-Beziehung bei Paracelsus. In: WULF, Christoph, und KAMPER, Dietmar (Hrsg.): *Logik und Leidenschaft. Erträge historischer Anthropologie*. S. 228–238. Berlin: Reimer 2002
- BOLTZMANN, Ludwig: Über die Methoden der theoretischen Physik. In: DYCK, Walther (Hrsg.): *Katalog mathematischer und mathematisch-physikalischer Modelle, Apparate und Instrumente*. Bd. 1, S. 89–98. München 1892
- BOLTZMANN, Ludwig: Model. In: *Encyclopedia Britannica*. 11. Aufl., Bd. 18, S. 638–640 (1902/1911)
- BONNER, John Tyler: Analogies in Biology. *Synthese* 5, 275–279 (1963)
- BRADLEY, James: A letter from the reverend Mr. James Bradley Savilian professor of astronomy at Oxford, and F. R. S. to Dr. Edmond Halley astronom. reg. &c. giving an account of a new discovered motion of the fix'd stars [1725]. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London* 35, 637–661 (1727)
- BRAITHWAITE, Richard B.: Models in the empirical sciences. In: NAGEL, Ernest, SUPPES, Patrick C., and TARSKI, Alfred (Eds.): *Logic, Methodology and Philosophy of Science*. Stanford Univ. Press, 1962. Wiederabgedruckt in: BRODY, Baruch A. (Ed.): *Readings in the Philosophy of Science*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall, 1970
- BREIDBACH, Olaf: *Der Analogieschluß in den Naturwissenschaften oder die Fiktion des Realen*. Frankfurt: Athenäum 1987
- BUCHANAN, Scott Milross: *Symbolic Distance in Relation to Analogy and Fiction*. London: Kegan Paul 1932
- BUNGE, Mario: Analogy in quantum theory: From insight to nonsense. *British Journal for the Philosophy of Science* 18, 265–286 (1967)
- BURBIDGE, John W.: On arguments from analogy. In: *Proceedings of the Second International Congress on Argumentation*; pp. 416–421. Amsterdam 1991
- CANEVA, Kenneth: *Robert Mayer and the Conservation of Energy*. Princeton Univ. Press 1993
- CANGUILHEM, Georges: The role of analogies and models in biological discovery. In: CROMBIE, Alistaire C. (Ed.): *Scientific Change*; pp. 507–520. London: Heinemann 1963
- CANTOR, Geoffrey N., and HODGE, Michael Jonathan S. (Eds.): *Conceptions of Ether. Studies in the History of Ether Theories 1740–1900*. Cambridge Univ. Press 1981
- CARTWRIGHT, Nancy, SHOMAR, Towfic, and SUÁREZ, Mauricio: The tool box of science. Tools for the building of models with superconductivity examples. *Poznan Studies in the Philosophy of the Sciences and Humanities* 44, 137–149 (1995)
- CAT, Jordi: On understanding Maxwell on the methods of illustration and scientific metaphor. *Studies in the History and Philosophy of Modern Physics* 32, 396–441 (2001)
- CHADAREVIAN, Soraya DE, and HOPWOOD, Nick (Eds.): *Models: The Third Dimension of Science*. Stanford Univ. Press 2004
- CHALMERS, Alan F.: The heuristic role of Maxwell's mechanical model of electromagnetic phenomena. *Studies in the History and Philosophy of Science* 17, 415–427 (1986)
- COENEN, Hans Georg: Die Rationalität des Analogie-Begriffs. *Grazer Linguistische Studien* 17/18, 31–46 (1982)
- DAIBER, Dietrich Lorenz: Actualid bibliografica de la analogia. *Analogia* 5, 169–203 (1991)
- DARDEN, Lindley, and RADA, Roy: Hypothesis formation using part-whole interrelations. In: HELMAN, David H. (Ed.): *Analogical Reasoning*; pp. 341–375. Dordrecht: Kluwer 1988
- DARRIGOL, Olivier: The analogy between light and sound in the history of optics from the ancient Greeks to Isaac Newton, Part I. *Centaurus* 52, 117–155 (2010)
- DARWIN, Charles Robert: *On the Origin of Species by Means of Natural Selection*. London: John Murray 1859. Wiederabdruck: London: Penguin Books 1962
- DASTON, Lorraine: Galilean analogies: Imagination at the bounds of sense. *Isis* 75, 302–310 (1984)
- DASTON, Lorraine: Analogies and the migration of scientific ideas. The strange career of the normal curve. *Nova Acta Leopoldina NF Bd. 97, Nr. 358*, 169–185 (2008)
- DEAR, Peter: Totius in verba: Rhetoric and authority in the early Royal Society. *Isis* 76/2 145–161 (1985)
- DIRKS, Ulrich, und KNOBLOCH, Eberhard (Hrsg.): *Modelle*. Frankfurt: Lang 2008
- DOROLLE, Maurice: *La Raisonnement par Analogie*. Paris: Presses Universitaires de France 1949
- DUHEM, Pierre: *Ziel und Struktur physikalischer Theorien*. Dt. Übersetzung von Friedrich ADLER. Hrsg. von Lothar SCHÄFER. Hamburg 1978 (orig. franz. 1906)
- DUIT, Reinders, und GLYNN, Shawn: Analogien – Brücken zum Verständnis. *Naturwissenschaften im Unterricht – Physik* 6. Heft 27, 4–10 (1995)
- DURAND-RICHARD, Marie-José (Ed.): *L'analogie dans la démarche scientifique. Perspective historique*. Paris: L'Harmattan 2008

- DYCK, Walther (Hrsg.): Katalog mathematischer und mathematisch-physikalischer Modelle, Apparate und Instrumente. Bd. 1. München 1892
- FALKENHAINER, Brian, FORBUS, Kenneth D., and GENTNER, Dedre: The structure-mapping engine. *Artificial Intelligence* 41, 1–63 (1990)
- FARBER, Eduard: Chemical discoveries by means of analogies. *Isis* 41, 20–26 (1950)
- FAUCONNIER, Gilles, and TURNER, Mark: Rethinking metaphor. In: GIBBS, Raymond W. (Ed.): *Cambridge Handbook of Metaphor and Thought*. Cambridge Univ. Press 2008
- FAVRHOLDT, David: Niels Bohr's Philosophical Background. Copenhagen: Munksgaard 1992
- FAYE, Jan: Niels Bohr – His Heritage and Legacy. Dordrecht: Kluwer 1991
- FEHRENBACH, Frank: ‚Mikrokosmos‘ und ‚zweite Natur‘ – Krise einer naturphilosophischen Analogie. In: INGENSIEP, Hans-Werner, und HOPPE-SAILER, Richard (Hrsg.): *Naturstücke. Zur Kulturgeschichte der Natur*. S. 42–68. Ostfildern 1996
- FELLMETH, Ulrich, und KOTHEDE, Andreas (Hrsg.): *Paracelsus – Theophrast von Hohenheim. Naturforscher, Arzt und Theologe*. Stuttgart: Wiss. Verlagsgesellschaft 1993
- FIELD, Judith Veronica: Two mathematical inventions in Kepler's ad Vitellionem paralipomena. *Studies in the History and Philosophy of Science* 17, 449–468 (1986)
- FISCHER, David Hackett: *Historians' Fallacies. Toward a Logic of Historical Thought*. New York: Harper Torchbooks 1970
- FITZGERALD, George Francis: On an analogy between electric and thermal phenomena. *Scientific Proceedings of the Royal Dublin Society* iv, part III, 439–442 (1884)
- FITZGERALD, George Francis: On a model illustrating some properties of the ether. *Scientific Proceedings of the Royal Dublin Society* iv, part VIII, 407–419 (1885)
- FITZGERALD, George Francis: [Foundations of Physical Theory; Function of Models]. (Zu Lebzeiten unpubl. Mss, nicht nach 1888 verfaßt.) Publ. in: FITZGERALD 1902
- FITZGERALD, George Francis: *Scientific Writings*. Ed. by Joseph LARMOR. London, Dublin 1902
- FLUDD, Robert: *Mosaical Philosophy*. London: Moseley, 1659
- FRÄNKEL, Hermann: Eine Heraklitische Denkform. In: FRÄNKEL, Hermann: *Wege und Formen frühgriechischen Denkens. Literaturwissenschaftliche und philosophiegeschichtliche Studien*. S. 253–283. München: Beck 1955
- FRANCOEUR, Eric: The forgotten tool: The design and use of molecular models. *Social Studies of Science* 27, 7–40 (1997)
- GALILEI, Galileo: *Sidereus Nuncius* (1610). In dt. Übersetzung mit Einführung herausgegeben von Hans BLUMENBERG. Frankfurt (Main): Suhrkamp 1980
- GALILEI, Galileo: *Dialogo sopra il duemassimi sistemi* (1632). In dt. Übers. als: *Dialoge über die beiden hauptsächlichen Weltssysteme*. Leipzig 1891 bzw. Wiederabdruck Darmstadt 1982
- GALISON, Peter: Descartes's comparisons from the invisible to the visible. *Isis* 75, 311–326 (1984)
- GENTNER, Dedre: Structure-mapping: A theoretical framework for analogy. *Cognitive Science* 7, 155–170 (1983)
- GENTNER, Dedre: Metaphor as structure mapping: The relational shift. *Child Development* 59, 47–59 (1988)
- GENTNER, Dedre: Mechanisms of analogical learning. In: VOSNIADOU, Stella, and ORTONY, Andrew (Eds.): *Similarity and Analogical Reasoning*; pp. 199–241. Cambridge Univ. Press 1989
- GENTNER, Dedre: Analogy in scientific discovery: The case of Johannes Kepler. In: MAGNANI, Lorenzo, and NERSESIAN, Nancy J. (Eds.): *Model-based Reasoning: Science, Technology, Values*; pp. 21–39. New York 2002
- GENTNER, Dedre, and BOWDLE, Brian: Metaphor processing, psychology of. In: *International Encyclopedia of the Social and Behavioural Sciences*; pp. 18–21. Amsterdam: Elsevier 2002
- GENTNER, Dedre, and BOWDLE, Brian: The career of metaphor. *Psychological Review* 112, 193–216 (2005)
- GENTNER, Dedre, and COLHOUN, Julie: Analogical processes in human thinking and learning. In: GLATZEDER, Britt M., GOEL, Vinod, and MÜLLER, Albrecht VON: *On Thinking*. Bd. 2: *Towards a Theory of Thinking*. Berlin: Springer 2009 (im Erscheinen, als preprint online downloadbar unter http://www.psych.northwestern.edu/psych/people/faculty/gentner/papers/Gentner-Colhoun_in_press.pdf)
- GENTNER, Dedre, BOWDLE, Brian F., WOLFF, Phillip, and BORONAT, Consuela: Metaphor is like analogy. In: GENTNER, Dedre, HOLYOAK, Keith J., and KOKINOV, Boicho N. (Eds.): *The Analogical Mind: Perspectives from Cognitive Science*; pp. 199–254. Cambridge, Mass: MIT Press 2001a
- GENTNER, Dedre, HOLYOAK, Keith J., and KOKINOV, Boicho N. (Eds.): *The Analogical Mind: Perspectives from Cognitive Science*. Cambridge, Mass: MIT Press 2001b
- GENTNER, Dedre, and JEZIORSKI, Michael: Historical shifts in the use of analogies in science. In: *Psychology of Science: Contributions to Metascience*; pp. 296–325. Cambridge Univ. Press 1989; sowie wiederabgedruckt in: ORTONY, Andrew (Ed.): *Metaphor and Thought*; Kap. 20, pp. 447–480. 2. erweiterte Aufl. 1993
- GENTNER, Dedre, and TOUPIN, Cecile: Systematicity and surface similarity in the development of analogy. *Cognitive Science* 10, 277–300 (1986)

- GICK, Mary L., and HOLYOAK, Keith J.: Analogical problem solving. *Cognitive Psychology* 12, 306–355 (1980)
- GICK, Mary L., and HOLYOAK, Keith J.: Schema induction and analogical transfer. *Cognitive Psychology* 15, 1–38 (1983)
- GLOY, Karen, und BACHMANN, Manuel (Hrsg.): Das Analogiedenken. Vorstöße in ein neues Gebiet der Rationalitätstheorie. Freiburg; München: Alber 2000
- GROTE, Andreas (Hrsg.): Macrocosmos in microcosmos: die Welt in der Stube; zur Geschichte des Sammelns 1450 bis 1800. Opladen: Leske & Budrich 1994
- GRUBER, Howard E.: Creativity: An evolving systems approach. In: NICKLES, Thomas (Ed.): *Scientific Discovery: Case Studies*; pp. 113–130. Dordrecht: Reidel 1980
- GUARINI, Marcello, BUTCHART, Amy, SMITH, Paul Simard, and MOLDOVAN, Andrei: Resources for research on analogy: A multi-disciplinary guide. *Informal Logic* 29/2, 84–197 (2009)
- HALFORD, Graeme S.: A structure-mapping approach to cognitive development. *International Journal of Psychology* 22, 609–642 (1987)
- HALPERN, Diane F.: Analogies as a critical thinking skill. In: BERGER, Dale E., PEZDEK, Kathy, and BANKS, William P. (Eds.): *Applications of Cognitive Psychology. Computing and Education*; pp. 75–86. Hillsdale N. J.: Erlbaum 1987
- HALPERN, Diane F.: *Thought and Knowledge: An Introduction to Critical Thinking*. Mahwa, N. J.: Lawrence Erlbaum 3. Aufl. 1996
- HALPERN, Diane F., HANSEN, Carol, and RIEFER, David: Analogies as an aid to understanding and memory. *Journal of Educational Psychology* 82, 298–305 (1990)
- HANKINS, Thomas L.: *Sir William Rowan Hamilton*. Baltimore, London: Johns Hopkins University Press 1980
- HANSON, Norwood Russell: *Patterns of Discovery. An Inquiry into the Conceptual Foundations of Science*. Cambridge Univ. Press 1958 (u. öfter)
- HARMAN, Peter: *Energy, Force, and Matter*. Cambridge Univ. Press, 1982
- HARRÉ, Rom: Models, metaphors and analogies in science. *International Studies in the Philosophy of Science* 2/2, 118–136 (1988)
- HARRINGTON, Anne: Metaphoric connections: Holistic science in the shadow of the Third Reich. *Social Research* 62/2, 357–385 (1995)
- HEILBRON, John: Weighing imponderables and other quantitative science around 1800. *Historical Studies in the Physical Sciences* 24, Suppl. (1993)
- HEILBRON, John, and KUHN, Thomas S.: The genesis of the Bohr atom. *Historical Studies in the Physical Sciences* 1, 211–290 (1969)
- HENTSCHEL, Klaus: Rezension von Jan Faye: Niels Bohr – his heritage and legacy. *Archives Internationales d'Histoire des Sciences* 44, 429–431 (1994)
- HENTSCHEL, Klaus: Heinrich Hertz's mechanics: A model for Werner Heisenberg's April 1925 paper on the anomalous Zeeman effect. In: BAIRD, Davis, HUGHES, R. I. G., and NORDMANN, Alfred (Eds.): *Heinrich Hertz: Classical Physicist, Modern Philosopher*; pp. 183–223. Dordrecht: Reidel 1998
- HENTSCHEL, Klaus: *Mapping the Spectrum. Techniques of Visual Representation in Research and Teaching*. Oxford Univ. Press 2002
- HENTSCHEL, Klaus: Unsichtbares Licht? Dunkle Wärme? Chemische Strahlen? Eine wissenschaftshistorische und -theoretische Analyse von Argumenten für das Klassifizieren von Strahlungssorten 1650 – 1925 mit Schwerpunkt auf den Jahren 1779 – 1850. Stuttgart: GNT-Verlag 2007a
- HENTSCHEL, Klaus: Zur Bedeutung von Analogien in Naturwissenschaften. *Scientia Poetica* 11, 241–275 (2007b)
- HENTSCHEL, Klaus: Zur Begriffs- und Problemgeschichte von „Impetus“. In: YOUSEFI, Hamid Reza (Hrsg.): *Das Wagnis des Neuen. (Festschrift für Prof. Dr. Klaus Fischer.) Trier 2009*
- HERRMANN, Friedrich: Eine Analogie zwischen Mechanik, Elektrizitätslehre, Wärmelehre und Stofflehre. *PdN PhiS* 55/2, 2–5 (2006)
- HERTZ, Heinrich: *Die Prinzipien der Mechanik*. Leipzig: Barth 1894
- HESSE, Mary B.: Models in physics. *British Journal for the Philosophy of Science* 4, 198–214 (1954)
- HESSE, Mary B.: On defining analogies. *Proceedings of the Aristotelian Society* 60, 79–100 (1959/60)
- HESSE, Mary B.: Analogy and confirmation theory. *Philosophy of Science* 31, 319–327 (1964)
- HESSE, Mary B.: The explanatory function of metaphor. In: BAR-HILLEL, Yehoshua (Ed.): *Logic, Methodology and Philosophy of Science. Proceedings of the 1964 International Congress*; pp. 249–259. Amsterdam: North Holland Publ. 1965a
- HESSE, Mary B.: Aristotle's logic of analogy. *Philosophical Quarterly* 15, 328–340 (1965b)
- HESSE, Mary B.: *Models and Analogies in Science*. Notre Dame Univ. Press 1966
- HESSE, Mary B.: Models and analogy in science. *Encyclopedia of Philosophy* 4, 354–359 (1967)

- HOBBS, Thomas: *Leviathan*. Crawford B. MACPHERSON (Ed.). London: Penguin Books 1968
- HØFFDING, Harald: On analogy and its philosophical importance. *Mind* 14, 199–209 (1905)
- HØFFDING, Harald: *Der Begriff der Analogie*. Leipzig: O. R. Reisland 1924
- HOFFMANN, Christoph, and BERZ, Peter (Hrsg.): *Über Schall*. Ernst Machs und Peter Salchers Geschoßfotografien. Göttingen: Wallstein-Verlag 2001
- HOLYOAK, Keith J.: The pragmatics of analogical transfer. In: BOWER, Gordon H. (Ed.): *The Psychology of Learning and Motivation* 19, 59–87 (1985)
- HOLYOAK, Keith J.: *Mental Leaps: Analogy in Creative Thought*. Cambridge, Mass.: MIT Press 1995
- HOLYOAK, Keith J., JUNN, Ellen N., and BILLMAN, Dorrit O.: Development of analogical problem-solving skill. *Child Development* 55, 2042–2055 (1984)
- HOLYOAK, Keith J., and THAGARD, Paul: Analogical mapping by constraint satisfaction. *Cognitive Science* 13, 295–355 (1989)
- HOYER, Ulrich: *Die Geschichte der Bohrschen Atomtheorie*. Weinheim: VCH 1974
- HUTTEN, Ernest Hirschclaff: The role of models in physics. *British Journal for the Philosophy of Science* 4, 284–301 (1953/54)
- HUTTEN, Ernest Hirschclaff: *The Language of Modern Physics*. New York: Macmillan 1956
- IRMSCHER, Johannes: *Die Analogie*. Versuch einer Wortgeschichte. *Wissenschaftliche Zeitschrift der Universität Rostock, geisteswiss. Reihe* 37, 4–6 (1988)
- JAMES, William: *Principles of Psychology*. 2 Vol. New York: Holt 1890
- JAMMER, Max: *Die Entwicklung des Modellbegriffs in den physikalischen Wissenschaften*. *Studium Generale* 18, 166–173 (1965)
- JAMMER, Max: *The Conceptual Development of Quantum Mechanics*. New York: McGraw-Hill 1966
- JEVONS, William Stanley: *The Principles of Science*. (1. Aufl. 1874) London: MacMillan 1920
- JONES, Roger S.: *Physics as Metaphor*. Minneapolis: Univ. of Minnesota Press 1982
- KARGON, Robert: Model & analogy in Victorian science. Maxwell's critique of the french physicists. *Journal for the History of Ideas* 30, 423–436 (1969)
- KAULBACH, Friedrich: *Modell*. In: RITTER, Joachim, und GRÜNDER, Karlfried (Hrsg.): *Historisches Wörterbuch der Philosophie*. Bd. 6, Sp. 45–47. Basel: Schwabe 1984
- KEANE, Mark T., LEDGEWAY, Tim, and DUFF, Stuart: Constraints on analogical mapping. A comparison of three models. *Cognitive Science* 18, 387–438 (1994)
- KEMP, Martin: *Leonardo da Vinci: Experience, Experiment and Design*. London: Victoria and Albert Museum, 2006
- KEYNES, John Maynard: *A Treatise on Probability*. London: Macmillan 1921
- KIPNIS, Nahum: Scientific analogies and their use in teaching science. *Science and Education* 14, 199–233 (2005)
- KITTAY, Eva, and LEHRER, Adrienne: Semantic fields and the structure of metaphor. *Studies in Language* 5, 31–63 (1981)
- KLEIN, Martin: Mechanical explanation at the end of the 19th century. *Centaurus* 19, 58–82 (1972)
- KLEIN, Ursula: *Verbindung und Affinität: die Grundlegung der neuzeitlichen Chemie an der Wende vom 17. zum 18. Jahrhundert*. Basel: Birkhäuser 1994
- KLOTTER, Karl: Die Analogie zwischen elektrischen und mechanischen Schwingungen. *Ingenieurarchiv* 18, 291–301 (1950)
- KLUXEN, Wolfgang: *Analogie I*. In: RITTER, Joachim (Hrsg.): *Historisches Wörterbuch der Philosophie*. Bd. 1, Sp. 214–227. Darmstadt 1971
- KNORR-CETINA, Karin: The scientist as an analogical reasoner: A critique of the metaphor theory of innovation. *Communication & Cognition* 13, 183–208 (1980)
- KOPPE, Franz: *Metapher*. In: *Enzyklopädie Philosophie und Wissenschaftstheorie* 2, 867–870 (1995)
- KRAGH, Helge: The fine structure of hydrogen and the gross structure of the physics community. *Historical Studies in the Physical Sciences* 15, 67–125 (1984/85)
- KROES, Peter A.: Structural analogies between physical systems. *British Journal for the Philosophy of Science* 40, 145–154 (1989)
- LAKOFF, George, and JOHNSON, Mark: *Metaphors We Live by*. University of Chicago Press 1980. In dt. Übers.: *Leben in Metaphern*. Konstruktion und Gebrauch von Sprachbildern. Heidelberg: Auer, 4. Aufl. 2004
- LAKOFF, George, and JOHNSON, Mark: Conceptual metaphor in everyday language. *The Journal of Philosophy* 77, 453–487 (1980)
- LAUDAN, Larry: The clock metaphor and probabilism: The impact of Descartes on english methodological thought, 1650 – 1665. *Annals of Science* 22, 73–104 (1966)
- LEATHERDALE, William Hilton: *The Role of Analogy, Model and Metaphor in Science*. Amsterdam: North Holland Publ. 1974

- LEVIN, Samuel R.: *The Semantics of Metaphor*. Baltimore: Johns Hopkins 1977
- LIEBIG, Justus: *Die organische Chemie in ihrer Anwendung auf Agrikultur und Physiologie*. Braunschweig: Vieweg 1840
- LLOYD, Geoffrey E. R.: *Polarity and Analogy. Two Types of Argumentation in Early Greek Thought. Teil II*. Cambridge Univ. Press 1966
- LLOYD, Geoffrey E. R.: *Analogy in early Greek thought*. In: WIENER, Philip P. (Ed.): *Dictionary of the History of Ideas. Vol. 1*, pp. 60–63. New York: Scribners 1968
- LO, Yuet Keung: *From analogy to proof. An inquiry into the Chinese mode of knowledge*. *Monumenta Serica* 43, 141–158 (1995)
- LODGE, Sir Oliver J.: *Neueste Anschauungen über Elektrizität*. Hrsg. von Richard WACHSMUTH, übersetzt von Anna von MOHL von HELMHOLTZ und Estelle DU BOIS-REYMOND. Leipzig: Barth 1896
- LORENZ, Konrad Z.: *Analogy as a source of knowledge. Nobel Lecture, Dec. 12, 1973*. In: *Les Prix Nobel en 1973*, Stockholm, 1974 (bzw. unter nobelprize.org online im Internet verfügbar)
- MAASEN, Sabine, and WEINGART, Peter: *Metaphors and the Dynamics of Knowledge*. London: Routledge 2000
- MACH, Ernst: *Die Ähnlichkeit und Analogie als Leitmotiv der Forschung*. In: MACH, Ernst: *Erkenntnis und Irrtum. Skizzen zu einer Psychologie der Forschung*. Leipzig: Barth, 1. Aufl. 1905, 5. Aufl. 1926
- MAXWELL, James Clerk: *On Faraday's lines of force (1855)*. Wiederabdruck in: MAXWELL, James Clerk: *Scientific Papers*. Ed. by W. D. NIVEN. Vol. 1, pp. 158–229. Cambridge Univ. Press 1890 (bzw. Reprint New York: Dover)
- MAXWELL, James Clerk: *On physical lines of force (1862)*. Wiederabdruck in: MAXWELL, James Clerk: *Scientific Papers*. Ed. by W. D. NIVEN. Vol. 1, pp. 451–513. Cambridge Univ. Press 1890 (bzw. Reprint New York: Dover)
- MAXWELL, James Clerk: *Scientific Papers*. Ed. by William Davidson NIVEN. Cambridge Univ. Press 1890 (bzw. Reprint New York: Dover)
- McREYNOLDS, Paul: *The clock metaphor in the history of psychology*. In: NICKLES, Thomas (Ed.): *Scientific Discovery: Case Studies*; pp. 97–112. Dordrecht: Reidel 1978
- MELLOR, David Hugh: *Models and analogies in science: Duhem versus Campbell*. *Isis* 59, 282–290 (1968)
- MENGEL, Peter: *Analogien als Argumente*. Frankfurt, Bern, New York: Lang 1995
- METZGER, Hélène: *Les conceptions scientifiques*. Paris: Alcan 1926
- MILANT'EV, V. P.: *Creation and development of Bohr's theory*. *Physics Uspekhi* 47, 197–203 (2004)
- MILL, John Stuart: *A System of Logic Ratiocinative and Inductive, Being a Connected View of the Principles of Evidence, and the Methods of Scientific Investigation (1. Ed. London 1843), hier zitiert nach der 8. Aufl. New York: Harper & Brothers 1887*
- MINDEL, Joseph: *The use of metaphor: Henry Adams and the symbols of science*. *Journal for History of Ideas* 26, 89–102 (1965)
- MOYER, Donald F.: *Energy, dynamics, hidden machinery: Rankine, Thomson and Tait, Maxwell*. *Studies in the History and Philosophy of Science* 8, 251–269 (1977)
- MÜLLER, Roland: *Zur Geschichte des Modelldenkens und des Modellbegriffs*. In: STACHOWIAK Herbert (Hrsg.): *Modelle – Konstruktion der Wirklichkeit*. S. 17–86. München: Wilhelm Fink Verlag 1983 (bzw. online, Zugriff 2.8.2007): <http://www.muellerscience.com/MODELL/Begriffsgeschichte/GeschichtedesModelldenkens1978-79.htm>
- NAGEL, Ernest: *The Structure of Science*. New York: Harcourt, Brace & World 1961
- NERSESSIAN, Nancy J.: *Reasoning from imagery and analogy in scientific concept formation*. *PSA I*, 41–47 (1988)
- NERSESSIAN, Nancy J.: *Maxwell and the 'Method of physical Analogy'. Model-based reasoning, generic abstraction, and conceptual change*. In: MALEMENT, David B. (Ed.): *Reading Natural Philosophy. Essays in the History and Philosophy of Science and Mathematics*; pp. 129–166 Chicago; La Salle: Open Court 2002
- OPPENHEIMER, Robert: *Analogy in science*. *American Psychologist* 11, 127–135 (1956)
- PARK, Katherine: *Bacon's enchanted glass*. *Isis* 75, 290–302 (1984)
- PARK, Katherine, DASTON, Lorraine, and GALISON, Peter: *Bacon, Galileo, and Descartes on imagination and analogy*. *Isis* 75, 278–290 (1984)
- PERELMAN, Charles: *Analogie et métaphore en science, poésie et philosophie*. *Revue Internationale de Philosophie*. 23. Année (Sonderheft 87: L'Analogie), 3–15 (1969)
- PERELMAN, Charles, and OLBRECHTS-TYTECA, Lucie: *The New Rhetoric. A Treatise on Argumentation*. Notre Dame Univ. Press 1969, erweiterte Neuauflage 2000 (franz. Orig.: *Traité de l'argumentation*. Paris 1958)
- POUILLET, Claude Servais Matthias: *Note sur un moyen de mesurer des intervalles de temps extrêmement courts, ... Comptes Rendus hebdomadaires de l'Académie des Sciences, Paris* 19, 1384–1389 (1839)
- PRANDTL, Ludwig: *Eine neue Darstellung der Torsionsspannungen bei prismatischen Stäben von beliebigem Querschnitt*. *Jahresbericht der Deutschen Mathematiker-Vereinigung* 13, 31–36 (1904)
- PSILLOS, Stathis: *The cognitive interplay between theories and models: The case of 19th century optics*. *Poznan Studies in the Philosophy of the Sciences and Humanities* 44, 105–133 (1995)

- RADMAN, Zdravko: The multidimensionality of metaphor. *Synthesis Philosophica* 11, 3–8 (1991)
- RANDALL, Lisa: *Verborgene Universen. Eine Reise in den extradimensionalen Raum*. Frankfurt: Fischer 2006 (engl. Orig.: *Warped Passages. Unravelling the Mysteries of the Universe*. New York: Harper Collins 2005)
- REDHEAD, Michael: Models in physics. *British Journal for the Philosophy of Science* 31, 145–163 (1980)
- REGENBOGEN, Otto: Eine Forschungsmethode antiker Naturwissenschaft. *Quellen und Studien zur Geschichte der Mathematik, Astronomie und Physik, Abt. B, I*, 131–182 (1931)
- REICHENBACH, Hans: *The Rise of Scientific Philosophy*. Berkeley: Univ. of California Press 1957
- RICHTER, Jean Paul: *The Notebooks of Leonardo da Vinci*. London 1888
- ROTHBART, Daniel: The semantics of metaphor and the structure of science. *Philosophy of Science* 51, 595–615 (1984)
- RUSE, Michael: The value of analogical models in science. *Dialogue* 12, 246–253 (1973)
- SALMON, Wesley C.: *Logik*. Stuttgart: Reclam 1983
- SARLEMIJN, Andries: Analogy, analysis and transistor research. *Methodology and Science* 20/1, 40–61 (1987)
- SARLEMIJN, Andries, and KROES, Peter A.: Technological analogies and their logical nature. In: DURBIN, Paul T. (Ed.): *Technology and Contemporary Life*; pp. 237–255. Dordrecht: Reidel 1988
- SCHADEWALDT, Wolfgang: *Die Anfänge der Philosophie bei den Griechen. Die Vorsokratiker und ihre Voraussetzungen*. Frankfurt: Suhrkamp 1978
- SCHARRER, Ernst: Anatomy and the concept of analogy. *Science New Series* 103, 578–579 (1946)
- SCHIEMANN, Gregor: *Wahrheitsgewißheitsverlust*. Darmstadt: Wissenschaftliche Buchgesellschaft 1997
- SCHLEINER, Winfried: *The Imagery of John Donne's Sermons*. Providence: Brown Univ. 1970
- SCHLIMM, Dirk: Two ways of analogy: Extending the study of analogies to mathematical domains. *Philosophy of Science* 75, 178–200 (2008)
- SCHMÄLZLE, Peter: Intelligentes Wissen aufbauen. *Physik-Journal* 8/4, 41–44 (2009)
- SCHMIDT, Gunnar: *Medienästhetik. Splashes & Flashes*. online unter <http://www.medien.aesthetik.de/medien/high-speed.html> (Zugriff zuletzt am 7.9.2008).
- SCHMIDT, Ursula: Argumentation in der Wissenschaft. Galileis Entwicklung des ‚Trägheitsprinzips‘ als ein Beispiel nicht-deduktiven Argumentierens. In: WOHLRAPP, Harald (Hrsg.): *Wege der Argumentationsforschung*. S. 306–338. Stuttgart: Frommann-Holzboog 1995
- SCHNEIDER, Thomas: Die Waffe der Analogie. Altägyptische Magie als System. In: GLOY, Karen, und BACHMANN, Manuel (Hrsg.): *Das Analogiedenken. Vorstöße in ein neues Gebiet der Rationalitätstheorie*. S. 37–85. Freiburg; München: Alber 2000
- SEELIGER, Rudolf: Analogien und Modelle in der Physik. *Studium Generale* 1, 125–137 (1947/48)
- SHELLEY, Cameron: Analogy counterarguments and the acceptability of analogical hypotheses. *British Journal for the Philosophy of Science* 53, 477–496 (2002a)
- SHELLEY, Cameron: The analogy theory of disanalogy: When conclusions collide. *Metaphor and Symbol* 17/2, 81–97 (2002b)
- SIEGEL, Daniel: *Innovation in Maxwell's Electromagnetic Theory: Molecular Vortices, Displacement Currents, and Light*. Cambridge 1991
- SNELDERS, Henricus A. M.: Analogieschlüsse in der chemischen Vergangenheit: Irrwege und Wegweiser. *NTM, N.F.* 2, 65–75 (1994)
- SPRAT, Thomas: *History of the Royal Society*. London: Martyn, 1667 (bzw. als komm. Reprint von COPE, Jackson I., and JONES, Harold Whitmore (Eds.). Saint Louis: Washington Univ. Studies 1958)
- SPURGEON, Caroline F. E.: *Shakespeare's Imagery and What It Tells Us*. Cambridge Univ. Press 1935 (u. div. Reprints)
- STACHOWIAK, Herbert (Hrsg.): *Modelle – Konstruktion der Wirklichkeit*. München: Wilhelm Fink Verlag 1983
- STAHL, Ann Brower: Concepts of time and approaches to analogical reasoning in historical perspective. *American Antiquity* 58/2, 235–260 (1993)
- STEGMÜLLER, Wolfgang: *Probleme und Resultate der Wissenschaftstheorie und Analytischen Philosophie. Bd. II: Theorie und Erfahrung. Studienausgabe Bd. F: Neuer intuitiver Zugang zum strukturalistischen Theorienkonzept, Theorie-Elemente, Theoriennetze, Theorieevolutionen*. Berlin: Springer 1986
- STEPAN, Nancy L.: Race and gender: The role of analogy in science. *Isis* 77, 261–277 (1986)
- STICKER, Bernhard: *naturam cognosci per analogiam. Das Prinzip der Analogie in der Naturforschung bei Leibniz*. In: *Akten des Internationalen Leibniz-Kongresses 1966, Bd. II*. Wiesbaden: Steiner 1969
- STITES, Raymond S.: *The Sublimations of Leonardo da Vinci*. Washington: Smithsonian Institution Press 1970
- STRUB, Christian: *Kalkulierte Absurditäten. Versuch einer historisch reflektierten sprachanalytischen Metaphorologie*. Freiburg, München: Alber 1991
- SZABÓ, Árpád: *Anfänge der griechischen Mathematik*. München, Wien: Oldenbourg 1969

- THIEL, Christian: Analogie. Enzyklopädie Philosophie und Wissenschaftstheorie 1, 98–99 (1995)
- THOMPSON, d'Arcy Wentworth: On Growth and Form. Cambridge Univ. Press, 1942 (orig. 1917, bzw. in gekürzter Fassung ebenda 1961)
- THOMSON, Lord William: Notes of Lectures on Molecular Dynamics and the Wave Theory of Light. Baltimore: Johns Hopkins 1884. Wiederabdruck in: KARGON, Robert, and ACHINSTEIN, Peter (Eds.): Kelvin's Baltimore Lectures and Modern Theoretical Physics 1884. Cambridge, Mass: MIT Press 1987
- TIEMANN, Axel: Analogie. Analyse einer grundlegenden Denkweise in der Physik. Frankfurt: Harri Deutsch 1993
- TOURANGEAU, Roger, and STEINBERG, Robert J.: Aptness in Metaphor. Cognition 13, 27–55 (1981)
- TREAGUST, David F.: Science teachers' use of analogies: Observations from classroom practice. International Journal for Science Education 14, 413–422 (1992)
- ULLMANN, Stephen: The Image in the Modern French Novel: Gide, Alain-Fournier, Proust and Camus. London: Cambridge Univ. Press 1960
- VAN'T HOFF, Jacobus Henricus: Etudes de dynamique chimique (1884). In deutscher Übersetzung von COHEN, Ernst: Studien zur chemischen Dynamik. Amsterdam: Muller 1896
- VAN'T HOFF, Jacobus Henricus: Lois de l'équilibre chimique (1885). In dt. Übers.: Die Gesetze des chemischen Gleichgewichtes für den verdünnten, gasförmigen oder gelösten Zustand. Leipzig: Engelmann 1900
- VOSNIADOU, Stella, and ORTONY, Andrew: The emergence of the literal-metaphorical-anomalous distinction in young children. Child Development 54, 154–161 (1983)
- WEINRICH, Harald: Metapher. Historisches Wörterbuch der Philosophie. Bd. 5, Sp. 1179–1186. Basel: Schwabe 1983
- WEITZENFELD, Julian S.: Valid reasoning by analogy. Philosophy of Science 51, 137–149 (1984)
- WELLER, Charles M.: The role of analogy in teaching science. Journal of Research in Science Teaching 7, 113–119 (1970)
- WINNER, Ellen, ROSENSTIEL, Anne K., and GARDENER, Howard: The development of metaphoric understanding. Developmental Psychology 12, 289–297 (1976)
- WISE, M. Norton: The mutual embrace of electricity and magnetism. Science 203, 1310–1318 (1979)
- WITT, Hermann DE: Analogik. Grundlagen einer Wissenschaft der Analogien, ihre Gesetze und Anwendungen. Luzern, Winterthur: Divine Light Zentrum 1972
- WOLTERS, Gereon: ‚Modell‘ bzw. ‚Modelltheorie‘. In: MITTELSTRASS, Jürgen (Hrsg.): Enzyklopädie Philosophie und Wissenschaftstheorie. Bd. 2, S. 911–913. Stuttgart: Metzler (1995)
- WRIGHT, Thomas: Scale models, similitude and dimensions: Aspects of mid-19th century engineering science. Annals of Science 49, 239–254 (1992)
- WYLIE, Alison: 'Simple' analogy and the role of relevance assumptions: Implications of archaeological practice. International Studies in the Philosophy of Science 2/2, 137–150 (1988)
- YOUNG, Robert Maxwell: Malthus and the evolutionists: The common context of biological and social theory. Past and Present 43, 109–145 (1969)
- YUKAWA, Hideki: Tabibito – ein Wanderer. Stuttgart: Wissenschaftl. Verlagsgesellschaft 1985
- ZEITOUN, Hassan Hussein: Teaching scientific analogies: A proposed model. Research in Science & Technological Education 2, 107–125 (1984)

Prof. Dr. rer. nat. habil. Dipl.-Phys. Klaus HENTSCHEL M.A.
Leiter der Abteilung für Geschichte der Naturwissenschaften und Technik und
Geschäftsführender Direktor des Historischen Instituts
Universität Stuttgart
Keplerstraße 17
70174 Stuttgart
Bundesrepublik Deutschland
Tel.: +49 711 685 82312
Fax: +49 711 685 82767
E-Mail: klaus.hentschel@po.hi.uni-stuttgart.de

Analogie und Kreativität

Christoph HUBIG, Darmstadt

Mit 1 Abbildung

Zusammenfassung

Da *Kreativität* selbst eine (kreative) Metapher ist und *Metapher* (Über-Tragen) eine Aktivität darstellt, ist Heuristik (in ihren Ausprägungen als *Topik* und als Kombinatorik) als normative Lehre einer Praxis zu begreifen. Welche Rolle spielen Ähnlichkeiten und Analogien im kreativen Prozess? Metaphorik und Analogiebildung sind Strategien des Vergleichens, unter denen Modelle (1) als (selektive) Instantiierungen zu Modellen (2) als (selektiven) Repräsentationen in den Bezug der Ähnlichkeit gesetzt werden. Kreativ werden solche Strategien (des Repräsentierens von (1) durch (2) oder des Realisierens von (2) durch (1)), wenn die Übertragung von Schemata zwischen (1) und (2) unter veränderten ähnlichkeitskonstitutiven Selektionskriterien zu neuen Realisierungen oder neuen Repräsentationen führt. Kreativität ist die Kompetenz des Umgangs mit ähnlichkeitskonstitutiven *Topoi*.

Abstract

As *creativity* itself is a (creative) metaphor and *metaphor* (carry-over) depicts an activity, heuristics (in its specification as *topik* and combinatorics) is to be conceived as a normative approach to a praxis. What role do similarities and analogies play in the creative process? The use of metaphors and the formation of analogies are strategies of comparison, by means of which models (1) as (selective) instantiations are set into the relation of similarity to models (2) as (selective) representations. Such strategies (of representing (1) by (2) or actualising (2) by (1)) become creative if the interchange of patterns between (1) and (2) leads to new actualisations or representations once the similarity-constituting criteria of selection are modified. Creativity is the competence to handle similarity-constituting *topoi*.

1. Einleitung

„Wo waren Entdeckungen und Erfindungen, bevor sie *gemacht* wurden?“ Auch wenn man zunächst davon absieht, dass in dieser saloppen Fragestellung nicht unterschieden wird zwischen Inhalten des Entdeckens bzw. Gegenständen des Erfindens einerseits und den Akten bzw. Vollzügen des Entdeckens und Erfindens andererseits, scheint die Sprache bereits zu verraten, dass eine solche Frage abwegig sei. Denn etwas „Gemachtes“ ist eher da, wenn der Vollzug des Machens abgeschlossen ist. Unter dem Superparadigma neuzeitlicher Naturwissenschaften, dem Interventionismus, wie er spätestens in der Formel des Francis BACON von einer „vexatio naturae artis“, einer „Folterung und Verzerrung der Natur durch Technik“ im Experiment prominent gefasst wurde,¹ erscheint die Frage sinnlos: Die experimentelle Anordnung – „Im Labor bleibt die Natur draußen“² – ist ein geregelttes technisches System,

1 BACON 1963, S. 23.

2 Werner HEISENBERG, zitiert nach SCHIEMANN und KÖCHY 2006, S. 5.

wie es Ross W. ASHBY allgemein charakterisiert hat, als „ausgearbeitete Gegenaktion“, als „Blockierung des Flusses der Vielheit“ von Störungen zu den wesentlichen Variablen des Systems. Dieser Funktion dient die Regelung im weitesten Sinne, zu differenzieren in (1.) das einfache Konzept der „strategischen Verteidigung“, dem *containment* als Abschottung von Störgrößen, (2.) eine in die Regler implementierte „Reaktion auf Bedrohung“ qua „Störgrößenaufschaltung“ (DIN 19226) oder (3.) die „Regelung durch Abweichung“, bei der das Ergebnis der Störung als kompensierender rückgekoppelter Steuerungsimpuls genutzt wird (Regelung i. e. S. nach DIN). Eine solche Anordnung gewährleistet Wiederholbarkeit, Prognostizierbarkeit, Planbarkeit und macht naturwissenschaftliche Ergebnisse, nach Maßgabe ihrer technischen Induzierung, „anwendbar“. Eine solche Forschungspraxis (von der hier nur ein Aspekt erwähnt ist), orientiert sich an paradigmatischen Regeln, unter denen „Festsetzungen“ getroffen werden, mittels derer „einschlägige“ Gegenstände überhaupt erst zugänglich und als Träger bestimmter Eigenschaften typisierbar werden. Es sind dies:³

- instrumentelle Festsetzungen (z. B. über die Geltung und das Funktionieren von Messinstrumenten und anderen Erhebungsstrategien), die zu validen Beobachtungsdaten/Observablen führen;
- funktionale Festsetzungen (z. B. für die Auswahl, Signifikanz, Vernachlässigbarkeit etc.) für den Umgang mit den Observablen als Indikatoren für ...;
- strukturelle Festsetzungen, die den internen Aufbau einer Theorie, die inferenziellen Zusammenhänge ihrer Begriffe und Sätze (einschließlich der Gesetze) festlegen;
- judikale Festsetzungen, die die Kriterien für die Annahme oder das Verwerfen von Theorien relativ zu erfassten singulären Sachverhalten umfassen; sowie
- normative Festsetzungen, die die erwünschten Eigenschaften einer Theorie überhaupt bestimmen.

Da eine objektive Instanz der Dinge nicht gegeben, sondern erst relativ zur Anerkennung solcher Festsetzungen konstituiert wird, wird die alte Forderung der Adäquatheit als Wahrheit im Darstellungssinne in die Forderung nach der *Wahrheitsfähigkeit* der Theorien transformiert. Sie dürfen ihr Thema nicht verfehlen, müssen unserer Problemintuition genügen, dürfen nicht instrumentell verengt sein oder metaphysisch ausgeweitet, nicht einseitigen Funktionalitäten verpflichtet oder Dogmatiken mit Universalitätsanspruch. Was heißt aber Wahrheitsfähigkeit?

Das Problem der „Festsetzungen“ wird, wie wir sehen werden, für die Analogieproblematik zentral. Jedenfalls zeitigt jenes „Machen“ von Entdeckungen und Erfindungen nach Ansicht mancher die Konsequenz, dass – um auf die Eingangsfrage zurückzukommen –, wenn Entdeckungen und Erfindungen nirgends „waren“, man auch nicht lehren könne, wie man sie finden kann oder hätte finden können. Vielmehr könnten wir nur etwas finden, nachdem wir etwas „gemacht“ haben. Wir können daran, dabei oder dadurch etwas finden: Eigenschaften des Mittels, Konsequenzen des Mitteleinsatzes, nunmehr als herbeiführbar erachtbare neue Handlungszwecke. Entsprechend wurde an den vorsokratischen Anfängen der Technikphilosophie darauf verwiesen, dass Technik als Kunst, etwas zu erfinden, nicht lehrbar sei, denn dann wären längst Alle erfolgreiche Erfinder. Diese brüchige Argumentation aus den „*dissoi logoi*“ der Dialektiker⁴ findet sich in vielen Facetten bis heute. Sie gilt dann auch für das

3 HÜBNER 1986, vgl. JANICH 1997.

4 FVS, Bd. 2, S. 414ff.

technikbasierte Entdecken. Fragen einer Heuristik als Erfindungskunst werden in den Bereich des Irrationalen verwiesen.

Gleichwohl scheint unsere Sprache aber auch anderes zu bekunden: Etwas wird *er-funden*, Lösungen *ge-funden* auf der Basis einer Entdeckung von etwas „Gegebenem“. Dann verlagert sich die Frage darauf, wie man lehren könnte, dieses irgendwie existierende Etwas zu finden. Diese Auffassung fand sich im Umkreis der Sophisten, die beanspruchten, „Methoden“ (d. i. „Wege“) zu lehren, wie man ein Problem in der gewünschten Weise lösen, eine Problemlösung finden kann – und sie wurden wohlhabend bei diesem Geschäft, was sich in der Berater-Tradition (einschließlich des „Kreativitätstrainings“) bis heute gehalten hat.

Diese Alternative wurde im späteren Denken unter der Figur vom Menschen als „zweitem Gott“ (*alter deus*) aufgegriffen. Menschliche Genialität wurde gefasst als implizite und intuitive Teilhabe am Schöpfungsgeschehen des ersten Gottes. Freilich eröffnete sich sogleich eine weitere Interpretationsalternative: Findet dieses menschliche Schöpfen im Rahmen bzw. in einem „Reich prästabiler Lösungsgestalten“ statt,⁵ die unter einer methodisch geleiteten Suche aufdeckbar sind und menschlichen Zwecken dienlich gemacht werden können? Oder sollte der Mensch als autonomes Subjekt von ihm selbst geschaffener stabiler Lösungsgestalten gelten, nicht mehr unter der *Vorgabe*, sondern nur noch unter dem *Vorbild* eines Gottes? Und diese Alternative prägt unterschiedliche Entwicklungslinien einer Heuristik als Lehre vom Erfinden bis heute. Der Grund ihres Rätsels liegt darin, dass Kreativität gebunden ist an die Vorstellung vom Menschen als zweitem Gott. Wie bereits AUGUSTINUS (implizit) gezeigt hat, ist diese Vorstellung „technomorph“, von basalen Vorstellungen technischen Handelns abgeleitet: Die Elemente der Trinität verdanken sich dem Konzept technischen Handelns, der leitenden Idee (Geist), einer ursprünglichen Potenz (Vater) und der ausführenden Instanz (Sohn).⁶ Solche basalen Vorstellungen, die ursprünglich ein Feld des Denkens prägen, werden in der neueren Diskussion als „eigentliche“, „ursprüngliche“ kreative Metaphern bezeichnet.⁷ Sie erscheinen als nicht hintergebar, sondern allenfalls explizierbar. „Kreativität“ ist mithin selbst eine solche kreative Metapher, verdankt sich jener technomorphen Ursprungsmetapher. In der Kreativitätsforschung finden sich daher, was nicht überrascht, weitere solcher ursprünglichen Metaphern, wie z. B. „auf-decken“, „ent-decken“ oder „er-fahren“, „prä-pa-rieren“, „Problemstellen“, „zusammen-führen“ etc.

Allerdings eröffnet sich hier eine weiterführende Option, mit dieser „kreativen Metaphorik“ umzugehen. Bei genauerer Betrachtung zeigt sich nämlich, dass „Metapher“ (wörtlich: „Über-tragen“) selbst eine Metapher ist – ein realer technischer Vollzug wird in den gedanklichen Bereich übertragen. Ist dies das Geheimnis der Kreativität, das sich gerade im metaphorischen Charakter unserer Kreativitätsvorstellung offenbart: dass Kreativität ein „Über-tragen“ von Gehalten eines Bereichs in einen anderen ist, modern formuliert als „Schematransfer“?

1.1 Eine Allegorie der Kreativität

Das Bemühen, sich metaphorische Bilder der Kreativität zu machen, fand seine prominenteste Ausprägung am Beginn der Neuzeit bei Francis BACON, der den Kreator als „Jäger“ (Investigator) darstellte. Das Renaissance-Genie, welches den Wissenschaftler, Techniker und

5 DESSAUER 1956, S. 156, 161ff.

6 AUGUSTINUS de Trin. 6, 11.

7 KÖNIG 1994, S. 157, 172; SNELL 1993, S. 7f.

Künstler in Personalunion vereint, „jagt“ der Natur ihre Geheimnisse ab, indem es die Werkzeuge seiner experimentellen Vorrichtung einsetzt. Es überrascht daher nicht, dass in einer berühmten Allegorie der prominentesten Wissenschaftsenzyklopädie dieser Zeit, den *Margarita philosophica* von Gregor REISCH, die von 1503 an in zahlreichen Auflagen erschien, der Wissenschaftler/Techniker als Jäger dargestellt ist, der einem „problema“ in Gestalt eines Hasen nachjagt. Für die Lösung seines Problems als Erfüllung seines Bedürfnisses ist er mit Waffen/Werkzeugen ausgestattet: dem Köcher als Reservoir von Aspekten (*loci*), aus dem er seine Pfeile (*argumenta*) entnimmt und vom Bogen der richtigen Fragestellung (*quaestio*) abschießt, geschützt durch den Brustpanzer seiner bisherigen Konklusionen, ferner ausgestattet mit dem trennscharfen Schwert der Logik (Syllogismus) und dem Jagdhorn (*sonusvox*) zur Mitteilung seiner Ergebnisse. Am interessantesten aber sind seine Jagdhunde: der flinke, bezeichnet als *veritas*, und der lahme, bezeichnet als *falsitas*, Wahrheit und Falschheit also nach Maßgabe ihrer Problemlösefähigkeit pragmatisch bestimmt. Neben vielen weiteren Details, auf die wir hier nicht eingehen können, soll nur noch die polemische Abqualifizierung der Rolle tradierter Wissensbestände für das kreative Problemlösen hervorgehoben werden. Die Wissenssysteme der Scholastik erscheinen als „Wald von Meinungen“ (*silva opinionum*), als Unlösbares (*insolubilia*), in das sich der Hase zu verstecken droht, und PARMENIDES, der Philosoph des Wissens einer ewigen gegebenen Ordnung, sitzt als Kontrastfigur mit vergrätztem Gesicht in der Bildecke.

1.2 Zwei Traditionen der Heuristik: Kombinatorik und Topik

Verlassen wir nun die bildhaften Vorstellungen der Kreativität und wenden uns den Traditionslinien der Heuristik zu. Hier finden sich zwei Entwicklungslinien, die sich mit dem Problemlösen beschäftigen, und dabei argumentative und technische „Lösungen“ in Analogie zueinander behandeln (HUBIG 2000).

Die Problematik der Theoriengenesen wird in der Philosophie im Bereich der Topik behandelt: Die *Topik* wurde von ARISTOTELES als ein Verfahren begründet, mittels dessen die (Mittel-)Begriffe (zentrale Klassifikationen unter ausgewählten Klassifikationssystemen) gefunden werden sollten, auf denen sich Argumente und logische Schlüsse aufbauen lassen. Er wollte mit der Topik „ein Verfahren [...] finden, mit dessen Hilfe wir fähig sein werden, auf der Grundlage der herrschenden Meinungen über jede vorgelegte Zweifelsfrage zu einem Urteil zu kommen“.⁸ Die Geltung solcherlei gewonnener Urteile, so ARISTOTELES, ist diejenige des „Wahrscheinlichen“, mit dem sich seine Topik beschäftigt. Neben der Interpretationstradition, die jenes Wahrscheinliche als *bloß* Wahrscheinliches interpretierte, und somit als Gegenstand wahrer Wissenschaft abwertete (so der Aristoteles-Kommentator ALEXANDER VON APHRODISIAS), begründete sich auf dieser Programmatik eine Tradition, die mit ADRASTOS VON APHRODISIAS jenes Wahrscheinliche als *mindestens* Wahrscheinliches interpretierte somit zum Anfang jeglicher wissenschaftlicher Überlegung aufwertete und dem gesamten Organon der Methodologie voranstellte. Diese Tradition hat über CICERO, QUINTILIAN (1869) und die humanistischen Dialektiker die Topik als Medium weitergeführt, das die Voraussetzungen für die begriffliche Identifikation der Erfahrung und die normierende Identifikation der Praxis erschließen sollte. *Topoi* (wörtlich: Orte) sind die Aspekte der Erörterung eines Problems; sie dienen der Findung von Argumentationen, Begründungen und Beweisen. Im

⁸ ARISTOTELES, *Topik*, Organon V, 1968: 1,1 100a.



Abb. 1 Typus Logice. Aus: Gregor REISCH: Margarita philosophica. Freiburg: Schott 1503

Laufe der Problemgeschichte wurden Kataloge solcher *topoi* in durchaus unterschiedlicher Weise als fixe oder variable Optionenhorizonte des Identifizierens von Sachverhalten erstellt; sie umfassten die klassischen (aristotelischen) Kategorien und Kategoreme, ergänzt durch weitere formale (beweisstrategische) oder inhaltlich-lebensweltliche Hinsichten, unter denen

konkrete Prädikationen vorgenommen und hierdurch die Argumentationen in bestimmte Bahnen gelenkt werden sollten. Ein jeweiliger *topos* resultiert aus einer *normativen* Einschätzung der zentralen Problematik der Aufgabenstellung und macht unter genau diesem Gesichtspunkt die vorhandenen Befunde (wiederkehrende Beobachtungen, Auffälligkeiten, Abweichungen relativ zu Erwartungen) erst verfügbar. Unter einem *topos* erscheinen bestimmte Eigenschaften eines Gegenstandes überhaupt erst als relevant.

Bei CICERO wurde Topik entsprechend begriffen als praktische Disziplin, die unter normativen Gesichtspunkten Strategien des Denkens und Sagens auswählt, analysiert und auf ihre Konsequenzen testet. Die Verfahren innerhalb der Topik lassen sich als Entscheidungsstrategien rekonstruieren, die rechtfertigungsbedürftig sind. Denn sie bestehen darin, Einzelprobleme und Einzelphänomene im Lichte von „*quaestiones infinitae*“, Grundsatzfragen, zu interpretieren, die die „*communes rerum et generum summae*“ betreffen, also das, was den Einzeldingen gemeinsam ist und über den Arten steht. Dies lasse sich nur unter einer *vis* (Kraft) der „Amplifikation“, der Erweiterung, Verallgemeinerung, ins Blickfeld bekommen. Die Richtung aber, nach der von einem Einzelproblem oder einem Einzelphänomen zu einer Grundsatzfrage im Zuge einer Erweiterung vorgegangen werden kann, ist rechtfertigungsbedürftig.⁹ Aus der „Unfaßbarkeit der tiefsten Probleme für den menschlichen Geist“ begründete der Humanist Rudolph AGRICOLA die Notwendigkeit, eine jeweils partikulare und perspektivistische Darstellung zu finden, die durch den jeweiligen *topos* begründet und zugleich eingegrenzt wird.¹⁰

Dabei wird Heuristik als Lehre eines topisch orientierten Vorgehens betrachtet, das Kandidaten möglichen Wissens vorstellt, die dann durch die Verfahren geregelter Ähnlichkeitsbetrachtung, des Analogieschlusses oder der Abduktion gewonnen werden. So zeigten Charles Sanders PEIRCE und Wilhelm WUNDT, dass selbst unsere singulären Erfahrungsurteile über Einzelphänomene auf „abduktiven“ Schlüssen beruhen, d. h. Erweiterungsschlüssen, mittels derer unter unausgesprochenen Gesetzesunterstellungen die Dinge so oder so identifiziert werden, und dass daher Erfahrungsurteile zur nachträglichen Absicherung von Geltungsansprüchen jener, der heuristischen Dimensionen zugeordneten Identifizierungen problematisch, weil zirkulär sind.¹¹ Derartige abduktive „Schlüsse“ zielen auf die jeweils bestmögliche (hypothetische) Erklärung und beruhen, wie uns die berühmten Detektive vorführen, auf einer Kunst, die nicht ihrerseits unter höherstufige *theoretische* Regeln zu bringen ist (woran Scotland Yard im Gegensatz zu Sherlock Holmes glaubte – und eben daran regelmäßig scheiterte). Sie eröffnen erst den Raum zur Bildung adäquater Theorien und ihrer anschließenden Überprüfung, die immer im Horizont der abduktiv gebildeten Überprüfungskandidaten bleibt und diesen Horizont selber nicht zu überprüfen vermag.

Die sogenannte *topische* Heuristik hebt also darauf ab, dass wir unter bestimmten wählbaren Gesichtspunkten und methodischen Strategien (*topoi*) die Möglichkeitsräume (Ingenieure sagen „Suchräume“) für die Werkzeuge der Gestaltung unserer theoretischen und praktischen Weltbezüge konstituieren. Deren Gesamtheit macht das Paradigma, das System der Fortsetzung aus, unter dem wir dann sekundäre Probleme identifizieren und wirkliche Lösungen realisieren („machen“). Kreativität als Inbegriff der Fähigkeit, begrifflich und technisch etwas Neues zu realisieren, bewegt sich im topisch bestimmten Möglichkeitsrahmen, unter dem bis-

9 CICERO, *De Oratore*, II. Absch. 146ff.

10 AGRICOLA, 1521, I, Kap. 4 und 15.

11 PEIRCE 1970, S. 283; unter Bezug auf WUNDT. Eine Übersicht über verschiedene Felder und Typen des Applizierens findet sich in HUBIG 2006, Kap. 6.3.

herige Errungenschaften neu bewertet sowie neue Desiderate modelliert werden. Worin gründet aber das System einer Topik insgesamt? Wer richtet über die „summae“ als gemeinsam erkanntes Kriterium? In dieser Tradition, die von der Stoa über die Humanisten und HEGEL bis zu Peter Klimentitsch VON ENGELMEYER¹² und Alois SCHUMPETER reicht, bleibt dieser Anfang in der Unmittelbarkeit des Wollens unbestimmt, denn die Kulturleistungen selbst, die die Schemata der Topik abgeben, gelten selber schon als Erfindungen.¹³

In einer zweiten – parallel laufenden – Tradition der Heuristik als Kombinatorik (von PAPPUS über Thomas VON AQUIN, Raimundus LULLUS und Gottfried W. LEIBNIZ, Franz REULEAUX¹⁴ u. a., bis zu den Lehrbüchern der Gegenwart) werden hingegen eine aus Grundbausteinen und ihren Binnenrelationen geordnete Welt bzw. Weltausschnitte unterstellt, die den Möglichkeitsraum für konkrete Erfindungen ausmachen. Die kreative Aktivität kann sich dann auf zweierlei beziehen: Auf die Erschließung eines möglichst vollständigen „Alphabets“ der Grundbausteine dieser Welt, und – darauf aufruhend – auf eine Realisierung möglicher Formungen *qua* Kombinatorik. In dieser Tradition wird Technik im weitesten Sinne als Realisierung konkreter Artefakte im Rahmen der Möglichkeiten einer vorgegebenen Ordnung begriffen. Der Erfinder disponiert nicht frei in seinen Topiken, sondern ist bei seinen eigenen funktionalen Festlegungen den Möglichkeiten des vorgegebenen Systems der Welt verhaftet. Er ist und bleibt letztlich Entdecker. Die Kritik an dieser Auffassung verweist darauf, dass die entsprechenden Heuristiken ihre jeweils vorauszusetzenden Arsenale und Kataloge von Entitäten (Naturkonstanten, funktionale Zusammenhänge etc.) gleichsam auf den Stand eines bestimmten Weltbildes einfrieren und nicht zu erklären vermögen, auf welcher Kreativitätsbasis ein Wandel von Weltauffassungen, Paradigmenwechsel o. ä. entstehen könne.

Moderne Heuristiken versuchen, die Alternative zwischen jenen beiden Heuristikkonzepten, gefasst als Alternative zwischen einem „Idealismus“ der topischen Tradition und einem „Realismus“ der kombinatorischen Tradition, zu überwinden: Als ausgezeichnete Weise, kreativ zu arbeiten, wird die Arbeit am Modell erachtet. Beginnend bei dinglichen Artefakten als Proben, bis hin zu abstrakt simulierten Modellen von Weltausschnitten¹⁵ finden wir hier, dass über ihre intendierten Verfasstheiten hinaus neue Erfahrungsräume eröffnet werden: Im Operieren mit Parametern und Variablen des Modells wird das Wechselspiel zwischen Subjektseite und Weltseite auf seine Gestaltbarkeit hin instantiiert und getestet. Hier findet sich das Forum von Kreativität und kreativer Konstruktion. Das betrifft sowohl die Konstruktion systemischer Gegenstände im Experiment wie auch die Realisierung technischer Artefakte.

Mit Blick auf diese – einleitend – grob skizzierte Problemgeschichte der Topik wird zweierlei deutlich und bedarf weiterer Klärung: Zum einen sind metaphorische Hintergründe behandelt worden, die – neben dem Auftreten von Metaphern innerhalb der Topikdarstellungen – offenbar das Gesamtprojekt orientieren. Dasselbe gilt für Analogie und die Arbeit an und mit Modellen. Das Verhältnis von Metapher, Analogie und Modell ist also zu untersuchen, wobei die vorbildhafte Abhandlung von Klaus HENTSCHEL „Zur Bedeutung von Analogien in den Naturwissenschaften“,¹⁶ an Materialreichtum und analytischer Stringenz kaum zu überbieten, auf unseren Fragehorizont allenfalls geringfügig zu ergänzen, zu fokussieren und zu vertiefen ist. Zum anderen ist zu fragen, inwieweit Kreativität über diesen Hintergrund hinaus Dimen-

12 VON ENGELMEYER 1910, siehe unten.

13 VON ENGELMEYER 1899/1910, § 15.

14 LULLUS 1272/1721, LEIBNIZ 1676/1878, REULEAUX 1875, siehe unten.

15 Weiteres hierzu unter 2.2.

16 HENTSCHEL 2007 sowie seine Einführung in diesem Band.

sionen aufweist, die sich einer Operationalisierung entziehen und trotz technomorpher Vorstellungen von Kreativität Vorbehalte gegenüber einer Kreativität als *Technik* zu begründen erlaubt. Dies wird mit Blick auf Kreativität als Kompetenz, mithin als Disposition, zu erwägen sein.

2. Metapher, Analogie, Modell: Über die Ähnlichkeit von Ähnlichkeiten

HENTSCHEL entfaltet mit guten Gründen die These, dass das *Tertium comparationis* von Metaphern, Analogie und Modell eben der Vergleich sei, auf dessen Basis eine Ähnlichkeit zwischen den dreien gegeben ist.¹⁷ Diese ihrerseits liegt darin, dass „zeitliche Reichweite“, „Tiefe“ und „Richtung des Vergleichens“ unterschiedlich sind, und zwar bezüglich der Weise, in denen eine Ähnlichkeit der *Relata* unterstellt wird. Dabei stellt sich eine Hierarchie als Gefälle an Validität bezüglich der naturwissenschaftlichen Forschung (also auch, können wir ergänzen, der technischen Erfindung und Entwicklung) heraus. Wertvoller als Metaphern sind die Analogien, gekrönt von hierauf basierenden Modellen. Diese Hierarchie lässt sich freilich nicht einfach auf die jeweilige Bedeutung für die Theoriengeltung oder die Theoriengenesse abbilden.

Metaphern dienen als Stilmittel einer „punktuellen Verdeutlichung“¹⁸ ohne systematische Funktion, jedoch mit einer gewissen Akzentuierungsfunktion durch die Übertragbarkeit (Metapher!) ausgewählter Attribute von einem Sekundärbereich in einen Primärbereich als Zielbereich. Für die Naturwissenschaften gilt sicherlich – und hier ist HENTSCHEL auch mit Blick auf seine überzeugenden Belege zuzustimmen –, dass diese Relation asymmetrisch ist, während die Auffassung Max BLACKS („Interaktionstheorie der Metapher“, BLACK 1962), dass sich im Zuge einer symmetrischen Assimilation im metaphorischen Gebrauch der Sichtweise *beider* Bereiche ändert, für den Bereich der Geistes- und Sozialwissenschaften durchaus belegbar ist. Das bedeutet, dass Metaphern nicht nur heuristische Impulse für die Erschließung des Zielbereichs abgeben, sondern für beide Bereiche. (Die metaphorische Bezeichnung des Menschen als Wolf oder als Affe ist nicht nur heuristisch wertvoll für manche Linien der Aggressivitäts- oder allgemeiner der Verhaltensforschung, sondern relativiert umgekehrt unsere Vorstellung von der Sonderstellung des Menschen bezüglich seiner Verhaltensweisen einschließlich seines Verhaltens zu solchen Verhaltensweisen mit Blick auf diese Spezies, bei denen wir ursprünglich für den Menschen reservierte Verhaltensweisen entdecken.)

Allerdings ist mit Blick auf unsere einleitenden Bemerkungen in Erinnerung zu rufen, dass mit jener Charakterisierung das Feld des Metaphorischen nicht erschöpft ist. Neben ihrer verdeutlichenden, stützenden, verbildlichenden Funktion haben Metaphern weitere Eigenheiten: Metaphern im bisher erwähnten Sinne lassen sich als „bloße Metaphern“ bezeichnen. Sie referieren, KÖNIG und SNELL folgend,¹⁹ auf Vorstellung als Rede *von* etwas und können heuristischen Wert haben, wenn diese Vorstellungen nur weiter untersucht werden. Letztlich sind aber solche Metaphern, auch wenn es umständlich würde (bei ihrem Einsatz als Stilmittel) oder wenn es intendiert ist (bei ihrer heuristischen Verwendung) in Begriffen ausbuchstabierbar. Davon sind „eigentliche Metaphern“ zu unterscheiden. Diese manifestieren eine Wirkung als erlebte Wirkung, die ja, wie Wilhelm DILTHEY hervorhebt, nur durch einen wie auch immer gearteten Erlebnisausdruck, der sie aus dem Erlebnisstrom identifizie-

17 HENTSCHEL 2007, S. 244.

18 Ebenda 2007, S. 249.

19 Siehe oben.

rend heraushebt, erlebbar wird.²⁰ Als *Rede* von etwas instantiieren sie diese Wirkung. Dabei können sie als „ursprüngliche Metaphern“ uns einen Kandidaten vorstellen, *innerhalb* dessen bestimmte Teilwirkungen auf Eigenschaften untersucht und gegebenenfalls über bloße Metaphern in begrifflichen Vorstellungen überführt werden können. Ursprüngliche Metaphern, z. B. „auffallen“, präsentieren einen Vorstellungskandidaten.

Daneben steht ein Typ eigentlicher Metaphern, unter denen sich Denken selbst allererst formiert. Josef KÖNIG nennt sie „modifizierende Prädikate“ im Unterschied zu bezeichnenden. Es sind unersetzbare Größen als Anfang des jeweiligen Denkens und seiner Strategien, der dieses in einen bestimmten Modus bringt. Dazu gehören die technomorphen Anfangsmetaphern einschließlich der Metapher „Metapher“ selbst (u. a.). Sie lassen sich nicht in begriffliche Vorstellungen „übersetzen“ („absolute“ Metaphern), sondern nur im Verweis auf Teilaspekte ihrer Wirkungen explizieren. Diese Wirkungen prägen unsere Rede von Analogien und Modellen, deren Beschreibung ohne solche absolute Metaphern nicht auskommt. Soweit ein kleiner, ergänzender Kommentar.

Der Bau von Analogien in ihrer zeitlichen höheren Geltungsdauer heuristischer Stärke und Systematizität verdankt sich solchen absoluten Metaphern. Gewiss, auf den ersten Blick mögen solche Metaphern selbst bereits den Status von Analogien haben. Klaus HENTSCHEL erläutert dies mit Blick auf Fortschritt als Metapher, die zur Analogie entwickelt werden kann.²¹ *Wie* freilich Fortschritt (kulturoptimistisch zur ..., kulturpessimistisch von ... weg oder zyklisch) ausbuchstabiert wird, hängt von der erlebten Wirkung ab, die er als Ausgangsinstanz indiziert. Ob er ‚Vertiefung‘ oder ‚Andocken‘ oder ‚Aufbau‘, oder nicht eher ursprungsverdeckende oder lebenswelt- und seinsvergessene Pointierung, Idealisierung, Artifizialisierung, Formalisierung ‚ist‘²² oder Kolonialisierung der Lebenswelt,²³ *wirkt* sich auf die Validierung von Analogien (und auch Modellen) aus.

Charakteristisch für Analogien ist, dass nicht wie bei bloßen Metaphern bestimmte Eigenschaften übertragen werden, sondern Relationen(-bündel) bzw. Eigenschaften nur dann, wenn ihre Relevanz im Lichte dieser Relationenbündel gegeben ist (bei der Analogie Planetensystem–Atombau die Massenverhältnisse und nicht die Temperaturgefälle). Der Bau von Analogien folgt den Erkenntnisinteressen bzw. Herstellungsinteressen ihrer Autoren(-innen), ist also pragmatisch bedingt, was uns auf Fragestellungen der Topik zurückverweisen wird. Klaus HENTSCHEL gibt eine umfassende Typisierung von Analogien,²⁴ die hier nicht zu wiederholen ist. *In summa* lässt sich eine Steigerung des heuristischen Wertes im Ausgang von substanziellen bloßen Metaphern über stärker relationale bloße Metaphern hin zu Analogiebildungen konstatieren. Allerdings kommt immer wieder in unterschiedlicher Fassung das Kriterium der Ähnlichkeit zur Sprache, das sich als Problempunkt herausstellen wird.

2.1 Analogie und Ähnlichkeit

In der Philosophie und Wissenschaftstheorie wird das Problem der Analogie immer noch recht unterkomplex thematisiert. Das hat HENTSCHEL zu recht kritisiert. Allerdings führen

20 DILTHEY 1958, 191ff.

21 HENTSCHEL 2007, S. 248.

22 HUSSERL 1954, S. 143, 148; HEIDEGGER 1962, S. 71.

23 HABERMAS 1981, Bd. 2, S. 205–259.

24 HENTSCHEL 2007, S. 254–269.

selbst jene simplen Ansätze zu dem erwähnten Problem der Ähnlichkeit als Problem einer *theoretischen* Untersuchung, und sind daher wertvoll.

Vertreter einer klassischen Wissenschaftstheorie, wie beispielsweise Carl Gustav HEMPEL und Wolfgang STEGMÜLLER, warnen vor einem Denken in Analogien.²⁵ Denn immer, wenn jemand behauptete, A sei analog B, müsse er präzisieren, hinsichtlich welcher Gesetzesklassen G und G*, wobei er zugleich behauptet, dass jene Gesetzesklassen formal isomorph seien. Dies könne er aber erst aus Experimenten oder Beobachtungen wissen, so dass er dann das Analogiemodell nicht mehr benötige oder, wenn er nichts dergleichen wisse, sei sein Analogiemodell wertlos. Diese Zurückweisung eines Denkens in Analogien ist jedoch nur sinnvoll im Diskurs, der sich unter einem naiv-realistischen Konzept mit der *Geltung* von Theorien beschäftigt. Wie verhält es sich mit dem Stellenwert von Analogien für die *Theoriengenesse*?

Immanuel KANT bestimmte Analogien als „eine vollkommene Ähnlichkeit zweier Verhältnisse zwischen ganz unähnlichen Dingen“.²⁶ Damit charakterisierte er die sogenannte Proportionalitätsanalogie, die das Verhältnis von Attributen zweier Gegenstandsbereiche untereinander in einen Bezug setzt. Heuristischen Wert hat diese Proportionalitätsanalogie, wenn der Bezug gefasst wird als: A verhält sich zu B im Gegenstandsbereich 1 wie C zu X im Gegenstandsbereich 2. Der Findungskandidat X kann also durch die Charakterisierung der Verhältnisse eingegrenzt werden. Erkenntnisse aus dem Gegenstandsbereich 1 können auf den Gegenstandsbereich 2 übertragen werden und werden somit zu Kandidaten der Überprüfung. Neben der Proportionalitätsanalogie wird in einer seit der Scholastik geläufigen Unterscheidung die Attributionsanalogie als Übertragung eines Attributs von einem Gegenstandsbereich auf einen anderen charakterisiert, was jedoch meistens unter Hinweis auf die Gleichheit von Verhältnissen, also unter Hinweis auf Proportionalitäten begründet wird. Was rechtfertigt aber die Übertragung von Verhältnisbestimmungen, etwa der Art, dass das, was dem Vogel der Flügel sei, dem Fisch die Flosse,²⁷ oder was einem Kind seine Mutter sei, einer Kolonie ihr Mutterland sei? Die Übertragung von Verhältnisbestimmungen rechtfertigt sich durch den Hinweis auf gleiche Funktionen oder gleiche Strukturen. Was bedeutet aber in diesen Fällen Gleichheit? In der Gleichheit ist offenbar immer auch eine Differenz mitgedacht, denn sonst könnte man ja Identität behaupten. Wir werden also von unseren Analogiebetrachtungen her an die Problematik des Begriffes der Ähnlichkeit weiter verwiesen. Denn nur unter einem Teilaspekt und unter einem bestimmten Zweck werden Analogien entwickelt, was auch die Pluralität möglicher Analogien, was die Ausgangsbereiche betrifft, erklärt. Dies schreibt sich in der Modellbildung fest, deren Zielbereich²⁸ nur partiell abgebildet wird. Bezüglich der Symmetrie oder Asymmetrie bei Metaphern, Analogien und Modellen sind daher zwei Ebenen zu unterscheiden: Einerseits ist Klaus HENTSCHEL zuzustimmen,²⁹ wenn er gegenüber der Asymmetrie von Metaphern (partielle Hervorhebung von Eigenschaften) und Modell (partielle Abbildung von Eigenschaften),³⁰ die Symmetrie der Analogierelation hervorhebt. Dies gilt allerdings nur objektstufig, da höherstufig gesehen diese Symmetrie nur *innerhalb* einer asymmetrischen Beziehung zwischen Ausgangs- und Zielbereich besteht, und zwar deshalb, weil die Partialität der Isomorphie durch eine jeweils *unterschiedliche* Be-

25 HEMPEL 1977, S. 157, STEGMÜLLER 1969, S. 131–137.

26 KANT, Prolegomena § 58.

27 ARISTOTELES, De parte animalium.

28 Siehe unten.

29 HENTSCHEL 2007, S. 265.

30 Siehe dazu unten.

gründung, warum man im Ausgangsbereich von den einen, im Zielbereich von den anderen Eigenschaften absieht, geleistet werden muss. Dies zeigt sich am Umgang mit Disanalogien, was HENTSCHEL selbst mit der Rekonstruktion der Modellentwicklung auf der Basis der Analogie Atomstruktur–Sonnensystem zeigt. Dem Larmor-Theorem der Energieabstrahlung der Elektrodynamik entspricht kein analoges Theorem der Gravitationstheorie, was bei BOHR zur „Aushebelung“ der Elektrodynamik in der Physik der Atome führte.³¹ Der „Härtetest“ für jede Analogie, nämlich das Ausbuchstabieren des Relationennetzes in einem Modell, zeigt *ex post*, dass die Unterstellung einer Isomorphie/Analogie nur zu erkaufen war durch eine Partialisierung, die eine Asymmetrie begründet.

Dies gilt auch für einen dritten Typ von Analogien, wie er zur Suche nach hypothetischen Problemlösungen etwa folgendermaßen eingesetzt wird: „Wenn man feststellt, dass aus $a \in A$, $a \in B$ jeweils f folgt, so wird per Analogiam vermutet, dass in einem Fall C bei $a \in C$ auch f folgen wird.“³² Unter der Feststellung einer wie immer gearteten Beziehung zwischen a und f wird eine Analogie zwischen A , B und C vermutet, bzw. ausgeschlossen, wenn in einem Bereich D a nicht f als Folge zeitigt. Diese Analogiebetrachtung setzt die Identifizierung von einem a und einem f voraus, und unter dem Gesichtspunkt ihrer Verknüpfung erscheinen dann bestimmte Bereiche oder Instanzen $A B C$ qua Ähnlichkeit als Kandidaten einer näheren Analyse bzw. werden Instanzen oder Bereiche wie D als unähnlich aus einer solchen Analyse ausgegrenzt. Die Verknüpfung von a mit f ist dann der Gesichtspunkt, unter dem bestimmte Bereiche als vergleichbar erscheinen. Ein solcher Begriff von Analogie verweist uns nicht an ein vorausgesetztes, sondern ein resultierendes Konzept von Ähnlichkeit. Die resultierende Ähnlichkeit ist dem Zweck der Analyse geschuldet, einschließlich der Rechtfertigungsnotwendigkeit des *topos*, a mit f in Bezug zu setzen. Auch die klassischen Proportionalitätsanalogien verweisen über die vorauszusetzenden Konzepte der Ähnlichkeit ebenfalls weiter an die entsprechenden *topoi*, unter denen die Ähnlichkeiten überhaupt als solche erscheinen: Entweder handelt es sich um vorauszusetzende funktionale Gesichtspunkte (beim Vogel-Fisch-Beispiel) oder um Strukturanalogien (beim Mutter-Kolonie-Beispiel). Unter jeweils anderen *topoi* könnte man die Analogien entweder abstreiten oder sogar umgekehrt formulieren: Wenn man beispielsweise „Mutter“ nicht unter dem Gesichtspunkt ihrer Erziehungsautorität, sondern unter dem Gesichtspunkt eines ursprünglichen Naturvorbilds interpretieren würde, würde sich die Proportionalität zwischen Kolonien/Entwicklungsländern und „Mutterländern“ umkehren (die Entwicklungsländer bekämen dann, unter dem *topos* „Ursprünglichkeit“, „Mutterfunktion“ für die zivilisierten „degenerierten“ Gesellschaften).

Wenn bestimmte Phänomene einander bloß in *einer gewissen* Hinsicht gleich sind, z. B. in ihrer Beziehung zu einem jeweiligen oder gemeinsamen Anderen, werden sie als einander ähnlich betrachtet. Zur Auffindung von Analogien wird man an die unter bestimmten *topoi* interessanten, auffallenden Ähnlichkeiten weiter verwiesen. Was auffällt ist ein Phänomen, als solches aber nur ein bloßer „Seinsanspruch“.³³ Oft wird freilich Ähnlichkeit von Phänomenen objektivistisch dadurch definiert, dass diese in einer bestimmten Menge („per se“) von Eigenschaften übereinstimmen. Dabei sollen die Mengen der Eigenschaften sich entweder mindestens zur Hälfte unterscheiden,³⁴ was jedoch eine festgelegte und abzählbare Menge

31 HENTSCHEL 2007, S. 269–273.

32 FREY 1982, S. 240.

33 HUSSERL 1973, S. 60.

34 KOI 1969, S. 78–87.

der *wesentlichen*, typischen Eigenschaften eines Objektes voraussetzt und uns an den entsprechenden Gesichtspunkt (*topos*) weiterverweist. Oder man liberalisiert das Konzept der Ähnlichkeit, wie etwa Tadeusz PAWLOWSKI (1980), der verschiedene Grade von Ähnlichkeit als Grade der Übereinstimmung entsprechend der Klassenzugehörigkeit zulässt. Dies führt jedoch dazu, dass jeder Gegenstand und jedes Phänomen jedem anderen in irgendeiner Weise ähnlich sein kann – das Konzept der Ähnlichkeit verliert seine heuristische Funktion, weil es seine Selektionsfunktion verliert.

Aus diesem Grund wird der Begriff der Ähnlichkeit von manchen Philosophen als undefinierter Grundbegriff eingeführt. So bestimmt Rudolf CARNAP den Begriff jeweiliger Ähnlichkeit als Resultat einer Relationsbeschreibung, nach der bestimmte Dinge in einem Merkmal dann einander ähnlich sind, wenn sie gemeinsame Züge tragen, die im „Gesamtkörper“ der entsprechenden Merkmale einen Abstand haben, der kleiner ist als eine gewisse, „*willkürlich festgesetzte* Größe“. ³⁵ Solche Relationen bilden die undefinierten Grundbegriffe des Systems, noch nicht jedoch dessen Grundelemente. Denn diese werden erst aus den Grundrelationen (als deren Definitionsbereich) konstruiert, und zwar in zwei Schritten: Die „annähernde Übereinstimmung zweier Elementarerlebnisse in Bezug auf irgendein Bestimmungsstück zweier Bestandteile“ konstituiert zunächst eine Beziehung der „Teilähnlichkeit“. „Unter dem Begriff der Ähnlichkeit im Unterschied zur Teilähnlichkeit wollen wir [...] die entsprechende Beziehung zwischen Empfindungsqualitäten verstehen“. Wenn das Bestehen der Teilähnlichkeit zwischen zwei Elementarerlebnissen X und Y empfunden wird, muss eine Erinnerungsvorstellung des früheren von beiden, des X mit Y verglichen werden. Dieser Erkenntnisvorgang ist im Gegensatz zur Ähnlichkeitsrelation selbst nicht reflexiv. CARNAP nennt ihn die „Ähnlichkeitserinnerung“ und fasst diese nun als die gesuchte Grundrelation, die selber nicht definierbar ist, sondern auf eine gänzliche oder annähernde Übereinstimmung von Elementarerlebnissen bzw. ihren Vorstellungen zurückgeführt wird. Das Problem wird also in den Begriff „annähernd“ weitertransportiert. ³⁶

Von Willard van Orman QUINE wird die „Erinnerung an ein früher beobachtetes Auftreten“ (in diesem Fall bezogen auf Ausdrücke) ebenfalls als Grundinstanz eingeführt. Auf der Basis dieser Erinnerung komme man zu speziellen Formen von Analogien, die man als Extrapolationen bezeichnen könne. Was bei CARNAP das Kriterium der willkürlich eingesetzten Größe ist, unter die ein Merkmals-Abstand fallen müsse, wird bei QUINE das Kriterium der Einfachheit: „Einfachheit ist die Richtschnur des Extrapolierens.“ Der „Einfachheitstrieb“ wird als neurologischer Mechanismus betrachtet, der von überwältigendem Überlebenswert sei, indem er günstige Arbeitsbedingungen für die anhaltende Tätigkeit der schöpferischen Phantasie erzeuge, weil er die Menge der ausreichenden Stichproben zur Überprüfung von Konsequenzen bestimmter Annahmen reduziere. ³⁷ Im Erkennen von Ähnlichkeiten ist, so WITTGENSTEIN, „das Verständnis weiter als alle Beispiele“. ³⁸ Alle Versuche, das Erkennen oder Erinnern von Ähnlichkeiten oder Analogien als Grundrelation einzuführen, verweisen dennoch immer weiter an die Gesichtspunkte, Kriterien oder Regeln, unter denen jene Erinnerung steht.

Kann es Regeln für die Erinnerung von Ähnlichkeiten und daraus abgeleiteten Analogien geben? Können wir die leitenden *topoi* als Regeln des Erkennens von Ähnlichkeiten oder Ana-

³⁵ CARNAP 1966, S. 100. Hervorhebung C. H.

³⁶ Ebenda, S. 109.

³⁷ QUINE 1976/1980, S. 30, 39, 49.

³⁸ WITTGENSTEIN, 1980, S. 208, 209.

logien beschreiben? „Was man aber beschreiben kann an einer Regel, ist das beständige Wiederkehren gleicher oder ähnlicher Handlungen. Dies ist ein Beschreiben der Regelmäßigkeit [dieser Regel].“³⁹ Regeln werden über Ähnlichkeitsbetrachtungen ihrer Befolgungen rekonstruierbar und beschreibbar als Regelmäßigkeiten des unter ihnen stehenden Verhaltens. Dieses Verhalten selbst nun wirkt auf einmal rekonstruierte und dem sich Verhaltenden bewusste Regeln zurück, indem es die Regeln in ihrer Aktualisierung erweitert, einengt, fortschreibend stabilisiert oder durch Nichtaktualisierung abbaut. Jede Anwendung einer Regel ist ein Mehr gegenüber der Regel, die sich über die *potentiellen* Verknüpfungen innerhalb von Definitionsbereichen erstreckt und diese (a) in ihrer Mannigfaltigkeit nicht erfasst (Typisierung), (b) *per se* ihre Einschlägigkeit für den Definitionsbereich nicht begründet sowie (c) das Vorliegen eines überhaupt einschlägigen Definitionsbereichs selbst nicht regelt. (Die Regeln des Fußballspiels oder des Schachspiels legen nicht fest, wie die konkreten Züge aussehen, und sie legen auch nicht fest, ob das Spiel überhaupt noch ein Spiel ist – diese Festlegung vollzieht der Schiedsrichter, der gegebenenfalls das Spiel abbricht.) In der sprachlichen Fassung von Regeln wird mit jedem verwendeten Begriff gerade wieder auf (Bedeutungs-)Regeln referiert. Ein solcher Regress lässt sich nicht mit theoretischen Mitteln abstellen: „Mit anderen Worten, die allgemeine Regel muß unter Zuhilfenahme faktischer oder gedachter Beispiele erst konkretisiert werden“,⁴⁰ damit sie als Regel überhaupt erst verständlich wird. Aus demselben Grund wehrt QUINE alle Versuche, Ähnlichkeit über eine Gemeinsamkeit von Eigenschaften oder Klassenzugehörigkeiten zu erklären, mit dem Argument ab, dass damit die Frage nach der Ähnlichkeit auf die Frage nach der Klassenzugehörigkeit verlagert wird, und diese sei stets nur für etwas als Identifiziertes zu erklären.⁴¹ Diese Identifikation ist aber bereits regelabhängig und das Erkennen der entsprechenden Regel setzt das Erkennen von Ähnlichkeiten voraus, das in Beispielen gelernt wird. Dadurch werden die ungerichteten Sinneseindrücke überhaupt erst zu sinnvollen Einheiten. Regeln selbst vermögen nicht zu bestimmen, warum wir bestimmte Ähnlichkeiten privilegieren und andere außer Acht lassen. „Welche Ähnlichkeiten wir privilegieren, zeigt sich gerade erst in der Verwendung [eines] generellen Terminus [unter einem *topos*] [...]“.⁴² Regeln sind also Resultat einer vorgängigen Praxis, die nicht bloß Gegenstand des Erlernens ist, sondern ihre Erlernbarkeit selbst reguliert.

In seiner grundlegenden Arbeit zur Topik hob Lothar BORNSCHEUER⁴³ vier Strukturmomente des *topos* hervor:

- Jedem *topos* wohnt eine Kraft inne, als eine Art Merkformel, vorhandenes Wissen auf bestimmte Regeln hin zu bündeln, auf diese Regeln zu verweisen: die Symbolizität des *topos*.
- Diese Leistung wird ermöglicht auf einer gesellschaftlichen Basis, die jene Verweiskraft des *topos* als Zeichen anerkennt: die Habitualität des *topos* in einer jeweils bestimmten Lebensform.
- Jeder *topos*, der Interpretation ermöglicht, bedarf selber der Interpretation, da er nur Möglichkeiten der Verknüpfung von Phänomenen, Erlebnissen etc. bezeichnet: die Potenzialität des *topos*.

39 BILLING 1979, S. 98.

40 NORDENSTAM 1986, S. 321ff.

41 QUINE 1969, S. 114ff.

42 TEUWSEN 1988, S. 87.

43 BORNSCHEUER 1976, S. 208.

- Diese wird erst wirklich, d. h. bekommt erst einen Bezug zu den Phänomenen und Erlebnissen, wenn sie vom Subjekt jeweils anerkannt wird: die Intentionalität des *topos*.

„Ohne den aktuellen Gebrauch in der Erörterung lebensbedeutsamer Probleme fällt oder sinkt ein *Topos* entweder zum Cliché ab, d. h. die reflexionslose Habitualität, oder er verflüchtigt sich zum bloßen Einfall, d. h. in eine unverbindliche Potentialität [...] als reines Moment geistreich-assoziativer Gedankenspiele.“⁴⁴

Dies gilt auch und gerade für die Lebensform der Forschung und des technischen Herstellens. Über die *Topik* sind wir also an die Anbindung der methodologischen Gesichtspunkte, an die entsprechende Lebensform zurückverwiesen.

2.2 Analogie und (kreative) Modellbildung

Die *klassische* Naturwissenschaft und die mit ihr verbundene Technik geht aus von einem Weltsegment als Objekt der *Wirklichkeit*. Bestimmte beobachtete Wirkungen sollen bezüglich der Grundlagen ihres „Wirken-Könnens“ (HEGELS Bestimmung der Wirklichkeit) genauer untersucht werden, genauer: Auf der Basis einer bestimmten *topisch* orientierten Selektion werden Anforderungen erhoben bezüglich bestimmter interessanter Eigenschaften, deren Zusammenhang besser verstanden werden soll. Hierbei soll auf der Basis experimenteller technischer Anordnungen eruiert werden, was *der Fall* ist, was als *real* angenommen werden kann.

Zu diesem Zweck werden in unterschiedlicher Weise Modelle eingesetzt: Zum einen gilt die experimentell-technische Anordnung als *Modellobjekt*, als Instantiierung der Sachlage im raum-zeitlichen Feld. Diese Redeweise von Modell, nachfolgend „Modell (1)“, entspricht derjenigen im umgangssprachlichen Bereich, aber auch und gerade der in den Naturwissenschaften und der Mathematik verwendeten Redeweise vom Modell als Exempel, Instantiierung, Probe (so sind z. B. die natürlichen Zahlen ein „Modell“ der Peanoaxiome). Daneben hebt der Sprachgebrauch für „Modell“ aber auch auf den Repräsentationscharakter des Modells im Sinne einer schematischen, idealisierten Darstellung ab (so ist ein Stadtplan ein Modell einer Stadt oder eine stilisierte Darstellung ein Struktur- oder Verlaufs„modell“ einer realen Konstellation oder eines realen Prozesses). Solche „Modelle (2)“ stehen im Abgleich zu den Modellen (1); dieser Abgleich findet unter pragmatischen *topisch* orientierten Gesichtspunkten statt. Modelle dieser Art sind Modelle der *Realität* als Modelle von einer zu erfassenden *Wirklichkeit*. Unter der Beobachtung der Effekte jener Modelle (1) und ihrer Repräsentation in Modellen (2) werden nun ihrerseits neue Selektionen und Anforderungen zur Untersuchung weiterer Eigenschaften erhoben, die relevant erscheinen für einen Einsatz, eine Nutzung, eine Anwendung jener Modelle (1) und (2) für eine zu konstruierende bzw. zu gestaltende Wirklichkeit als technisches Objekt. Im Zuge der technischen Anwendung werden also Modelle von ... zu Modellen für ... Sie werden dabei angereichert durch zusätzliche erwünschte Eigenschaften oder purifiziert durch eine möglichst weite Ausklammerung unerwünschter Eigenschaften, die allenfalls als zu minimierende Nebenfolgen noch in Kauf genommen werden, vorausgesetzt, sie sind überhaupt repräsentierbar.

Welchen Herausforderungen die Modellierung sich stellen muss, erkennt man daran, dass unsere Forderungen an die zu repräsentierenden Naturgesetze, nämlich (1.) wahr, (2.) strikt

44 BORNSCHEUER 1976, S. 102.

und (3.) empirisch gehaltvoll zu sein, nicht in Gänze erfüllbar sind. Sollen Naturgesetze wahr sein und strikt gelten, führt die notwendige Idealisierung dazu, dass die Forderung nach empirischem Gehalt relativiert werden muss, da die Wirklichkeit niemals störungsfrei prozessiert – „Modellplatonismus“. Sollen Naturgesetze wahr und empirisch gehaltvoll sein, muss die Forderung nach Striktheit relativiert werden; Theorien erheben dann Geltungsanspruch lediglich unter *Ceteris-paribus*-Bedingungen. Wird schließlich die Forderung nach Striktheit und empirischem Gehalt beibehalten, muss der Wahrheitsanspruch im Darstellungssinne relativiert werden: Entsprechende instrumentalistische oder pragmatistische Theorien heben dann einzig darauf ab, dass im Rahmen einer technischen Anordnung empirische Regelmäßigkeiten zu beobachten sind, deren regelmäßige Zielführung auf die intendierten Effekte hin das einzige „Wahrheits“-kriterium ist.

In *simulationsbasierter* Naturwissenschaft und Technik wird nun das Modell (1) ersetzt durch eine Simulation als virtueller Realität, deren Verifikation und Validierung ebenfalls simulationstechnisch „kontaminiert“ ist, weil die Störgrößen und die Störgrößenaufschaltung, also der Kontext, simuliert ist. Dieses Modell wird als Abgleichinstanz zu einem Modell (2) eingesetzt. Dieses Modell (2) als Schema, Struktur- oder Prozessrepräsentation in idealisierter Form wird aber selbst oftmals nur über simulationsbasierte Visualisierung überhaupt zugänglich. Eine solche simulierte Realität gilt als Simulation von ..., deren Effekte nun mit Blick auf eine technische Anwendung selber beobachtet werden (im Rahmen simulationsbasierter Visualisierung) unter bestimmten Anforderungen, auf deren Basis nun ein technisches Objekt, ein Apparat, eine Anlage konstruiert werden als *virtuelle Wirklichkeit*. Das Simulationsmodell ist also ein Modell für eine virtuelle Wirklichkeit z. B. einen Flugsimulator, eine sich unter Wind- und Wasserdruck bewegende Brückenkonstruktion, einen Crash-Test etc. Diese gelten aber nun ihrerseits als Modelle für die „wirkliche“ Wirklichkeit bzw. werden direkt als eine solche wirkliche Wirklichkeit erachtet.

So erfolgreich diese Strategie rechnergestützter Simulation in verschiedenster Hinsicht ist, sollte doch nicht unterschlagen werden, dass sich unsere klassischen Vorstellungen von Wissen, welches akquiriert wird, unter der Hand ändern: „Klassisch“ versteht man unter Wissen wahre, begründete Überzeugungen, wobei die Begründungen die Wahrheit garantieren sollen. Der klassische Wissensskeptizismus setzte daran an, dass auch die wahrheitsgarantierenden Gründe in Frage gestellt werden können und müssen, wodurch wir in einem unlösbaren Begründungsregress gerieten. Diesen Begründungsregress zu limitieren, ist das Anliegen der klassischen Alternativen zum Skeptizismus seitens der „Kontextualisten“, die die „Einbettung“ in einen jeweiligen Wissenskontext zur Instanz des Ausschlusses bestimmter Infragestellungen seitens der Skeptizisten machen, ferner der „Lebensformtheoretiker“, die auf gemeinsam geteilte Wertungen der Wahrheitsgaranten *qua* Einübung in tradierte erfolgreiche Praxen verweisen, und schließlich der Pragmatisten, die die Begründung von Wissen auf eine selbstbewusste Disposition, etwas zu *können*, also auf das Vorliegen von Kompetenzen, zurückführen.⁴⁵ Wenn wir nun von virtualitäts- oder simulationsbasierten Wissenskonzepten zu sprechen haben, ist zunächst darauf zu verweisen, dass ein solches Wissen gefasst werden muss als wahre *simulationsbasierte* Überzeugung, wobei die Simulationsbasierung den Wahrheitsgaranten abgeben soll. Der Skeptizist wird gleich darauf verweisen, dass die Begründung für die Parameterauswahl, die eingesetzten Kausalmodelle und die Validität der Datenmengen ihrerseits in Frage gestellt werden kann usw., also auf den geläufigen Begrün-

45 Vgl. hierzu die übersichtliche Darstellung bei KERN 2006, 2007.

dungsregress. Da die Kontexte ihrerseits simuliert werden, hätten die klassischen Kontextualisten hier nichts entgegenzusetzen. Die Lebensformtheoretiker wären darauf verwiesen, dass die Validität der Simulation allenfalls von Expertenpanels beurteilt wird, die jedoch schwerlich auf Traditionen einzuübender erfolgreicher Simulationspraxis verweisen können, da sich die Validität der virtuell *realities* erst in der Zukunft zeigt (Beispiel Klimasimulationen). Die Pragmatisten müssen ihre Rechtfertigungen auf diejenigen Felder beschränken, in denen bereits simulationsbasierte Handlungserfolge zu verzeichnen sind, z. B. Trainingseffekte oder gelungene Eingriffe in reale Systeme einschließlich der Präventionen. Bei steigender Globalität von Simulationen, z. B. wenn es darum geht, „Weltmodelle“ oder Modelle von Organismen zu entwickeln, greifen die Alternativen zum Skeptizismus zunehmend weniger, und die Debatten fokussieren sich auf die Unsicherheiten, die man sich bei simulationsbasierter Wissensakquisition einhandelt.

Aus einem anderen Blickwinkel wird eine solche Unsicherheitshypothek auch ersichtlich, wenn man klassische Gedankenexperimente mit Simulationen vergleicht. Gedankenexperimente beziehen sich auf mögliche Welten, die zur wirklichen Welt in einer „Erreichbarkeitsrelation“ stehen.⁴⁶ Gedankenexperimente sind charakterisiert durch das Fortlassen störender Eigenschaften, die gedankliche Variation von Eigenschaften und/oder die Idealisierung von Eigenschaften (ein Beispiel wäre die ideale Wärmemaschine, der Carnot-Prozess⁴⁷). Im Unterschied hierzu modellieren Simulationen virtuelle Realität und erzeugen virtuelle Wirklichkeiten durch Integration möglichst vieler Eigenschaften, durch Variation von Eigenschaften als Relevanztests für die Parameter oder beim Probehandeln sowie eine probeweise Idealisierung von Eigenschaften bei degradierter Information oder zu komplex werdenden Berechnungsverfahren (durch entsprechende Skalierung und Kalibrierung). Die „Erreichbarkeitsrelation“ kann dann nur noch unterstellt oder durch eine entsprechende technische Überformung der äußeren Welt *hergestellt* werden (in diese Richtung gehen die Utopien von einem künstlich geregelten Weltklima, die hin und wieder tatsächlich vertreten werden).

Die Rolle der Analogien für die Modellbildung in der klassischen Naturwissenschaft liegt in ihrem Wert für die Begründung der Zuordnung von Modellen (1) zu den zu findenden Modellen (2). Die heuristische Funktion bezieht sich auf Modelle (2); Eigenschaften der Modelle (1) irritieren produktiv die Ausarbeitung von Modellen (2). In simulationsbasierter Wissenschaft – die Übergänge sind fließend, wie HENTSCHELS Studien (2002) zur Visualisierung zeigen – leiten Analogien den Modellbau (2) im Bereich der Simulation. Der Abgleich findet im günstigsten Fall ebenfalls mit Modellen (1), also klassisch experimenteller Anordnungen, statt. So wies Eric WINSBERG darauf hin, dass hier Simulationsmodelle durch das Konstruktionsverfahren, mit dem sie gewonnen wurden, gerechtfertigt sind, wenn sich dieses Verfahren in der Vergangenheit bewährt hat, d. h. empirisch adäquate Simulationsmodelle geliefert hat.⁴⁸ Sein Beispiel ist die Strömungslehre, in der die kontrafaktische Annahme, dass sich die Viskosität des Mediums in der Umgebung einer sich mit Überschallgeschwindigkeit ausbreitenden Schockwelle extrem erhöhe („artificial viscosity“)⁴⁹, zur Konstruktion von Simulationsmodellen seit über 50 Jahren erfolgreich verwendet wurde. Dadurch, dass sich die Konstruktionsmethode bewährt hat, seien Modelle, die anhand dieser Methode gewonnen

46 REHDER 1980, S. 121f.

47 MACH 1920, S. 188ff., 192.

48 WINSBERG 2006, S. 1–19.

49 Vgl. CARAMANA 1998.

wurden, *eo ipso* gerechtfertigt. Das Konstruktionsverfahren wird zu einem unabhängigen Erfolgsgaranten von Simulationsmodellen. Ähnliche Verfahren haben sich im medizinischen Bereich, z. B. bei der Simulation der Leistungsfähigkeit bestimmter Verfahren der Nierensteinzertrümmerung als bewährt erwiesen, wenn z. B. Gewebeeigenschaften als diejenigen von Wasser mit einem bestimmten Dämpfungsfaktor modelliert werden. Die forscherguppenübergreifende Aufgabe liegt dann darin, bewährte Simulationskonstruktionsverfahren zu identifizieren. Freilich gerät man, gerade wenn es um Neuland geht, hier schnell an die Grenzen. Typisch ist die Problemlage in hoch komplexen Simulationen etwa zum Klimawandel, zur Emission von Nanopartikeln etc.

Angesichts einer solchen Problematik der Unsicherheit sollten praktische Erwägungen das Simulationsgeschehen leiten, womit wir an die Topik zurückverwiesen sind. Es sind dies solche, die die Kosten eines simulationsbasierten Irrtums gegenüber entsprechenden Alternativen abwägen. Dies betrifft insbesondere die Kosten sogenannter „induktiver“ Simulationen, die die Möglichkeit einer „story line“, einer bestimmten Entwicklung als kalkulierbar behaupten, gegenüber den Kosten einer sogenannten „kreativen“ Simulation, die bestimmte Möglichkeiten (auf dem Hintergrund unseres bisherigen Wissens) nicht ausschließt. Dabei sind die jeweiligen ökonomischen und moralischen Kosten falsch positiver Befunde (z. B. der Behauptung oder dem Nichtausschluss von Schäden, die nicht eintreten) oder falsch negativer Befunde (z. B. dem Übersehen von Schäden oder dem Ausschluss von Schäden, die dennoch auftreten), zu berücksichtigen. In zweifacher Kreuzklassifikation wären unter der Unterscheidung zwischen induktiver und kreativer Simulation die jeweiligen falsch positiven und die jeweiligen falsch negativen Befunde auf hohe Irrtumskosten bzw. niedrige Irrtumskosten zu untersuchen und dann eine entsprechende Favorisierung einer Simulationsstrategie vorzunehmen.

3. Analogie und Kreativität

Im Blick auf Kreativität lassen sich Priorisierungen entweder analogiegestützer, fiktionaler, theoretischer oder realer technischer Modelle schwerlich rechtfertigen: Analogiebildung oder metaphorisches Vorgehen können von realen Artefakten aus erfolgen (ARCHIMEDES findet die Kugel-Volumenformel durch Auswiegen von Kreisscheiben am Hebel), oder sie bewegen sich *zwischen* theoretischen Modellen (so wie die Elektrodynamik unter Modellen der Mechanik entwickelt wurde), oder sie erscheinen in der geläufigen Weise als sogenannte „Anwendung“ theoretischer Modellierungen, wobei diese unterbestimmten Modellierungen unter bestimmten Aspekten auf weitere Eigenschaften hin aktualisiert werden („Skelettbauweise“, „Planetengetriebe“).

Im konkreten technischen Vorgehen wird oftmals die kombinatorische Heuristik favorisiert: als Katalysator der Zuordnung von Wirkungsprinzipien (Strukturen, Verfahren, Bauteilen etc.) aus dem Baukasten zu den vorab analysierten Teilfunktionen der Gesamtfunktion, die das Artefakt erfüllen soll. Was jedoch leitet die Annahme und die Analyse der Funktionen? Hier tritt die topische Heuristik ein.

Insgesamt wird deutlich, dass kombinatorische und topische Heuristik nicht getrennt voneinander entwickelt werden können. Die kombinatorische Heuristik mit ihren Schritten (1.) Erschließung eines Katalogs von Funktionen und Elementen ihrer Erfüllung, (2.) Analyse der möglichen Relationen zwischen diesen, (3.) Analyse des Problems im Horizont des Lösungskatalogs, (4.) Auflistung möglicher Kombinationen zur Problemlösung sowie (5.) Auswahl

und Test der optimalen Kombination sowie Variantenbildung ist auf topische Inputs angewiesen, durch die in praktischer Absicht die Grenzen der Kataloge, die Art der Problemstellung und Kriterien optimaler Lösungen umrissen, kritisiert und weiter entwickelt werden. Die topische Heuristik hingegen, auf deren Basis (1.) die zu berücksichtigenden Gesichtspunkte festgelegt, (2.) diese *topoi* auf Analogien konkretisiert und expliziert und (3.) durch die Problemformulierung unterschiedliche Suchräume eröffnet werden, bedarf der Ausfüllung der Suchräume der Kandidaten aus der Kombinatorik (4.), wenn sie nicht abstrakt bleiben will, und auch ein Testen von Problemlösungen unter dem Vorbehalt der Neuformulierung der Problemstellung bei unbefriedigenden Ergebnissen bedarf eben jener Testkandidaten, die die Kombinatorik liefert.

Bei unterschiedlicher Akzentuierung auf entweder die kombinatorische oder die topische Heuristik wird die notwendige Verschränkung beider mit Blick auf zwei prominente Beispiele der neueren Technikphilosophie ersichtlich: Franz REULEAUX (1875) gründet seine „Kinematik“ als Erfindungslehre auf eine deduktive Behandlung⁵⁰ der „Bildungsgesetze“ der Maschine, die unter einer kinematischen Analyse mit Hilfe einer Zeichensprache für Elemente und Relationen zugänglich werden.⁵¹ Das macht seine Nähe zur Kombinatorik aus. Die sich anschließende „kinematische Synthese“ hingegen, die auf die Verwirklichung eines Bewegungszwanges zielt, folgt einer Zusammenstellung einschlägiger geeigneter Möglichkeiten und einer Auswahl gemäß einem technischen Zweck, ist also topisch bedingt und ergibt sich nicht analytisch aus der vorangegangenen Deduktion.⁵² Peter Klimentitsch VON ENGELMEYER formuliert hingegen seinen „Dreiakt synthetischer Maschinenlehre“ auf topischer Basis, anhebend bei der Suche nach einer klaren Formulierung der Absicht und einer Idee des Verfahrens, die einem Bedürfnis geschuldet ist, aus dem die technische Aufgabe resultiert. Es schließt sich dann die Schemaerstellung an, als Plan, der auf der Basis kinematischen Wissens (also nach Maßgabe der Kombinatorik) entwickelt wird, dem schließlich auf der dritten Stufe die gestalterische Ausarbeitung entsprechend weiteren Anforderungen und den praktischen Erfahrungen, die wir auf der Basis unseres Könnens gewinnen, folgt. Interessanter Weise fordert er für den ersten und dritten Schritt „Intuition“, welche nicht lehrbar ist, sondern nur einüb- und formbar *qua* „Experimentieren mit Denken und Sein“.⁵³

Was hat es mit dieser „Intuition“ auf sich? Welche Rolle spielt dieses „Experimentieren“ für den kreativen Prozess? In dieser Fassung sind ja „Intuition“ (Hinsehen, Ausrichtung) und „Experimentieren“ („Er-fahren, Wagen“) wieder Metaphern. Ihrer ursprünglichen Erklärung sind die höherstufigen Theorien vom kreativen Prozess gewidmet, die freilich auch nicht ohne Metaphern auskommen.

3.1 *Der kreative Prozess als Transfer von Schemata, als Meta-phorein*

In den klassischen Theorien der Kreativität wird der kreative Prozess in der Regel als vierstufiges Vorgehen modelliert. Johann Friedrich HERBART, einer der Pioniere auf diesem Gebiet, lässt ihn anheben mit der Problemlösung, der dann die Assoziation folgt als Zusammenbringen von Lösungsideen unterschiedlicher Bereiche. Ihr schließt sich die Systembildung an, die

50 REULEAUX 1875, Bd. I, S. 26.

51 Ebenda, S. VIII f.

52 Ebenda, S. 53 f.

53 VON ENGELMEYER 1899/1910, §§ 51–53.

zur Ausarbeitung einer methodischen Lösung führt.⁵⁴ Eine Orientierung an diesen vier Stufen findet sich in zahlreichen weiteren Theorien, von denen stellvertretend nur noch zwei weitere erwähnt seien: Graham WALLAS beginnt ebenfalls mit der „Präparation“, an die sich die „Inkubation“ als unbewusste Phase des sich Berührens von Ideen anschließt, die schließlich auf der Stufe der „Illumination“ das neue „System“ (Modell) konstituieren, welches dann im Zuge einer „Verifikation“ ausgearbeitet wird (WALLAS 1926). Ernst BLOCH schließlich zielt auf ähnliches, wenn er die Problemformulierung als ersten Schritt mit der Unterstellung einer möglichen Lösung gleichsetzt und dann in einem zweiten Schritt, der ebenfalls als Inkubation bezeichnet wird, eine Phase als „Säen im Nebel der Analogien“ sieht. Hier ist offenbar die Fruchtbarkeit ähnlich „angelegter“ Schemata gemeint, die nun in einer dritten Phase der „Inspiration“ mit neuem Inhalt versehen werden, aus dem schließlich eine neue „Produktion“ resultiert.⁵⁵ In der VDI 2221 sowie der von Klaus EHRENSPIEL u. a. entwickelten „Allgemeinen Problemlösungsmethode – APM“⁵⁶ lässt sich dieser Vierschritt wieder finden.

Ausschlaggebend ist offenbar die Phase 3, die Illumination. Was vorher als Analogie nebeneinander stand und die „Anlage“ (BLOCH) für die kreative Idee barg, wird hier zusammen gebracht. Arthur KOESTLER (1964) spricht deshalb von dieser Illumination auch als „Bisoziation“, Zusammenschluss von x und y . Wie lässt sich dieser „Zusammenschluss“ denken? Wir haben hierzu bereits eine Anregung aus der Diskussion um den heuristischen Wert von Metaphern: Ein Schema eines Bereiches wird auf einen anderen übertragen. Charles Sanders PEIRCE und Umberto ECO⁵⁷ bezeichnen dieses Verfahren als kreative Abduktion, als Detektivschluss von einem bekannten Resultat auf die beste wahrscheinlichste Erklärung aus einem anderen Bereich, dessen Struktur als analoge Struktur unterstellt wird. Es handelt sich also um ein nicht logisches Schließen: es steht und fällt mit der Unterstellung einer Regelstruktur, die das Bekannte mit dem Unbekannten verbindet. Wenn z. B. ARCHIMEDES die Kugelvolumen-Formel durch Auswiegen von Kreisscheiben gewinnt, wenn die Elektrodynamik unter Modellen der Mechanik entwickelt wird, wenn in der Rede vom „Kraftfluss“ Hydroeffekte zur Modellierung von Kräften verwendet werden, finden solche kreativen Abduktionen statt. Auch im Felde technischer Kreativität im engeren Sinne lassen sich solche Übertragungsweisen identifizieren, etwa bei der Nutzung der Kenntnisse über Vakzination zur Entwicklung der Cholera-Impfung, beim Schematransfer vom Matrixdrucker über die äußere Formanalogie zwischen Nadel und Düse zum Tintenstrahldrucker oder der Entwicklung vom Kolbenhub- zum Kreiskolbenmotor, ferner in der Rede von der „Skelettbauweise“ und dem „Planetengertriebe“, bis hin zu den Errungenschaften der Bionik, um einige Beispiele zu nennen. Typisch für letztere wäre etwa die Übernahme des Prinzips linsenfreier Hummeraugen für den Bau von Röntgenteleskopen sowie die Chip-Produktion. Die dicht gepackten Röhren des Hummerauges reflektieren die Lichtstrahlen direkt auf die Netzhaut. Die kurzwelligen Röntgenstrahlen lassen sich nicht wie Licht in Linsen bündeln. Mit der Hummer-Technik lassen sich die Blickwinkel der Röntgenteleskope enorm vergrößern. Wir haben hier eine klassische Proportionalitätsanalogie: Licht zu Repräsentation *qua* Hummerauge verhält sich wie Röntgenstrahlen zu x (Hummerteleskop). In der Chip-Technologie besteht das Problem, dass die Lichtstrahlen bei Strukturen unter 0,002 mm um die Kanten der Ätزشablonen gebeugt

54 HERBART 1899, S. 49.

55 BLOCH 1978, 137ff.

56 EHRENSPIEL 1988, S. 37ff.

57 PEIRCE 1998, S. 171f., 590; ECO 1985, S. 301.

werden und die Abbildung verwischt. Mit zu Parallelen gespiegelten Röntgenstrahlen lassen sich die Halbleiter viel präziser ätzen. Die Analogie lautet hier: Licht zu Parallelisierung *qua* Hummeraugenfacette wie Röntgenstrahlen zu Parallelisierung *qua* x (Hummer-Spiegelung). Allgemein lässt sich *primäre* Kreativität als Schematransfer *zwischen* alternen Bereichen („Kraftfluss“) von *sekundärer* Kreativität als Schematransfer *in* einem Bereich (Kolbenmotor) unterscheiden.⁵⁸ Nebenbei bemerkt: Die revolutionäre Kreativität expressionistischer Malerei der klassischen Moderne lässt sich in weiten Teilen auf einen Schematransfer musikalischer Strukturen auf die Malerei begreifen.

3.2 *Kreativität als Kompetenz*

Die Forderung nach Kreativitätsvermittlung als „Schlüsselkompetenz“ ist seit den frühen 1990er Jahren Gegenstand zahlreicher Denkschriften des Vereins Deutscher Ingenieure, des Verbandes Deutscher Maschinen- und Anlagenbauer, des Verbandes der chemischen Industrie sowie seinerzeit der Deutschen Kommission für Ingenieurausbildung (DKI). Auf den ersten Blick mag es beschämend für die Philosophie sein, dass eine Modellierung von Kreativität als Kompetenz deshalb nicht möglich scheint, weil Kompetenz als Fähigkeit steht und fällt mit der Klärung von Dispositionsprädikaten (erkennbar an Endungen wie „-bar“ oder „-lich“). Versuche einer formalen Klärung solcher Prädikate sind allesamt gescheitert, und die Diskussion bewegt sich aushilfsweise in Richtung der Aufarbeitung pragmatischer Konzepte. Was also ist Kompetenz?

Kompetenz ist ein gewohnheitsmäßig verfügbares „habitualisiertes“ Können. Als solches ist es im weiteren Sinne Disposition. Dispositionen als Möglichkeiten des Realwerdens sind durch zwei Komponenten charakterisiert, welche jeweils alleine eine Disposition nicht ausmachen: „Strukturbedingungen“ und „Realisierungsbedingungen“. Eine Disposition wie „Wasserlöslichkeit“ ist bestimmt durch ein entsprechendes Kristallgitter der Substanz als Strukturbedingung sowie Realisierungsbedingungen wie etwa den Aggregatzustand der entsprechenden Flüssigkeit, in der sich die Substanz auflösen soll, Druckverhältnisse, Temperaturverhältnisse etc. Die notwendige Doppelung von Bedingungen (Struktur- und Realisierungsbedingungen) mag anschaulich werden im Blick auf die Disposition „Mobilität“ auf dem Hintergrund zweier Werbeargumente älterer Provenienz: „Mars macht mobil“ verweist auf eine Optimierung von Realisierungsbedingungen (durch Traubenzuckerzufuhr), welche nicht zum gewünschten Effekt führt, wenn nicht als Strukturbedingung ein entsprechend verfasster Organismus (mit Strukturbedingungen wie hinreichendem Lungenvolumen und hinreichender Muskelfaserdichte) gegeben ist; „BMW macht mobil“ verweist auf eine Strukturbedingung, welche nicht zum Mobilsein führt, wenn nicht entsprechende Realisierungsbedingungen (freie Straßen etc.) zur Verfügung stehen. In weiten Bereichen der Natur und insbesondere der menschlichen Natur, für die nun „Kompetenz“ als Disposition näher zu betrachten ist, ist festzustellen, dass die Strukturbedingungen und die Realisierungsbedingungen in Wechselwirkung stehen, welche die Realisierungseffekte optimieren oder destruieren kann. Veranschaulichen lässt sich dies zunächst im Blick auf die Kompetenz zu sportlicher Leistung: Je nach Gestaltung der Realisierungsbedingungen (Trainings- und Ernährungsbedingungen) kann die Struktur des Organismus optimiert werden (Trainingseffekt), oder es können (unter ungünstigen Trainingsbedingungen oder unzureichender Ernährung) Strukturverluste eintreten. Dies kann in einer Weise geschehen, dass mit der erhofften Effizienzerhöhung Vereinseitigungs-

⁵⁸ BEITZ 1987, S. 126f.; WOLFF 1976, S. 13ff.

effekte einhergehen (wovon manch ruiniertes Körper eines Leistungssportlers zeugt) oder im Zuge zu weit getriebener Vereinseitigung gar Routinisierungsverluste eintreten, welche dem ursprünglichen Ziel einer Effizienzerhöhung direkt zuwider laufen; umgekehrt können durch differenzierte Gestaltung der Realisierungsbedingungen Anpassungs- und Kompensationseffekte gezeitigt werden, welche jene misslichen Folgen relativieren. Es wird ersichtlich, dass wir es hier mit dem Spannungsverhältnis von Effektivitätserhöhung und Effizienzerhöhung zu tun haben, das sich im sportlichen Bereich als Alternative zwischen einer „allseitigen“ Verbesserung der körperlichen Konstitution und derjenigen einer auf Höchstleistung getrimmten Spezialfunktion darstellt. Was für die körperlichen Kompetenzen gilt, lässt sich unschwer auf intellektuelle Kompetenzen übertragen. Wenn nun – wie es landläufig geschieht – die Kompetenzvermittlung als fruchtbare Alternative zur reinen Wissensvermittlung im Spannungsfeld zwischen Bildung (Effektivität) und Ausbildung (Effizienz) proklamiert wird, so zeigt sich, dass wir hier keineswegs aus dem Schneider sind: Denn jenes Spannungsverhältnis zwischen Effektivität und Effizienz kehrt im Bereich der Kompetenzvermittlung wieder.

Das Problem scheint in der programmatischen Forderung nach „Kompetenzvermittlung“ selbst zu liegen. Sicherlich wird es erforderlich sein, dass über eine geschickte Gestaltung von Trainingsbedingungen und nicht bloß über eine bereits in dem einleitend erwähnten Holzschnitt diskriminierte Vermittlung von Wissen Kreativität gefördert wird. Freilich zeigen die erwähnten Ansätze übereinstimmend, dass neben der Klarheit der Problemstellung gerade auch Wissen gegeben sein muss, damit ein Schematransfer oder die Bisoziation (KOESTLER) stattfinden können. Der Zufall begünstigt nur den vorbereiteten Geist, wie PASTEUR und POINCARÉ wiederholt betonen. Wenn bei der „Illumination“ Schemata aus unterschiedlichen Bereichen zusammenkommen sollen, müssen die Strukturen dieser Bereiche gekannt sein. Kreativität kann nicht im luftleeren Raum entstehen.

Die Illumination kann allerdings ihrerseits begünstigt werden durch Gestaltung einschlägiger Realisierungsbedingungen: Zum einen müssen Spielräume ungezwungenen Vorgehens vorgehalten werden, damit die unterschiedlichen Schemata „sich“ finden können in der „Inkubation“. Dazu gehört eine gewisse Freiheit zur Metaphorik und dem Spiel mit Analogien. Kreativität lässt sich nicht verordnen. Ferner müssen Räume für tentatives und riskantes praktisches Umsetzen geschaffen werden oder erhalten bleiben (also gerade nicht für zielorientierte Applikation), damit ein Experimentieren im Sinne von VON ENGELMEYER möglich bleibt: als Erfahrung von Widerständigkeit, die nicht durch technische Systeme und technische Medien aufgefangen und immunisiert wird. Nur so kann eine grundsätzliche Bewertung von Wissensbeständen erfolgen und damit eine Rückwirkung auf Strukturbedingungen von Kreativität erreicht werden. Es muss also Platz sein für die Artikulation eines „Unwohlseins“ mit standardisierten Lösungsroutinen, als Provokation der Infragestellung von durchaus anerkannten Wissensbeständen. Die Notwendigkeit der Schaffung solcher Freiräume scheint mir in den Entwicklungsabteilungen großer Unternehmen inzwischen in höherem Maße erkannt als in der Umgestaltung unseres Hochschulwesens hin zu höherer Funktionalität. (Immerhin hat das Züricher IBM-Forschungslabor zwei Nobelpreisträger hervorgebracht, für die die notwendigen Freiräume des Arbeitens offen gehalten waren.)

Ergänzend sei angefügt, dass als kleines Indiz für die Triftigkeit der Modellierung von Kreativität als Schematransfer die von den Neurowissenschaften vorgelegte Erklärung des Ausbleibens kreativen planbaren Werkzeuggebrauchs (neben der zweifellos vorhandenen Zufallstechnik) bei höheren Spezies gelten kann. Während z. B. bei Schimpansen bei der direkten Greifhandlung einer Rosine sowie bei der Beobachtung des Rosinengreifens durch

eine menschliche Hand die Spiegelneuronen aktiv sind, also eine Repräsentation des entsprechenden Vorgangs im Bewusstsein stattfindet, bleiben diese Spiegelneuronen stumm, wenn ein Affe zusieht, wie ein Mensch eine Rosine mit einer Pinzette greift. Der elementare Funktionstransfer von der Hand auf die Pinzette findet keine Repräsentation, oder, anders ausgedrückt: es findet keine höherstufige Repräsentation statt, die das Schema des Greifens sowohl auf die Repräsentation des Greifens mit der Hand als auch des Greifens mit dem Werkzeug bezieht.⁵⁹ Wenn man sich vergewissert, dass alle technischen Funktionen, selbst die elaboriertesten und abstraktesten bis hin zu den Intellektualtechniken der Mathematik, auf hochprojizierten ursprünglichen Handfunktionen (als ursprünglichen Metaphern) beruhen, könnte man hier ein weiteres Element gewinnen, welches sich in den Erklärungsansatz der Kreativität als Schematransfer fügt.

Literatur

- AGRICOLA, Rudolph: De inventione dialectica libri tres. Strasbourg 1521
ARISTOTELES: Topica (Organon V). Hamburg 1968
ASHBY, Ross W.: Einführung in die Kybernetik. Frankfurt (Main) 1974
AUGUSTINUS: De trinitate. Hamburg 2001
BACON, Francis: Distributio operis. In: The Works of Francis Bacon. Ed. by James SPELDING, IV, Nachdruck Stuttgart 1963
BEITZ, Wolfgang: Dubbel-Taschenbuch für den Maschinenbau. Berlin, Heidelberg, New York 1987
BILLING, Hans: Bemerkungen zum Regelbegriff. In: BERGHEL, Hal, HÜBNER, Adolf, und KÖHLER, Eckehart (Hrsg.): Wittgenstein, der Wiener Kreis und der Kritische Rationalismus. Wien 1979
BLACK, Max: Models and Metaphor. Ithaca 1962
BLOCH, Ernst: Das Prinzip Hoffnung. Frankfurt (Main) 1978
BORNSCHEUER, Lothar: Topik. Die Struktur der gesellschaftlichen Einbildungskraft. Frankfurt (Main) 1976
CARAMANA, E. J., SHASHKOV, M. J., and WHALEN, P. P.: Formulations of artificial viscosity for multi-dimensional shock wave computations. Journal of Computational Physics 144, 70–97 (1998)
CARNAP, Rudolf: Der logische Aufbau der Welt. Hamburg 1961
CICERO, Marcus Tullius: De oratore. Leipzig 1837
DESSAUER, Friedrich: Streit um die Technik. Frankfurt (Main) 1956
DILTHEY, Wilhelm: Der Aufbau der geschichtlichen Welt in den Geisteswissenschaften (GS VII). Stuttgart 1958
ECO, Umberto: Hörner, Hufe, Sohlen. Einige Hypothesen über drei Abduktionstypen. S. 228–320. In: ECO, Umberto, und SEBEOCK, Thomas A. (Hrsg.): Der Zirkel oder im Zeichen der Drei: Dupin-Holmes-Peirce. München 1985
EHRENSPIEL, Klaus: Vorlesung Konstruktionslehre I. TU München 1988
ENGELMEYER VON, Peter Klimentitsch: Der Dreiekt als Lehre von der Technik und der Erfindung. Berlin 1899/1910
FREY, Gerhard: Identität: Ontologische Voraussetzungen heuristischen Denkens. In: LEINFELLNER, Werner, KRAEMER, Eric, und SCHANK, Jeffrey (Hrsg.): Sprache und Ontologie. Wien 1982
FVS = DIELS, Hermann, und KRANZ, Walther: Die Fragmente der Vorsokratiker. Zürich, Hildesheim 1906/1971
HABERMAS, Jürgen: Theorie kommunikativen Handelns. Frankfurt (Main) 1981
HEIDEGGER, Martin: Vorträge und Aufsätze. Pfullingen 1962
HEMPEL, Carl Gustav: Aspekte Wissenschaftlicher Erklärung. Berlin, New York 1977
HENTSCHEL, Klaus: Mapping the Spectrum. Techniques of Visual Representation in Research and Teaching. Oxford 2002
HENTSCHEL, Klaus: Zur Bedeutung von Analogien in den Naturwissenschaften. Scientia poetica 11, 241–275 (2007)
HERBART, Johann Friedrich: Allgemeine Pädagogik (= Päd. Schriften II). Leipzig 1899
HUBIG, Christoph: Humanismus – Die Entdeckung des individuellen Ichs und die Reform der Erziehung. In: Propyläen-Literaturgeschichte. Bd. III, 31–67. Berlin 1984
HUBIG, Christoph: Vorlesung „Was ist Dialektik“? WS 2000/2001, <http://www.uni-stuttgart.de/philo/index.php?id=352>, 2000

59 NEUWEILER 2005, S. 30, nach GALLESE et al. 1996, S. 593ff.

- HUBIG, Christoph: Die Kunst des Möglichen I: Technikphilosophie als Reflexion der Medialität. Bielefeld 2006
HUBIG, Christoph: Die Kunst des Möglichen II: Ethik der Technik als provisorische Moral. Bielefeld 2007
HÜBNER, Karl: Kritik der wissenschaftlichen Vernunft. 3., verb. Aufl. Freiburg, München 1986
HUSSERL, Edmund: Die Krisis der europäischen Wissenschaften und die transzendente Phänomenologie (Ges. Werke VI). Hrsg. von Walter BIEMEL. Den Haag 1960
HUSSERL, Edmund: Cartesianische Meditationen und Pariser Vorträge. Den Haag 1973
JANICH, Peter: Kleine Philosophie der Naturwissenschaften. München 1997
KANT, Immanuel: Prolegomena zu einer jeden künftigen Metaphysik. Riga: Hartknoch 1783
KANT, Immanuel: Kritik der reinen Vernunft. Riga: Hartknoch 1787
KERN, Andrea: Quellen des Wissens. Zum Begriff vernünftiger Erkenntnisfähigkeiten. Frankfurt (Main) 2006
KERN, Andrea: Lebensformen und epistemische Fähigkeiten. DZPhil. 55/2, 245–260 (2007)
KÖNIG, Josef: Bemerkungen zur Metapher. In: KÖNIG, Josef: Kleine Schriften. Hrsg. von Günter DAHMS. S. 156–176. Freiburg 1994
KOEHLER, Arthur: The Act of Creation. New York 1964
KOJ, Leon: On Defining Meaning Families. *Studia logica* 25, 78–87 (1969)
LEIBNIZ, Gottfried Wilhelm: *Dissertatio de arte*. (1676) Ausg. GERHARDT. Bd. 4. Berlin 1878
LULLUS, Raimundus: *Ars compendiosa inveniendi veritatem*. (1272) Mogunt 1721
MACH, Ernst: Erkenntnis und Irrtum. Leipzig 1920
NEUWEILER, Gerhard: Der Ursprung unseres Verstandes. *Spektrum* 1, 24–31 (2005); nach: GALLESE, Vittorio, FADIGA, Luciano, FOGASSI, Leonardo, and RIZOLATTI, Giacomo: Action recognition in the premotor cortex. *Brain* 119, 593ff. (1996)
NORDENSTAM, Tule: Wohlvertrautheit-Gewißheit-kritische Reflexion. In: BÖHLER, Dietrich, NORDENSTAM, Tore, und SKIRBEKK, Gunnar (Hrsg.): Die pragmatische Wende. Frankfurt (Main) 1986
PAWLOWSKI, Tadeusz: Begriffsbildung und Definition. Berlin, New York 1980
PEIRCE, Charles Sanders: *Schriften II*. (1903) Frankfurt (Main) 1970
POINCARÉ, Henri: *Mathematical Creation*. (1913) In: GHISELIN, Brewster (Ed.): *The Creative Process*. Berkeley 1953
QUINE, Willard van Orman: *Natural Kinds*. In: QUINE, Willard van Orman: *Ontological Relativity and Other Essays*. New York, London 1969
QUINTILIAN, Marcus Fabius: *Institutionis oratoriae libri duodecim*. Leipzig 1869
REHDER, Wulf: Versuche zu einer Theorie von Gedankenexperimenten. *Grazer Phil. Studien* 11, 105–123 (1980)
REISCH, Gregor: *Margarita philosophica*. Freiburg: Schott 1503
REULEAUX, Franz: *Lehrbuch der Kinematik. Bd. 1: Theoretische Kinematik. Grundzüge einer Theorie des Maschinenwesens*. Braunschweig 1875
SCHIEMANN, Gregor, und KÖCHY, Kristian (Hrsg.): *Natur im Labor. Philosophia naturalis* 43/1 (2006)
SNELL, Bruno: Die Entdeckung des Geistes. *Studien zur Entstehung des europäischen Denkens bei den Griechen*. (1946) Göttingen 1993
STEGMÜLLER, Wolfgang: *Probleme und Resultate der analytischen Philosophie und Wissenschaftstheorie* 1. Berlin, Heidelberg 1969
TEUWSEN, Rudolf: *Familienangehörigkeit und Analogie*. Freiburg, München 1988
VDI 2221: Richtlinie „Methodik zum Entwickeln und Konstruieren technischer Systeme und Produkte“. Düsseldorf 1986
WALLAS, Graham: *The Art of the Thought*. London 1926
WINSBERG, Eric: Models of success versus success of models: Reliability without truth. *Synthese* 152, 1–19 (2006)
WITTGENSTEIN, Ludwig: *Philosophische Untersuchungen*. Frankfurt (Main) 1980
WOLFF, Joachim: *Kreatives Konstruieren*. Essen 1976

Prof. Dr. Christoph HUBIG
Institut für Philosophie
TU Darmstadt
S3 16 (Wallhaus) 101. Residenzschloss
64283 Darmstadt
Bundesrepublik Deutschland
Tel.: +49 6151 1664511
Fax: +49 6151 1672081
E-Mail: sekretariat_hubig@phil.tu-darmstadt.de

Vorträge und Abhandlungen zur Wissenschaftsgeschichte 2010

Acta Historica Leopoldina Nr. 55

Herausgegeben von Sybille GERSTENGARBE, Joachim KAASCH, Michael KAASCH,
Andreas KLEINERT und Benno PARTHIER (Halle/Saale)

(2010, 400 Seiten, 47 Abbildungen und 2 Tabellen, 23,95 Euro,
ISBN: 978-3-8047-2799-1)

Der Band enthält 11 Vorträge aus den wissenschaftshistorischen Seminaren der Leopoldina und zeigt damit die große Themenvielfalt dieser Veranstaltungen. Behandelt werden u. a. die Problemkreise „Die Natur als Magierin: Zum paracelsischen Erbe neuzeitlicher Medizin“ (H. SCHOTT), „Georg Ernst Stahls medizinische Theorie und der Pietismus des 18. Jahrhunderts“ (J. HELM), „Die tamilische Heilkunde in der Wahrnehmung der pietistischen Missionare der dänisch-halleschen Tranquebar-Mission in der ersten Hälfte des 18. Jahrhunderts“ (J. N. NEUMANN), „Matthias Jacob Schleiden und die Versammlungen Deutscher Naturforscher und Ärzte“ (I. JAHN), „Von der Adria an die Nordsee. Meeresbiologische Forschung in der Kaiser-Wilhelm-/Max-Planck-Gesellschaft“ (M. KAZEMI) und „Wandel und Wende in der ostdeutschen Wissenschaft – Pflanzenbiochemie als institutionelles Beispiel“ (B. PARTHIER). Biographische Fragestellungen verfolgen die Beiträge „Johann von Lamont (1805–1879) – ein Pionier des Erdmagnetismus“ (H. SOFFEL), „Der (un)bekannte Reformier – Wilhelm Friedrich Georg Behn (1808–1878) und die Reorganisation der Leopoldina“ (M. KAASCH) und „Bambusstrategie‘. Max Planck in der NS-Zeit“ (E. HENNING). Der Abschluss eines Bandes der Leopoldina-Ausgabe von Goethes Naturwissenschaftlichen Schriften (*Zur Farbenlehre und Optik nach 1810 und zur Tonlehre*) bildet den Hintergrund eines weiteren Referates (T. NICKOL), während ethische Fragen im Fokus der Ausführungen über „Euthanasie in Geschichte und Gegenwart – im Spektrum zwischen Lebensbeendigung und Sterbebeistand“ (D. VON ENGELHARDT) stehen. Drei Abhandlungen ergänzen den Band. Sie behandeln Leben und Wirken von Otto MEYERHOF und Karl LOHMANN (E. HOFMANN) und widmen sich Fragen der Leopoldina-Geschichte, u. a. dem „Ende des Wanderlebens“ der einst mit den jeweiligen Präsidenten ihren Sitzort wechselnden Akademie (M. KAASCH) bzw. den Gründen für die schließlich dauerhafte Ansiedelung der Leopoldina in Halle an der Saale (W. BERG und M. KAASCH).

Metaphern der Physik – eine fachdidaktische Reflexion

Lutz KASPER, Freiburg

Mit 5 Abbildungen

Zusammenfassung

Der vorliegende Artikel beleuchtet ein Thema aus dem Grenzbereich von Naturwissenschaft, Wissenschaftsgeschichte, Linguistik und Lernpsychologie, in dessen Mittelpunkt der Begriff der Metapher steht. Mit der Abgrenzung zu traditionellen Sichtweisen rückt die Metapher in die Nähe der für naturwissenschaftliche Erkenntnisprozesse konstitutiven „Analogien“ und „Modelle“, was eine weitere Abgrenzung erforderlich macht. Für den somit konturierten Begriff der „konzeptuellen Metapher“ können – auf Beispiele aus der physikalischen Fachsprache gestützt – erkenntnis- und kommunikationsfördernde Funktionen gezeigt werden. Die Diskussion der Rolle von Metaphern im Prozess der Popularisierung von Wissenschaft bildet den Übergang zu einer spezifisch fachdidaktischen Betrachtung des Themas, in der ein aktueller Forschungsbedarf für dieses Thema einschließlich des zu erwartenden Nutzens für die Disziplin herausgearbeitet wird. Abschließend wird mit dem *Metaphernlexikon der physikalischen Fachsprache* ein aktuelles Forschungsprojekt vorgestellt.

Abstract

The present article, centered on the term “metaphor”, concerns a crossover topic between science, the history of science, linguistics and cognitive psychology. In distinguishing the conceptual theory from a more traditional perspective, metaphor comes closer to “analogy” and “model” and a finer distinction becomes necessary. Conceptual metaphors are everywhere in the physics discourse. Textbook examples will be shown along with their functions. Metaphors within the popularization of science have a specific educational focus. With this in mind, current research requirements are formulated with their anticipated uses to the discipline. The article closes with a brief introduction to a current research project: a “dictionary of metaphors in the idiom of physics”.

1. Metaphern – zwischen Wissen und Nichtwissen

1.1 Konzeptuelle Metaphern als Teil kognitiver Prozesse

Metaphern sind zeitgeborene und zeitgebundene Signaturen auf der Alltagssprachlichen wie auch fachsprachlichen Oberfläche. Sie spiegeln sowohl gemeinschaftlich kulturelle als auch individuelle Erfahrungen wider. Für die Bilder einer Fachsprache sind hier noch die partiell gemeinschaftlichen Erfahrungen eines spezialisierten Denkkollektivs hinzu zu zählen. Was aber sind Metaphern? Welche Ursprünge und Funktionen können sie haben? Und schließlich, welchen Gewinn kann eine Fachdisziplin aus der Nachverfolgung dieser ihrer eigenen Sprachspuren erwarten?

Zur Bestimmung des hier gemeinten Begriffes der Metapher – gerade auch hinsichtlich seiner Bedeutung für Erkenntnisprozesse – ist zunächst eine Abgrenzung gegen traditionelle Sichtweisen erforderlich. Eine solche ist die auf ARISTOTELES (384–322 v. Chr.) zurückgehende Theorie, die Metaphern beschreibt als „die Übertragung eines Wortes [...], und zwar entweder von der Gattung auf die Art, oder von der Art auf die Gattung, oder von einer Art auf die andere, oder nach den Regeln der Analogie“. Nach solcher Lesart sind Metaphern wie auch Metonymien oder Synekdochen als Trope ein primär sprachliches Phänomen. Dieser Sicht folgend wird „Metapher“ standardgemäß auch in moderner Form definiert: „[Die Metapher] ist eine Redefigur, in welcher eine Sache als eine andere repräsentiert wird oder von ihr als einer anderen Sache gesprochen wird.“¹ Nach diesem Verständnis, wie auch im Licht linguistischer Vergleichstheorien der Metapher wird dem einzelnen Wort jeweils eine unveränderliche Bedeutung zugeschrieben.² REIMER und CAMP (2007) fassen die drei hauptsächlichen Einwände gegen die Vergleichstheorien der Metapher zusammen. Erstens lassen sich nicht alle Metaphern in die Form eines Vergleiches bringen. Zweitens wird der Theorie Oberflächlichkeit vorgeworfen aufgrund der Tatsache, dass alles allem in irgendeiner Hinsicht ähnlich ist und Ähnlichkeitsaussagen deshalb trivial sind. Drittens schließlich wird an der Vergleichstheorie kritisiert, dass Erklärungen der in Vergleichen enthaltenen Ähnlichkeiten selbst metaphorisch sind, was schließlich zu einem Zirkel der Erklärung führt.

Ein Paradigmenwechsel hinsichtlich der Charakterisierung von Metaphern und ihren Funktionen wurde durch die Annahme einer grundsätzlichen Unbestimmtheit der Bedeutung existierender Wörter eingeleitet. Die „Interaktionstheorie“ von RICHARDS und BLACK³ ist eben von diesem Unbestimmtheitsmerkmal gekennzeichnet und bildet eine der Grundlagen der „Theorie konzeptueller Metaphern“, der ich mich im Folgenden zuwenden möchte. In diesem Ansatz wird die Beschränkung der Metapher auf Sprachphänomene und damit die Ausblendung der Möglichkeit nicht-sprachlicher Metaphern aufgehoben. Aus kognitionswissenschaftlicher Perspektive werden sprachliche Metaphern somit als eine Manifestation primärer konzeptueller Strukturen gesehen. Die Bemühungen der Kognitionswissenschaften zielen ab auf die Untersuchung des Einflusses von Metaphern sowohl auf unser Denken als auch auf unser Handeln, womit auch das hier in den Fokus gerückte didaktische Forschungsinteresse zu begründen ist.

Einflussreiche Beiträge zu einer kognitiven Theorie konzeptueller Metaphern haben seit den 1980er Jahren vor allem George LAKOFF⁴ und seine Koautoren geleistet. Durch konzeptuelle Metaphern der Art „X ist Y“ wird ein Erkenntnisgegenstand aus einem relativ vertrauten Bereich X („Zielbereich“ bzw. *target domain*) partiell in Begriffen eines anderen, relativ unvertrauten Bereiches Y („Basisbereich“ bzw. *source domain*) strukturiert.⁵ Eine zentrale Aussage der von LAKOFF entwickelten Theorie ist, dass diese metaphorischen Strukturen

1 REIMER und CAMP 2007, S. 24.

2 Die zentrale Aussage von Vergleichstheorien ist, dass sich eine Metapher „A ist B“ auf den Vergleich „A ist wie B“ zurückführen lässt. Die Bedeutung einer Metapher wird dann aus der Interpretation des entsprechenden Vergleiches gewonnen. Einen fundierten – wenn auch nicht vergleichenden – Überblick der verschiedenen Metaphertheorien findet man in ROLF 2005.

3 RICHARDS 1936, BLACK 1962.

4 George LAKOFF: geb. 1941, Ph.D. (Linguistik) 1966 an der Universität Indiana, Professur für Linguistik an der Universität Berkeley seit 1972, Forschungsaktivitäten: kognitive Linguistik (*neural theory of language*), konzeptuelle Metaphern, Anwendungen der kognitiven Linguistik auf Politik, Literatur und Wissenschaften (speziell Philosophie und Mathematik).

5 LAKOFF und JOHNSON 1980, 1999, LAKOFF und NUNEZ 2000.

nicht nach zufälligen Mustern auftreten, sondern sich auf Fallklassen mit bestimmten gemeinsamen Merkmalen zurückführen lassen. Diese Fallklassen entsprechen den Konzeptualisierungen, die durch je gleiche Basis- und Zielbereiche der Metapher charakterisiert werden können. Die durch Erfahrungswissen vertrauten Basisbereiche und die tendenziell unvertrauten Zielbereiche bilden hinreichend umrissene Bedeutungs- oder Bildfelder mit einem jeweils internen Gefüge aus Objekten, Attributen und Relationen. Solche Bildfelder werden im Folgenden auch als „Metaphernfelder“ bezeichnet.

Am Beispiel einiger verbreiteter Redewendungen zur Verständigung über den vergleichsweise abstrakten Begriff „Theorie“ kann die Struktur konzeptueller Metaphern illustriert werden. Über Theorien spricht man etwa in folgender Form: „Fundamente einer Theorie“; „Eckpfeiler einer Theorie“; „Theorien zum Einsturz bringen“; „Umbau einer Theorie“; „Einstiege in und Zugänge zu einer Theorie“; „Theorien, die auf Sand gebaut sind“ usw. Diese exemplarische Auswahl weist auf das allen Einzelaussagen gemeinsame Metaphernfeld „Gebäude“ hin. Es umfasst einen Erfahrungsbereich, der für nahezu alle Menschen als vertraut vorausgesetzt werden kann. Die konzeptuelle Metapher lautet somit: *Theorien sind Gebäude*. Wir „machen uns ein Bild“ von Theorien, indem wir sie uns als Gebäude vorstellen. Wie belastbar eine solche Metapher sein kann, zeigt folgendes Zitat von Antoine LAVOISIER (1743–1794) aus dem Jahr 1777⁶:

„So gefährlich, wie der Geist der *Lehrgebäude in den physikalischen Wissenschaften* ist, so sehr ist auch zu befürchten, daß man durch Anhäufung einer zu großen Menge an Versuchen, ohne Ordnung, die Wissenschaft, anstatt sie aufzuklären, nur verdunkeln, denen welche *sich einen Eingang in dieselbe eröffnen wollen, den Zugang erschweren* und endlich, zum Lohne langwieriger und mühseliger Arbeiten nur Unordnung und Verwirrung davon tragen möge. *Die Thatsachen, die Wahrnehmungen, die Versuche, sind die Materiale eines großen Gebäudes*; aber bei der Sammlung derselben muß man vermeiden, daß sie keinen unordentlichen und hinderlichen *Schutthaufen in der Wissenschaft ausmachen*, sondern sich darauf legen, *sie in Classen einzutheilen, das was jeder Ordnung, jedem Theile des Gebäudes, zugehört*, zu unterscheiden, kurz sie zum voraus so anzuordnen, daß sie einen Theil des Ganzen ausmachen, zu welchem sie gehören.“

Wörtlich aufgefasst, behauptet ein Satz wie „Theorien sind Gebäude“ etwas Unmögliches, ja etwas Absurdes. Das Maß für solche die Metaphern charakterisierenden logischen Inkompatibilitäten ist die *semantische Differenz*. Im literarischen Kontext kann diese nicht groß genug sein, die Entfremdung ist hier angestrebt. In wissenschaftlichen Zusammenhängen, in denen es immer um Beschreibungen oder Erklärungen geht, ist jedoch Nähe geboten. Was aber meint „Nähe“ angesichts zweier sich deutlich unterscheidender Bedeutungsfelder? Sie kann jedenfalls nicht mit einem Abstandsmaß bestimmt werden, sondern erfordert eine ganz bestimmte Qualität der Übertragungen. Eine solche genauere Betrachtung jenes Transfers erfolgt im nachfolgenden Abschnitt „Metaphern, Analogien, Modelle“.

Für den Basisbereich einer Metapher wird gelegentlich auch die Bezeichnung *Erfahrungsbereich* verwendet. Dabei ist „Erfahrung“ nicht im Sinn bloßer Erinnerung zu verstehen. Vielmehr lässt sich aus neurophysiologischer Sicht die Erzeugung metaphorischer Konzeptualisierungen vereinfachend als die gemeinsame Aktivierung mehrerer Gehirnbereiche beschreiben, welche auf einzelne komplexe Erfahrungen gründen. Werden z. B. Kleinstkin-

⁶ In HENTSCHEL 2007b, S. 38, Hervorhebung L. K.

der von ihren Eltern eng am Körper gehalten, so erfahren sie Zuwendung und spüren gleichzeitig die Körperwärme. Es entsteht eine „Verschaltung“ von sich „Hingezogenfühlen“ mit „Wärme“, auf deren Basis wir – ohne darüber nachdenken zu müssen – den Sinn solcher Aussagen wie „ein warmes Lächeln“ oder „eine unterkühlte Atmosphäre“ verstehen. Auf diese Weise werden neuronale Verlinkungen quer über unterschiedliche Domänen zum Kondensationskeim späterer konzeptueller Metaphern, in denen eine Domäne in Begriffen der anderen konzeptualisiert wird (LAKOFF und NUNEZ 2000).

Mit dem gezeigten Beispiel ist ein Hinweis auf die *Erfahrungsbasiertheit* als ein konstitutiver Bestandteil der kognitiven Metapherntheorie gegeben. Didaktische Ableitungen für das naturwissenschaftliche Lernen sind in diesem Sinn auch als „Theorie des erfahrungsbasierten Lernens“ formuliert worden (GROPENGIESSER 2007). Einen theoretischen Vorläufer des Erfahrungsgedankens findet man jedoch bereits bei KANT (1781/1994):

„Alles Denken aber muß sich, es sei geradezu (direkte) oder im Umschweife (indirekte), vermittelt gewisser Merkmale, zuletzt auf Anschauungen, mithin, bei uns, auf Sinnlichkeit beziehen, weil uns auf andere Weise kein Gegenstand gegeben werden kann.“

Ihren eigentlichen Beginn erfuhr die Erfahrungswissenschaft allerdings noch früher, nämlich mit der aufkommenden Epoche der Aufklärung, durch John LOCKE (1632–1704), der in seinem *Essay concerning Humane Understanding* (LOCKE 1690) die bis zu diesem Zeitpunkt postulierte ausschließlich kommunikative Funktion der Sprache um eine kognitive Funktion erweiterte.

Die Grundlage unserer „Erfahrungen“ bilden Interaktionen mit unserer jeweils individuellen physischen und sozialen Umwelt. So werden von Beginn unseres Lebens an Herausbildung und Veränderung neuronaler Strukturen bewirkt, die in sogenannten *image schemata* bzw. *kinaesthetic image schemata*⁷ resultieren. Solche Schemata können orientierender (z. B. vertikale Orientierung: *more is up*) oder auch ontologisierender Art (z. B. innen-außen: „Behälterkonzept“) sein. Die damit zusammenhängende „Verkörperung“ unseres Begriffssystems (*embodied mind*) erfährt aktuell eine zunehmende Beachtung durch die neurophysiologische Forschung. Empirische Hinweise auf das Zusammenwirken von sensomotorischem System und dem konzeptuellen Wissen werden von GALLESE und LAKOFF (2005) gegeben. Die von den Autoren entworfene Theorie (*neural theory of conceptual metaphor*) fasst konzeptuelle Metaphern als Verbindungen quer über konzeptuelle Domänen auf, und zwar “from a (typically) sensory-motor source domain to a (typically) non-sensory-motor target domain”.

Mit der in diesem Abschnitt gezeigten Abgrenzung gegen traditionelle Substitutions- und Vergleichsansätze lassen sich zusammenfassend konzeptuelle Metaphern als Strukturübertragungen zwischen Erkenntnisbereichen unterschiedlicher Vertrautheit auffassen, die ihrem Ursprung nach „verkörpert“ sind und die sich zwar sprachlich manifestieren, jedoch auch unser Denken und Handeln strukturieren und insofern nicht bloß sprachliche Erscheinungen darstellen.

Diese Kennzeichnung der konzeptuellen Metapher lässt sie in die Nähe des Analogie- und Modellbegriffs rücken. Im nachfolgenden Abschnitt soll daher der Versuch einer begrifflichen Klärung und der damit verbundenen kategorialen Abgrenzung unternommen werden.

7 Vgl. LAKOFF und JOHNSON 1999, LAKOFF und NUNEZ 2000.

1.2 Metaphern, Analogien, Modelle

Tatsächlich sind in der fachdidaktischen Literatur bezüglich der Termini „Modell“, „Analogie“ und „Metapher“ Unschärfen wahrnehmbar. So wird in KIRCHER (1995) generell eine heterogene und unpräzise Verwendung des Ausdrucks „Analogie“ beklagt. Unter Bezug auf eine jeweils hergestellte Transferrelation zwischen zwei Bereichen sowohl bei Metaphern als auch bei Analogien wird in DUIT und GLYNN (1992) ausgeführt, dass sich Metaphern und Analogien nicht scharf trennen lassen. Als Bezeichnungen sind in der didaktischen Fachliteratur für den Bereich des Bekannten *Analogbereich* oder *analoger Lernbereich* und für den Bereich des Nichtvertrauten *Zielbereich* oder *primärer Lernbereich* gebräuchlich. Der Modellbegriff kommt nun dadurch ins Spiel, dass der Analogbereich häufig auch „Modell“ genannt wird (KIRCHER 1995).

In vergleichbarer Weise fällt sowohl in der Fachwissenschaft als auch in der Wissenschaftsphilosophie eine scharfe begriffliche Trennung schwer. Entsprechenden Beschreibungen liegen oft derart weit gefasste Definitionen von „Metapher“ zu Grunde, die dann auch Modelle und Analogien begrifflich mit einbeziehen.⁸ Weitere Positionen zur kategorialen Unterscheidung bzw. Bestimmung von „Analogie“, „Modell“ und „Metapher“ findet man z. B. in HENTSCHEL (2007) sowie in HENTSCHELS Einleitung zu diesem Sammelband. Konzeptualisierungen in metaphorischer Gestalt werden hier als kognitiver Prozess, als ein „allgemeines menschliches Vermögen, [...] als die Fähigkeit, etwas als etwas zu sehen“ (FICHTNER 1990) aufgefasst. Eine genauere Beschreibung dieses einen und anderen „Etwas“ sowie der beide verknüpfenden Struktur gelingt mithilfe der *structure mapping theory* (GENTNER 1988, GENTNER und COLHOUN 2008). Auch dort wird in Ermangelung eines geeigneten Sammelbegriffs für nicht wörtliche Übertragungen der „neutrale“ Terminus „Analogie“ benutzt, um sowohl Modelle als auch Metaphern zu diskutieren.

Dem Ansatz GENTNERS zufolge lassen sich konzeptuelle Übertragungen als Strukturabbildungen von einem komplexen System auf ein anderes darstellen. Dabei bilden das Basis- und Zielsystem jeweils die Metaphern- bzw. Bild- oder Bedeutungsfelder. Typischerweise ist der Zielbereich als ein Lerngegenstand neu und abstrakt. Der Basisbereich dagegen ist vertraut, wenigstens aber vertrauter als der Zielbereich und oft in den Dimensionen unseres Erfahrungskosmos visualisierbar. Bei der Verknüpfung von Basis- und Zielbereich wird im Licht des Strukturabbildungs-Ansatzes zwischen Objekten und ihren Attributen einerseits und den sie verbindenden Relationen andererseits unterschieden. Eine verallgemeinerte Darstellung des Relationsgefüges gibt Abbildung 1 wieder.

Die Differenzierung, d. h., der Grad der „Verschaltung“ der Objektattribute einerseits oder ihrer relationalen Struktur andererseits, dient der Kennzeichnung einer Übertragung als eher oberflächenorientiert, d. h. durch attributionale Abbildungen geprägt oder als Übertragung hoher Systematizität aufgrund vielfältiger relationaler Abbildungen. Diese Unterscheidung kann durch zwei Beispiele aus der Physik illustriert werden. Betrachten wir zunächst einen Begriff, der spätestens mit der Verleihung des Nobelpreises für Physik im Jahr 2005 aufkam, den „Frequenzkamm“.⁹ Eine populärwissenschaftliche Begriffsbeschreibung lautet:

⁸ Vgl. PULACZEWSKA 1999, S. 57.

⁹ Theodor HÄNSCH und John Lewis HALL erhielten 2005 den Physik-Nobelpreis für ihren Beitrag zur Entwicklung der laserbasierten Präzisionspektrografie.

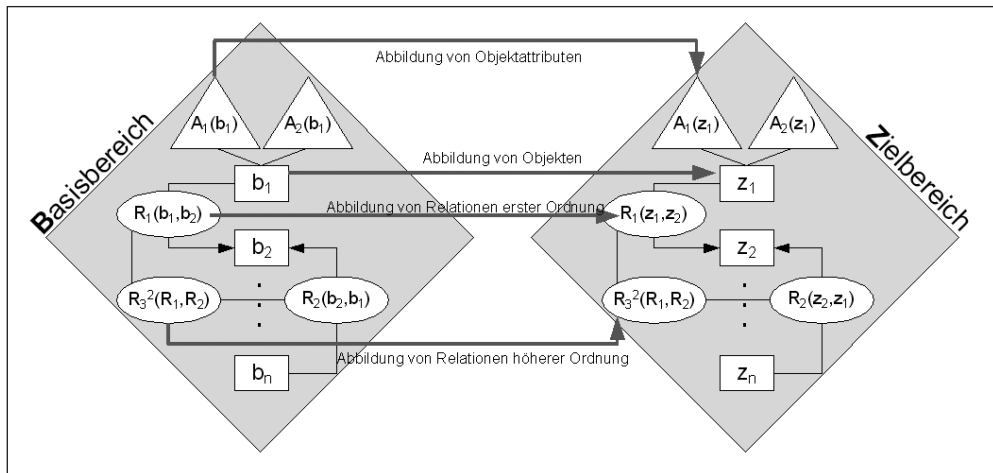


Abb. 1 Strukturabbildungen konzeptueller Übertragungen

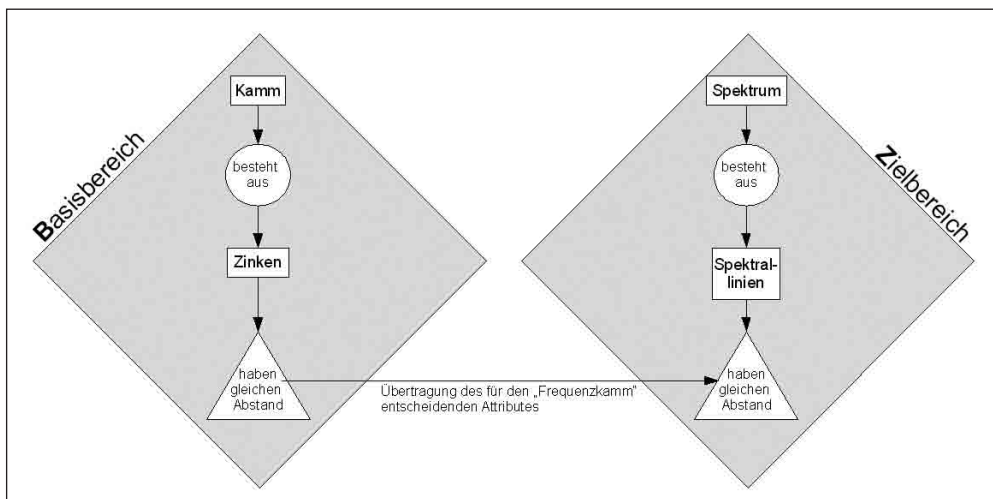


Abb. 2 Strukturdiagramm der Metapher „Frequenzkamm“

„Dabei entsteht Laserlicht, das an die 100 000 sehr dicht benachbarte Spektrallinien enthält, deren Frequenzabstand immer gleich und extrem genau bekannt ist – daher die Bezeichnung Kamm.“¹⁰

Eine Analyse der in diesem Fall überschaubaren Basisbereich-/Zielbereich-Struktur (vgl. Abb. 2) zeigt, dass die wesentliche Übertragung mit der Abbildung des Attributes „haben gleichen Abstand“ stattfindet.

¹⁰ MaxPlanckForschung 1/2008, S. 11.

Diese Metapher (!) ist sichtbar strukturarm und kann daher keine höhere Systematizität erreichen. Ihren Erfolg, d. h. ihre Verbreitung, verdankt sie einer durch die Forschung entstandenen lexikalischen Lücke, die sie perfekt auszufüllen vermochte.

Ein anderes Beispiel, in dem größerer Strukturreichtum erkennbar wird, ist folgende in didaktischer Absicht geschaffene konzeptuelle Übertragung:

“Electron comes to town, wants to go into the cheapest hotel. It goes into the cheapest one that’s available. If the 1s is there, if it’s empty, fine. If the 2s is there, empty, fine. 2p? Great. What’s the next lowest?”¹¹

Anders als beim „Frequenzkamm“ haben wir es hier mit einem schon komplexeren Gefüge aus Objekten, Attributen und Relationen zu tun. Abbildung 3 zeigt die relationale Struktur des Basisbereiches („Eine Person sucht ein Hotel.“) und des Zielbereiches („Besetzungsregeln der Elektronenschalen“).

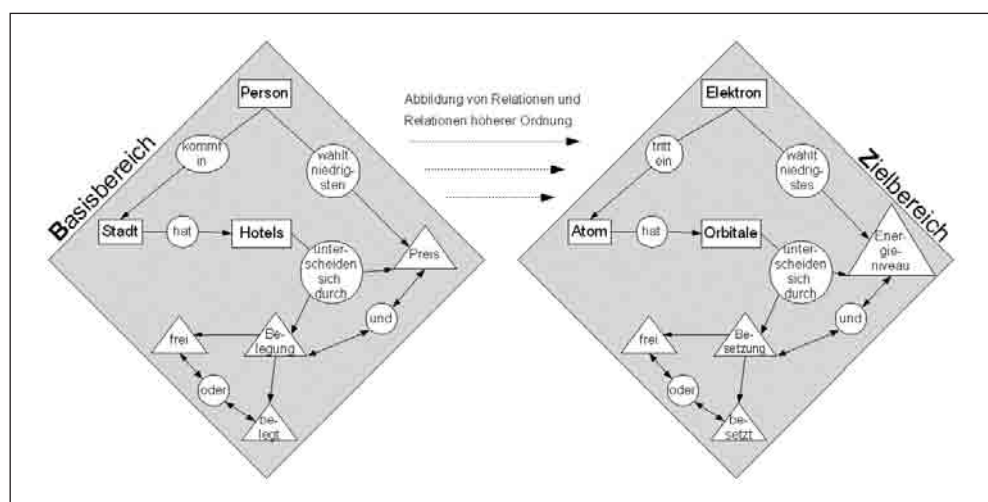


Abb. 3 Strukturdiagramm der didaktisch intendierten konzeptuellen Übertragung “Electron comes to town ...”

Es wird deutlich, dass hier die wesentliche Abbildung, nämlich die, auf deren Grundlage die Übertragung „funktioniert“, eine Abbildung der Relationen ist und somit ein höherer Grad an Systematizität erreicht werden kann.

Konzeptuellen Metaphern wird insbesondere immer dann eine besondere Wirksamkeit zugesprochen, wenn ihre Übertragungen in kohärenten Verbänden aus demselben Bildfeld,

¹¹ LEMKE 1990, S. 117. Der Autor selbst bezeichnet dieses Beispiel als *extended metaphor*. Im Sinne der Theorie der Strukturabbildungen (GENTNER und JEZORSKI 1993) kennzeichnet dieses Beispiel eine deutliche Dominanz der relationalen Übertragung und trägt damit ein wesentliches Merkmal der *Analogie*. Aus didaktischer Perspektive erscheint hier auch die Darbietung der Übertragung interessant: Wir haben es in dem zitierten Satz mit einer Mischform zu tun, in der die Aussage zunächst mit *electron* (Zielbereich) beginnt. Dann tauchen überraschend – und in diesem Sinn metaphorisch – die Begriffe *town*, *hotel* und *cheapest* auf (Basisbereich), um schließlich mit *lowest* (Zielbereich) zu enden. Es findet nach dem Auslösen des Übertragungsprozesses ein mehrfacher Wechsel – typisch für Metaphern! – des Begriffsapparates von Basis- und Zielbereich statt.

dem *Metaphernfeld*, auftreten, wenn sie also im Sinne der „Verschaltung“ eine hohe Systematizität erreichen und damit auch den Keim zu tieferen Analogien oder auch hypothetischen Modellen in sich tragen. Bestehende Verbindungen von nichtisolierten Metaphern innerhalb eines Metaphernfeldes sind dann nämlich latent vorhanden und müssen nicht neu angelegt werden. Damit ist ein Hinweis gegeben auf die potenzielle „Evolution“ einer individuell entstandenen Metapher über eine kollektiv genutzte Analogie bis hin zum anerkannten Modell einer Fachkultur. Belege einer solchen Entwicklung ließen sich durch historisch-vergleichende Untersuchungen und Fallstudien erbringen.

GENTNER und JEZIORSKI (1993) sehen Analogien im Rahmen des Strukturabbildungsansatzes (*structure mapping theory*) als einen Spezialfall der Metaphern, bei dem eine dominant relationale Abbildung stattfindet:

“We view metaphor as a rather broad category, encompassing analogy and mere-appearance, as well as a variety of other kinds of matches. On this view analogy is a special case of metaphor, one based on a purely relational match.”¹²

Somit bilden attributionale Metaphern (*mere-appearances*), also solche, bei denen nur Objektbeschreibungen mithilfe übertragener Attribute erfolgen, das andere Ende des Spektrums.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass „Metapher“, „Analogie“ und „Modell“ als wissenschaftliche Kategorien in einem jeweils spezifischen Umfeld verankert sind und insofern polysemische Begriffe darstellen, dass sie darüber hinaus jedoch selbst bei Einhaltung nur einer – etwa der fachdidaktischen – Perspektive nicht begrifflich trennscharf zu erfassen sind. An die Stelle ihrer Definitionen muss somit eine „abgeschwächte“ Form von *idealtypischer Beschreibung* treten. Mit dem oben beschriebenen Strukturabbildungsansatz verfügen wir über ein leistungsfähiges Instrument für eine solche kategoriale Zuordnung einerseits zum Idealtypus Analogie, als einer dominant relationalen Strukturübertragung, und andererseits zum Idealtypus Metapher, als einer dominant attributionalen Strukturübertragung.

Unter Berücksichtigung dieser Differenzierung in Verbindung mit der kognitiven Theorie der konzeptuellen Metapher möchte ich abschließend vier Merkmale vorschlagen, die der Zuordnung konzeptueller Übertragungen zu einem der Idealtypen Metapher bzw. Analogie dienen können.

- (a.) Während Analogien (wie auch Modelle) stets bewusst und absichtsvoll als heuristisches Werkzeug zum Einsatz kommen, bilden Metaphern einen kognitiven Prozess, der in der Regel unbewusst verläuft. Auf der sprachlichen Ebene zeigt sich dieser Unterschied z. B. im Vorhandensein resp. Fehlen von Signalen, die einen Vergleich explizit ankündigen. Solche Signale können das Wort „wie“ oder der Einschluss in die schriftsprachlichen Anführungszeichen sein.
- (b.) Analogien betonen im Normalfall die strukturellen Übereinstimmungen zwischen zwei Bereichen. Für metaphorische Konzeptualisierungen kann im Sinne der unter (a.) genannten Unbewusstheit nicht von einer solchen Betonung ausgegangen werden. Oft ist sogar erst die Wahrnehmung logischer Unkompatibilitäten, der *semantischen Differenz*, ein motivierender Auslöser für Erkenntnisprozesse.

12 GENTNER und JEZIORSKI 1993, S. 452.

- (c.) Analogien lassen sich durch die Gleichheit mathematischer Strukturen zwischen zwei Bereichen beschreiben.¹³ In metaphorischen Konzeptualisierungen lässt sich für die – oft attributional – verknüpften Bereiche eine Ähnlichkeit im mathematischen Sinn in der Regel nicht erkennen.
- (d.) Während Analogien im Sinne von Ähnlichkeitsrelationen als symmetrische Übertragungen anzusehen sind, lässt sich diese Aussage für Metaphern nicht halten. Dies wird am Beispiel der eingangs vorgestellten Metapher „Theorien sind Gebäude“ deutlich. Eine Umkehrung in „Gebäude sind Theorien“ könnte möglicherweise für Architekten ein reizvoller Ansatz sein, die „in der anderen Richtung“ beabsichtigte Aussage jedoch wäre vollkommen entstellt. Auch die Tendenz, mithilfe vergleichsweise konkreter Basisbereiche einen abstrakteren Zielbereich zu konzeptualisieren ist schwer mit der Annahme einer symmetrischen Übertragung vereinbar. Insofern wird hier von der *Unidirektionalität der Metapher* ausgegangen.¹⁴

2. Metaphernfelder im Kontext der Physik

2.1 Konzeptuelle Metaphern in der Fachwissenschaft Physik

Wie auch in anderen Lebens- und Arbeitsbereichen werden Menschen im Wissenschaftsbetrieb ständig mit Neuem konfrontiert – etwa bisher nie „gesehenen“ Strukturen im Mikro- bzw. Makrokosmos. Auch in der Wissenschaft hilft beim Bemühen, die Welt zu verstehen, oft die Strategie, das Vertraute im Unbekannten zu finden. Diese Übertragung von bekannten auf neue Strukturen als Wahrnehmung von Ähnlichkeiten erfolgt von Beginn an in unserem Entwicklungsprozess. Im Folgenden wird davon ausgegangen, dass Metaphern als konzeptuelle Struktur für die Entstehung naturwissenschaftlichen Wissens eine vergleichbare Rolle wie Modelle spielen. Eine Unterscheidung dieser beiden von Analogiebildung bestimmten Kategorien liegt darin, dass Modellbildungen im Allgemeinen die Übereinstimmungen zweier Systeme betonen, während Metaphern oft gerade vom Spannungsbogen zwischen Übereinstimmung und Nichtübereinstimmung „leben“ (vgl. Merkmal (b.) im vorangehenden Abschnitt). Metaphern in den Naturwissenschaften, insbesondere in der Physik sind bislang vorwiegend als Fallstudien untersucht worden.¹⁵ Eine systematische Aufarbeitung von domänenspezifischem Metapherngebrauch in der Physik steht – falls dies überhaupt zu leisten ist – noch aus.

Metaphoriken in den Naturwissenschaften lassen sich anhand verschiedener Kriterien klassifizieren. Eine Möglichkeit besteht darin, die konzeptuellen Metaphern in Abhängigkeit von ihrem Basisbereich zunächst zwei Klassen zuzuordnen. Der erste, weitaus häufigere Fall schließt alle Konzeptualisierungen mit einem Basisbereich außerhalb der eigentlichen Wissenschaft – also im Bereich der allgemeinen Alltagserfahrungen – ein. Solche Metaphern nenne ich im Weiteren *Importübertragungen*. Ein Beispiel ist das Fluidums-Konzept des Lichts, bei dem das vergleichsweise abstrakte physikalische Objekt „Licht“ in Begriffen des vertrauteren

13 Ein ausführlich diskutiertes Beispiel für eine Analogie zwischen Mechanik, Elektrizitätslehre, Wärmelehre und Stofflehre wird in HERRMANN 2006, gegeben.

14 Der *Unidirektionalitäts-These* wird jedoch vorgeworfen, dass der Einfluss früher kultureller Erfahrungen auf die Sprache unberücksichtigt bleibt, was in einigen Fällen zur Unvereinbarkeit mit der Postulierung einer gerichteten Metaphorisierung (von konkret zu abstrakt) führt.

15 Zum Beispiel PULACZEWSKA 1999, BROOKES und ETKINA 2007.

Erfahrungsbereiches „Fluidum“ verstanden wird. Diese Übertragung führt dann zu einem Feld kohärenter Einzelmetaphern wie „Lichtquelle“, „Lichtstrom“, „Lichtfluss“ usw.

Mit dem Wachsen des Erfahrungsraumes einer Fachkultur und des damit verbundenen fachwissenschaftlichen Begriffssystems entstehen zunehmend auch Metaphorisierungen mit einem Basisbereich, der sich fachinterner Begriffe bedient. Diesen Typus nenne ich im Weiteren *Binnenübertragung*. „Licht“ – im vorangegangenen Beispiel noch Gegenstand des Zielbereiches – kann auch, wenn es als Phänomen der Physik hinreichend verstanden worden ist, als Basisbereich einer neuen Metaphorik dienen. So werden im folgenden Zitat die Transmission von Ionen als „Lichtstärke“ und die Ionen selbst als „Licht“ konzeptualisiert: „Bei der Konstruktion von Massenspektrographen muß man darauf achten, daß neben einer hohen Massenauflösung auch eine hinreichende ‚Lichtstärke‘ erreicht wird.“

Orientiert an den mit der jeweiligen Konzeptualisierung verbundenen Funktionen schlägt HAVEL (2007) fünf Kategorien¹⁶ vor, die als eine Rangreihe von Metaphern mit jeweils wachsendem heuristischen Potenzial zu verstehen sind:

- (1.) Metaphern, die die Kommunikation zwischen Experten vereinfachen, unterstützen bzw. beschleunigen: Beispiele hierfür sind das „Feld“, der „Tunnel-Effekt“ oder die „String-Theorie“. Solche Metaphorisierungen werden – wenn sie sich erst einmal unter den Spezialisten mit Erfolg verbreitet haben – oft schnell in das Wörterbuch der Disziplin aufgenommen und dadurch zu toten Metaphern.
- (2.) Metaphern, die transdisziplinäre Verbindungen herstellen: Solche *bridging concepts* sind z. B. die in den Kognitionswissenschaften benutzte Konzeptualisierung des „Gehirns als Computer“ oder das Konzept des „Chaos“.
- (3.) Anthropomorphismen: Sie ermöglichen die Beschreibung von Phänomenen der nicht-menschlichen und sogar nichtorganischen Welt in Begriffen menschlicher Merkmale oder Handlungen. Auch die „harten“ empirischen Wissenschaften kommen ohne diese Konzeptualisierung nicht aus. Folgende Beispiele sind einem renommierten Hochschul-lehrbuch der Physik entnommen und bilden keine Einzelfunde: „Wenn der Stoßvorgang keine Energie verzehrt [...]“, „Die Anwendung dieser Energieformel zeigt, warum die stabilen Kerne sich im Energietal zusammendrängen.“¹⁷
- (4.) Metaphern, die „das Neue und Unbekannte“ beschreiben. Um auch über das noch nicht Verstandene sprechen zu können, muss es benannt werden. So werden „unbeschreiblichen“, theoretisch noch nicht durchdrungenen Phänomenen Namen wie „Dunkle Energie“ gegeben. Solche Namen haben – wie die korrespondierenden Theorien – immer einen tentativen Charakter. Wie das Beispiel „Caloricum“ zeigt, können solche Begriffe auch wieder aus dem Fachlexikon gestrichen werden.
- (5.) Metaphern, die neue Denkrichtungen eröffnen.

Die im letzten Punkt betonte Öffnung kann prinzipiell nur bei solchen konzeptuellen Übertragungen gelingen, bei denen im Sinne der bereits diskutierten Reichhaltigkeit der Strukturabbildungen ein ausreichender Grad der Systematizität erreicht wird, wenn also für eine kreative „Auslegung“ der Metaphorik gangbare Wege zur Verfügung stehen.

Neben den fünf an den Funktionen für Erkenntnisprozesse orientierten Kategorien sowie der auf den „Ort“ des Basisbereiches beruhenden Einteilung in „Binnen-“ bzw. „Importüber-

16 HAVEL 2007, S. 27.

17 GERTHSEN 1999, S. 33, 677.

tragungen“ kommt für die in physikalischer Fachsprache identifizierten Metaphern auch die Kategorisierung mit einem fachunabhängigen Raster infrage. Solche sind räumliche Konzepte (Behälter-Schema), Weg-Metaphern, „Zeit ist Bewegung“, „Zustände sind Orte“, „Ähnlichkeit ist Nähe“, „kausale Gründe sind Kräfte“, „Wissen ist Sehen“, „Sehen ist Berühren“ usw.¹⁸

2.2 Metaphern als Strategie der Popularisierung von Wissenschaft

Das Verhältnis insbesondere der Naturwissenschaften zum Medium Sprache ist traditionell von Misstrauen geprägt. Oft äußert sich dieser Tatbestand in einer „unausgesprochenen Norm, den medialen Eigencharakter der Sprache so weit wie möglich zurückzudrängen“.¹⁹ Obwohl – wie bereits im vorangegangenen Abschnitt gezeigt werden konnte – die naturwissenschaftliche Terminologie dicht von Metaphorisierungen durchzogen ist, muss in diesem Zusammenhang das für wissenschaftliche Darstellungen postulierte Metaphern-Tabu²⁰ verstanden werden. Allerdings kommt die gegen Metaphern gerichtete Rhetorik selbst nur mithilfe subtiler Metaphorik aus. So soll das genannte Stiltabu der Sprache im wissenschaftlichen Kontext zur „Klarheit“ verhelfen. Die hier noch versteckte in ihrem Kern aber als Konzeptualisierung des „Sehens“ angelegte Metaphorik wird gelegentlich offengelegt:

„Die wissenschaftliche Sprache soll [...] im Gegensatz zur literarischen Sprache idealerweise so transparent wie klares Glas sein [...] so wie ein Schaufenster Durchsicht auf dahinter befindliche Objekte gewährt.“²¹

So vehement ein bewusster Metapherngebrauch in der fachinternen Kommunikation abgelehnt wird, so selbstverständlich bedient man sich im populärwissenschaftlichen Vermittlungsprozess einer bilderreichen Sprache. Ja es scheint gerade so, als herrschte auf diesem Feld ein Federn-Wettstreit um die kühnste Metapher. Eine lediglich die Überschriften naturwissenschaftlicher Artikel berücksichtigende Analyse von aktuellen Ausgaben des populärwissenschaftlichen Magazins *MaxPlanckForschung* (2007 und 2008) kann davon Zeugnis ablegen:

- *Handschlag der Moleküle* (Stereochemie, 2/2007, S. 9)
- *Was sich Einzeller zuflüstern* (Mikrobiologie, 3/2007, S. 54)
- *Der stumme Schrei der Limabohne* (Ökologie, 3/2007, S. 60)
- *Elektronen inflagranti erwischt* (Quantenoptik, 4/2007, S. 12)
- *Moleküle zum Appell* (Biologie, 4/2007, S. 26)
- *Baukasten der Evolution* (Biologie, 4/2007, S. 32)
- *Blick in eine kosmische Krippe* (Astrophysik, 1/2008, S. 9)
- *Der Hexenkessel im Sonnenofen* (Plasmaphysik, 1/2008, S. 26)
- *Die Dompteure des kalten Chaos* (Plasmaphysik, 1/2008, S. 40)
- *Züchtung auf genetischen Knopfdruk* (Entwicklungsbiologie, 2/2008, S. 9)
- *Galaxienherz durch die Staubbrille* (Astrophysik, 3/2008, S. 8)
- *Gesellige Teilchen auf dem Egotrip* (Quantenphysik, 3/2008, S. 12)

18 Vgl. LAKOFF und JOHNSON 1999.

19 KRETZENBACHER 1994, S. 18.

20 Neben dem *Metaphern-Tabu* existieren für wissenschaftliche Texte weitere Stiltabus, die das Erzählen und persönliche Aussagen (*Erzähl-Tabu* und *Ich-Tabu*) betreffen (vgl. KRETZENBACHER 1994, S. 73).

21 KRETZENBACHER 1994, S. 19.

Bereits in diesen wenigen Beispielen lassen sich Muster der Konzeptualisierung identifizieren, wie es sie in allen – auch nichtnaturwissenschaftlichen – Kommunikationsbereichen gibt. Zu solchen hier als *archetypische Metaphern* bezeichneten Konzeptualisierungen gehören alle *Anthropomorphismen*, die *Maschinen-Metapher* oder auch *Gesellschafts-Metaphern*.

Eine eindeutige Zuordnung zu den Kategorien direkter Vergleich, (Bild-)Vergleich und Metapher gelingt in populärwissenschaftlichen Veröffentlichungen oft nicht. Die Grenzen sind fließend, und auch der Grad der Explizitheit variiert durch die Verwendung unterschiedlicher Signale (z. B. Anführungszeichen oder „X ist wie Y.“). Allen Spielarten dieser Strategie zur Veranschaulichung bzw. Erklärung naturwissenschaftlicher Phänomene gemeinsam ist der Bezug auf alltägliche Vorgänge, auf Alltagserfahrungen. Die Anthropomorphisierung von Phänomenen – wie an folgenden Beispielen gezeigt – nimmt im Bereich der populärwissenschaftlichen Literatur einen breiten Raum ein:

„Im Laufe der letzten sechzig Jahre hat man sich immer wieder bemüht, aus der *Quantentheorie* eine Ortsbestimmung für das Licht abzuleiten, aber sie hat diesem ständig *verweigert*, was sie Masseiteichen so *bereitwillig zugesteht*. Warum ist das *Licht nicht bereit, seinen Ort preiszugeben?*“²²

„Sie [chirale Moleküle] *umgarnen sich* eher *wie ein tanzendes Paar*. Sie driften aufeinander zu, stoßen sich fort, ändern ihre Haltung und *umarmen sich* schließlich, wenn sie in richtiger Position sind.“²³

Im Kontext der Popularisierung spielt die *exegetische Funktion* der Metapher die entscheidende Rolle. Die verwendeten, oft neu eingeführten Metaphern sind nicht theoriekonstitutiv, die Theorien sind in diesem Stadium oft bereits ausformuliert. Vielmehr geht es darum, einer breiteren Öffentlichkeit die zur Kommunikation erforderlichen sprachlichen Mittel anzubieten. Ob diese dem interessierten Laien dann tatsächlich auch immer für das Verständnis hilfreich sind, bleibt anzuzweifeln. Letztlich täuschen solche kühnen Metaphern oft Vertrautheit mit dem dargestellten Objekt vor und verführen so zu einem Scheinverständnis. In diesem Zusammenhang wird die Funktion der Metapher auch als eine *propagandistische* bezeichnet (GESSINGER 1992).

Eine weitere herausragende Funktion von Metaphern in den Populärwissenschaften besteht im Abbau von Hemmschwellen der Novizen gegenüber den Objekten der Wissenschaft. Indem ihnen mit Metaphern vertraute Konzepte angeboten werden, lassen sich Gefühle von Hilflosigkeit und Gleichgültigkeit reduzieren. Darüber hinaus bietet das zentrale Bildfeld einer Metapher einem Autor Möglichkeiten zur inhaltlichen Strukturierung der darzustellenden Thematik. Nicht selten jedoch wird über die genannten Ziele hinausgeschossen mit dem Ergebnis gehäufte, mitunter sogar inkohärenter Metaphern, was dann bei den Rezipienten oft zur Erlangung eines nur unbefriedigenden Verständnisses führt.

2.3 Das „Leben“ der Metaphern – diachronische Analysen

Metaphern zeichnen sich durch einen steten Wandel aus, in dessen Verlauf der semantische Gehalt der in ihnen verwendeten Begriffe zunimmt und sich zuweilen zyklisch ändert. Das normale „Leben“ einer Metapher beginnt im Rahmen der in den vorangegangenen Abschnit-

²² ZAJONC 2001, S. 375, Hervorhebung L. K.

²³ MaxPlankForschung 4/2007, S. 30, Hervorhebung L. K.

ten dargestellten Funktionen mit ihrer Einführung in heuristischer Absicht oder zum Zweck einer besseren Kommunikation. Mit der erstmaligen Konzeptualisierung eines Zielbereiches in Begriffen eines anderen Bereiches geht die semantische Erweiterung der Basisbegriffe einher. Die mit der neuen Metapher aufgestellte Behauptung ist in diesem Stadium noch als „unmöglich“ wahrnehmbar, die Metapher ist „lebendig“. Im weiteren Verlauf von Gebrauch und Verbreitung der Metapher wird ihr neuer semantischer Gehalt allmählich fixiert, und der ursprünglich metaphorische Begriff wird lexikalischer Bestandteil der Fachsprache. In diesem Stadium hat sich die Metapher dem Bewusstsein entzogen, man spricht dann auch von „schlafenden“ oder „toten“ Metaphern. Im Folgenden werden hier die von SUTTON (1992) vorgeschlagenen treffenden Begriffe *aktive* und *inaktive Metapher*²⁴ verwendet. Ein einst aktiv metaphorischer Begriff kann in nunmehr lexikalisierter Form als Bestandteil des Basisbereiches einer neuen, wiederum aktiven Metapher zur Verfügung stehen. Der semantische Gehalt eines solchen Begriffes wächst somit erneut. Vor diesem Hintergrund ist der polysemische, die Bedeutung verwischende Charakter der meisten Begriffe zu sehen. Ein alltagssprachliches Beispiel soll diesen zyklischen Prozess illustrieren:²⁵ Die ursprüngliche heimische Bezeichnung für eine Fensteröffnung war das metaphorische „Augentor“ bzw. „Windaug“²⁶ (*vindauga* = engl.: *window*). Lange nach Verblässen dieser Metapher wurde „Window“ zum Basisbereich einer neuen Metapher, der sich die Computertechnik bedient und mit der nunmehr eine grafische Benutzerschnittstelle auf Computerbildschirmen beschrieben wird.

Inaktive Konzeptualisierungen bilden den weitaus größten Teil unserer metaphorischen Sprache. Obwohl „schlafend“, steht mit diesen Metaphern dennoch jeweils ein Bedeutungsfeld zur Verfügung. Ein didaktisches Potenzial metaphorischer Sprache besteht darin, diese Bedeutungsfelder wieder auf die Ebene des Bewusstseins zu heben und somit die Metaphern zu aktivieren (mehr dazu später).

Der Wandel von Konzeptualisierungen bedeutet, dass Metaphern stets einen tentativen Charakter haben. Zur adäquaten Beschreibung von Metaphern gehört ihre Kennzeichnung als aktiv oder inaktiv. Aufschluss über Entwicklung und Status einer Metapher lässt sich prinzipiell nur aus diachronischen Analysen gewinnen. Beispielhaft soll hier ein kleiner Ausschnitt einer solchen Analyse skizziert werden: In einem 1886 veröffentlichten Artikel berichtete Anton OBERBECK²⁷ über Experimente mit Materialien in Magnetfeldern. Die dort dargestellte experimentelle Situation entsprach der in Abbildung 4.

OBERBECK beschrieb, was er sah, folgendermaßen:

„Der Anblick dieses und ähnlicher Curvensysteme [magnetische Feldlinienbilder] erweckt leicht den Gedanken an eine Strömung, für welche die betreffenden Curven die Stromlinien bilden. Bei näherer Verfolgung desselben ergibt sich eine weitgehende Analogie zwischen den beiden Erscheinungen. [...] Dieser Vorgang hat einige Aehnlichkeit mit der Brechung der Lichtstrahlen an der Grenze zweier Medien, [...] Die Curven bilden sich über der Nickelplatte gut aus und zeigen deutlich die Brechung der magnetischen

²⁴ SUTTON 1992, S. 21.

²⁵ Den Hinweis auf dieses schöne Beispiel erhielt ich dankenswerterweise von Peter BUCK in einem Briefwechsel nach der GDGP-Tagung im Jahr 2008.

²⁶ Die heutige vom lateinischen *fenestra* abgeleitete Bezeichnung hat das ursprüngliche *vindauga* verdrängt (vgl. MACKENSEN, 1985).

²⁷ OBERBECK, Anton (1846–1900), deutscher Physiker, Studium in Berlin und Heidelberg, Professuren an den Universitäten Halle, Greifswald und Tübingen.

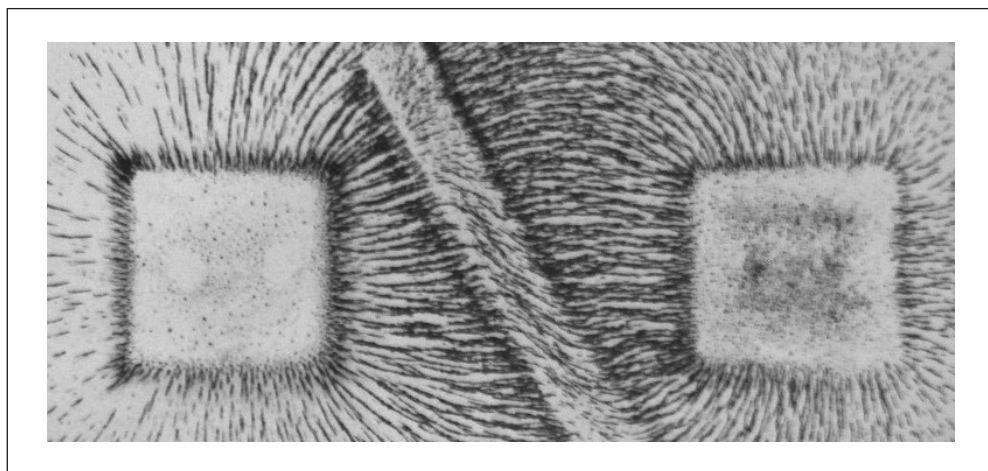


Abb. 4 Nickelblech im Feld eines Elektromagneten (Fotografie: L. KASPER)

Kraftlinien an der Grenze Nickel-Luft. Man könnte aber auch den Vorgang [magnetische Feldlinienbilder] als eine Wärmeströmung auffassen, bei welcher die Platte an einem Orte abgekühlt, am anderen erwärmt wird.“²⁸

Zur Beschreibung des gesehenen Phänomens erwägt der Autor hier in kreativer Weise verschiedene Möglichkeiten, die zunächst auf rein visuellen Analogien beruhen. Es sind dies die Ideen der (Wärme-)Strömung sowie der optischen Brechung. Der Leser hat die seltene Gelegenheit, dem Autor „beim lauten Denken zu lauschen“. Schließlich entscheidet sich OBERBECK nach einer Prüfung der jeweiligen Tragweite der betrachteten Analogien, der von ihm gefundenen „Spur“ der optischen Brechung zu folgen. Wie erfolgreich solch eine analogisierende Vorgehensweise sein kann, wird deutlich, wenn man die strukturelle Tiefe der Analogie betrachtet (vgl. Abb. 5).

In beiden Fällen entspricht das Phänomen einer Durchdringung einer Grenzfläche verschiedener, jeweils durch spezifische Konstanten gekennzeichneten Medien mit einer richtungsändernden Brechungserscheinung der durchdringenden Größe. Die Strukturübertragungen lassen sich in folgender Weise darstellen:

Basisbereich „Licht“		Zielbereich „Magnetfeld“
Modell <i>Lichtstrahl</i>	→	Modell <i>Feldlinie</i>
Durchdringung durchsichtiger Medien	→	Durchdringung <i>permeabler</i> Medien
spezifische Größe n (Brechzahl)	→	spezifische Größe μ_r (Permeabilität)
Abhängigkeit der Richtungsänderung von n :		Abhängigkeit der Richtungsänderung von μ_r :
$\frac{\sin(\beta_1)}{\sin(\beta_2)} = \frac{n_2}{n_1}$	→	$\frac{\tan(\beta_1)}{\tan(\beta_2)} = \frac{\mu_{r1}}{\mu_{r2}}$
(Snelliussches Brechungsgesetz)		(„Brechungsgesetz magnetischer Feldlinien“)

Die eigentliche Metapher, die sich aus der Zeit ihrer Entstehung bis heute erhalten hat, steht in der letzten Zeile, es ist die „Brechung magnetischer Feldlinien“. Dieser Terminus – in-

²⁸ OBERBECK 1886, S. 145.

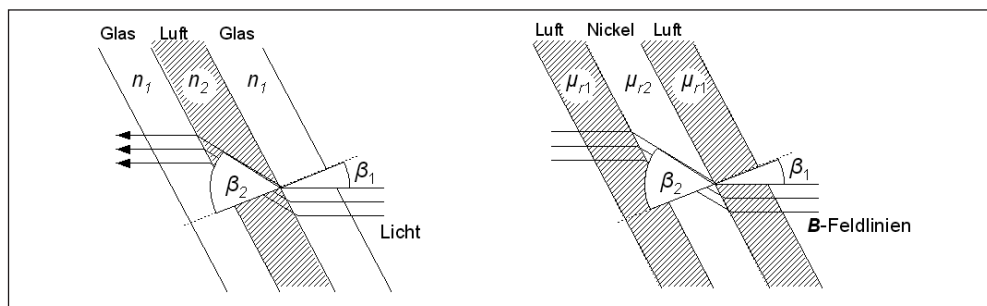


Abb. 5 Strukturelle Analogien zwischen optischer Brechung und „magnetischer Brechung“

zwischen Bestandteil der Fachsprache²⁹ – stellt damit die aktuell als inaktiv zu bewertende Metapher dar.

3. Metaphern als fachdidaktisches Forschungsfeld

3.1 Metaphorische Konzeptualisierungen beim Lernen im Physikunterricht

Zwischen metaphorischen Konzeptualisierungen und Schülervorstellungen besteht ein enger Zusammenhang. Aus einer lernpsychologischen Perspektive hat R. MAYER Ergebnisse von Untersuchungen und Studien über Fehlvorstellungen zur Physik zusammengetragen, die letztlich in ihrer Interpretation zu einem Begriff der didaktisch beabsichtigten Metapher führen.³⁰ Demnach kommen Lernende oft in den Physikunterricht mit einer fest etablierten Menge an – aus fachlicher Sicht – nichtadäquaten Konzepten, die auf ihren Alltagserfahrungen beruhen. Als Beispiel sei hier das *Impetus-Konzept*³¹ der Mechanik genannt. Obwohl die Lernenden im Verlauf des Physikunterrichts den Umgang mit formalen Darstellungen (z. B. die Formeln der Bewegungsgesetze und der Newtonschen Gesetze) lernen, werden bestehende Fehlvorstellungen dadurch nicht beseitigt. Eine Bestätigung dieser Aussage findet sich in SCHECKER und GERDES (1999): „Auch nach dem Mechanikkurs findet man nur selten konsequent newtonsche Denker unter den Schülern.“³² In der Folge des Unterrichts bilden sich Mischformen von Konzepten heraus, in denen das Impetus-Konzept weiterhin die dominante Rolle behält. Andererseits kann gezeigt werden, dass bei einem auf qualitatives Verständnis abzielenden Unterricht die Konzepte der Schüler positiv verändert werden können und dass diese Wirksamkeit auch für das später erreichte quantitative Verständnis gilt. MAYER leitet aus diesen Befunden folgerichtig den Vorrang eines Physikunterrichts auf konzeptueller Ebene ab, um darauf gegebenenfalls die Betonung des Formalen und Quantitativen folgen zu lassen.

29 Siehe z. B. LEHNER 2005, S. 310, oder GERTHSEN 1995. Dort wird die Metapher noch so weit entfaltet, dass von einer „Bündelung des B-Feldes durch Eisen“ gesprochen wird (S. 369).

30 MAYER 1993, S. 566f.

31 Eine idealtypische Aussage der *Impetuskonzepts* ist: „Ein Körper bewegt sich aufgrund einer gespeicherten ‚Kraft‘, die ihm übertragen wurde (z. B. durch einen Stoß)“ (vgl. SCHECKER und GERDES 1999).

32 SCHECKER und GERDES 1999, S. 86.

Auf die didaktische Relevanz der Unterscheidung in qualitatives (konzeptuelles) und quantitatives Wissen weist MAYER anhand weiterer Forschungsergebnisse hin. Darin wird im Zusammenhang mit der Fähigkeit zum Problemlösen festgestellt, dass erfolgreiche Schüler sich ein „Situationsmodell“ des gegebenen Problems auf der Basis nichtquantitativer Repräsentationen schaffen. Erst danach werden numerische Daten, etwa für Berechnungen, herangezogen. Dieses Ergebnis korrespondiert mit Befunden aus Blickbewegungsanalysen, die zeigen, dass erfolgreiche „Problemlöser“ zunächst die Worte und erst später die Daten und Zahlen einer Problemstellung fixieren.

Soll das Verständnis quantitativer Zusammenhänge verbessert werden, ist es erforderlich, dass sich Lernende ein geeignetes qualitatives Modell konstruieren, welches Erklärungen der einer gegebenen Situation zugrunde liegenden Relationen gestattet. Der Zugang zu solchen qualitativen Modellen kann „metaphorisch“ erfolgen. Metaphern in diesem Sinn werden von MAYER als *instructive metaphors* bezeichnet.³³ Diesen schreibt er hinsichtlich von Behaltens- und Transferleistungen dann eine positive Lernwirksamkeit zu, wenn die folgenden drei niveauartigen kognitiven Bedingungen erfüllt sind:

- (1.) *Selektieren (selective encoding)*: Die Aufmerksamkeit der Lernenden wird auf Schlüsselemente (Objekte, Ereignisse) aus dem Basisbereich der Metapher gelenkt.
- (2.) *Organisieren (selective combination)*: Dabei werden basisbereichs-interne Relationen hergestellt, z. B. Kausalrelationen einer Ereignisstruktur im Basisbereich.
- (3.) *Integrieren (selective comparison)*: Mit diesem Schritt erfolgt die eigentliche Übertragung der Struktur vom Basis- zum Zielbereich und damit die Herstellung der Korrespondenzen.

Mit der didaktisch intendierten metaphorischen Konzeptualisierung, d. h. dem Rückgriff auf durch Erfahrungen gewonnenes bereits vorhandenes Wissen, erhält die Erfahrungsbasiertheit des Lernens ein besonderes Gewicht. Aus dieser Perspektive wird von GROPENGIESSER (2007) der Nutzen des Gebrauchs konzeptueller Metaphern für die Naturwissenschaftsdidaktik formuliert.³⁴ Ein darin enthaltener Punkt bezeichnet das *Erfassen von Lernervorstellungen*. Damit ist das – z. B. in Interviewsituationen – durch spezielle Interventionen ermöglichte Hervorrufen von bereits verfügbaren metaphorischen Konzepten und deren Analyse gemeint. Eine solche systematische Metaphernanalyse kann in Verbindung mit Forschungsergebnissen zu Vorstellungen der Lernenden zur Identifikation von lernhemmenden Faktoren beitragen.

Ein weiterer Punkt bezeichnet die *didaktische Strukturierung* von Lerninhalten, womit im Wesentlichen das „Stiften von Erfahrungen“ sowie das „Bezeichnen von Vorstellungen“ gemeint sind.

Fragen, für die im Zusammenhang mit konzeptuellen Metaphern aus der Sicht fachdidaktischer Forschung bislang empirisch gestützte Antworten ausstehen, sind die folgenden:

- (1.) Welche metaphorischen Zugänge existieren zu bestimmten Wissensbereichen der Physik?
- (2.) Wie repräsentieren Experten (Wissenschaftler, Lehrer) physikalische Ideen in Sprache?
- (3.) Wie müssen Vorwissen und unterstellte Erfahrungsbereiche („assozierte Gemeinplätze“) von Lernenden beschaffen sein, damit bestimmte konzeptuelle Metaphern den Erkenntnisprozess konstruktiv unterstützen?

33 MAYER 1993, S. 570.

34 GROPENGIESSER 2007, S. 113.

(4.) Zu welchen – auch alternativen – Interpretationen führt metaphorische Sprache bei Lernenden?

Für die Beantwortung der Fragen stehen insbesondere aus Sicht der Fachdidaktik derzeit nur wenig aktuelle Ergebnisse aus Fallstudien verschiedener Teildisziplinen der Physik zur Verfügung. Die Rolle sprachlicher Repräsentationen von Ideen der Quantenmechanik wurde von BROOKES und ETKINA (2007), Interpretationsprozesse beim Lernen mit Metaphern für den Naturwissenschaftsunterricht der Klassen 5/6 wurden von CAMERON (2002) und die Rolle „spontaner Metaphern“ von Vorschulkindern beim naturwissenschaftlichen Lernen wurde von JAKOBSON und WICKMANN (2007) untersucht.

Frage (4.) impliziert eine Unterscheidung von einerseits „guten“, also zum Verständnis beitragenden und andererseits „schlechten“, also etwa irreführenden, zumindest „verföhrenden“ Metaphern. Diese Frage ist freilich oft und auch aus verschiedenen Perspektiven gestellt worden. So versucht MAYER (1993) unter lernpsychologischen Gesichtspunkten „instruktive“ von „nicht-instruktiven“ Metaphern zu unterscheiden. Ohne den spezifisch fachdidaktischen Fokus diskutiert KOUBA (2007) zwei Antwortoptionen und ihre Konsequenzen in epistemischer Hinsicht. Danach wäre einerseits die Unterscheidung einer Metapher in „gut“ und „schlecht“ auf das simple Merkmal „produktiv“ bzw. „unproduktiv“ zurückführbar. Andererseits könnte es aber auch sein, dass es für solche Unterscheidungen einer genaueren Analyse der den Metaphern innewohnenden Analogien bedarf. Wenn es jedoch so wäre, dann sollten für wissenschaftliche Metaphoriken dieselben Gütekriterien wie für wissenschaftliche Modelle gelten. Die – erkenntnistheoretisch gemeinte – Zuverlässlichkeit sowohl von konzeptuellen Metaphern als auch von Modellen hinge dann von der Güte und Beschaffenheit der jeweils benutzten Analogie ab. Letztlich zeichnet sich hier ein grundsätzliches Problem ab. Die Bewertung der jeweils benutzten Analogien als zweckmäßig bzw. angemessen setzt einen direkten Zugang zur repräsentierten Realität, dem *Zielbereich* (*target domain*) der Metapher, voraus. Gerade dann aber, wenn die zu verstehende „Realität“ unscharf und nicht direkt wahrnehmbar ist (und gerade dann werden ja Metaphern und Modelle benötigt), können Analogien und mithin konzeptuelle Metaphern wie auch Modelle nicht sicher als „adäquat“ oder „nichtadäquat“ bestimmt werden.

Aus den genannten vier Fragen ergeben sich unterschiedliche fachdidaktische Forschungsansätze, die zum einen auf eine auch diachronische Analyse von „Expertentexten“ fokussieren und andererseits mithilfe einer Analyse von Schülertexten den Einblick in deren Konzeptsysteme suchen.

Lernprozesse in naturwissenschaftlichen Fächern schließen auch ein, das „Sehen zu lernen“, nämlich das *Sehen des Bekannten im Unbekannten*, das Herz als Pumpe sehen, die Luft als Ozean sehen, auf dessen Grund wir leben,³⁵ Elektronenbewegung als Fluss sehen, usw. Aufgabe eines sprachsensiblen Unterrichts ist es auch, die „inaktiven“ bzw. „schlafenden“ Metaphern zu reaktivieren und in reflektierender Weise auf die Bewusstseins-ebene der Lernenden zu heben. Nimmt man als Beispiel solche auf der Konzeptualisierung „Elektrizität ist ein Fluidum“ beruhenden, terminologisch sich als „fließender Strom“ manifestierten inaktiven Metaphern, so kann im Unterricht zunächst nach weiteren aus der sprachlichen Oberfläche herausragenden „Spitzen des konzeptuellen Eisberges“ gesucht werden. Dabei könnte

35 Evangelista TORRICELLI (1608–1647) schrieb 1644 in einem Brief an MICHELANGELO RICCI: „Wir leben untergetaucht am Boden eines Ozeans aus elementarer Luft, ...“ In KRAUS 2004.

man durchaus überrascht sein, denn es existieren über den ersten Blick hinaus weitaus mehr Redewendungen als nur der „fließende Strom“ oder die „Stromquelle“. In einem nächsten Schritt versucht man, diese Sprechweisen zu „rechtfertigen“. Dabei kommen auf eine sehr fruchtbare Weise die Physik und ihre Erkenntnisgeschichte ins Spiel. Was genau „fließt“? Was entspricht dem Antrieb des Flusses? Ist es wie beim Wasser ein Gefälle der Landschaft, ein Höhenunterschied, ein Potenzial etwa? Letztlich kann noch die „Belastbarkeit“ der Konzeptualisierung untersucht werden. Ihr kreatives „Ausdehnen“ ließe sich durch die Frage einleiten, ob man die Flüssigkeit (Elektrizität) denn auch in Gefäßen aufbewahren könne. Und: Ja, man kann. Die *Leydener Flasche* ist ein solches Gefäß und ihre Erfindung³⁶ ist schließlich auch im Zusammenhang mit der Geschichte der Metapher zu sehen.

Folgende Leitfragen für einen in diesem Sinn reflektierenden Umgang mit Metaphern im Physikunterricht sollen hier vorgeschlagen werden:

- (a.) Was ist der Zielbereich der Metapher? (Um welchen Lerngegenstand geht es?)
- (b.) Was ist der Basisbereich der Metapher? (Welche Erfahrungen werden vorausgesetzt?)
- (c.) Welche konkreten Merkmale (Attribute, Relationen) aus dem Basisbereich werden mit der Metapher auf den Zielbereich übertragen?
- (d.) Welche Zusammenhänge blendet die Metapher aus?
- (e.) Welche Zusammenhänge werden durch die Metapher hervorgehoben?
- (f.) Welche Gründe könnte es geben, dass sich gerade diese Metapher in der historischen Fachsprachentwicklung durchgesetzt hat und andere nicht?
- (g.) Was leistet diese Metapher zur Erklärung bestimmter Phänomene und wo sind ihre Grenzen?

Bei genauerer Betrachtung dieser Fragen fällt erneut die didaktische Nachbarschaft von Metapher und Modell ins Auge. Nach einigen begrifflichen Ersetzungen (Metapher durch Modell, Basisbereich durch Erfahrungswelt, Zielbereich durch Modellwelt sowie Sprach- durch Theorieentwicklung) könnten die Leitfragen ebenso der Umsetzung eines allgemein metakonzeptuell orientierten Physikunterrichts dienen. Schließlich sind auch die (Verständnis-)Probleme der „Modellmethode“ des Physikunterrichts mit solchen aus dem Metapherngebrauch resultierenden vergleichbar. Hiermit sind insbesondere die Existenz und das Entstehen von Fehlvorstellungen durch das unangemessene Vermengen von Modell- und Realitätsebene eines Sachverhaltes gemeint.³⁷ Das Übertragen von „lebensweltlichen“ Denkweisen auf einen modellierten Bereich bedeutet für die Modellmethode des Unterrichtes ein Problem. Für metaphorische Übertragungen ist es jedoch geradezu programmatisch. Gerade darum aber bedarf es einer sorgfältigen Reflexion, wenn konzeptuelle Metaphern in didaktischer Absicht für den naturwissenschaftlichen Unterricht nutzbar gemacht werden sollen. Umso wichtiger ist die Berücksichtigung der für das Lernen über Modelle formulierten Leitlinien³⁸: *Diskussion und Reflexion des hypothetischen Charakters von Modellen; Prüfung der Modellannahmen auf ihre Tragfähigkeit sowie systematische Trennung zwischen realen Phänomenen und*

36 Die *Leydener (Leidener) Flasche*, auch *Kleistsche Flasche*, wurde unabhängig voneinander zunächst 1745 durch den Pommerschen Pfarrer Ewald Georg von KLEIST (1700–1748) und ein weiteres Mal im Jahr 1746 durch den in Leyden tätigen Professor Pieter van MUSSCHENBROEK (1692–1761) erfunden. Zu dieser Zeit herrschte die Affluvium-Effluvium-Theorie der Elektrizität, die in ihrem weiteren Verlauf einer quantitativen Behandlung der Elektrostatik von Ein-Fluidums- und später Zwei-Fluida-Theorien abgelöst wurde.

37 Vgl. MIKELSKIS-SEIFERT 2002.

38 MIKELSKIS-SEIFERT 2006, S. 129f.

modellierten Sachverhalten. Mit der umgekehrten begrifflichen Ersetzung (siehe oben) lassen sich wiederum die für einen konstruktiven Umgang mit Metaphern erforderlichen Leitlinien gewinnen. Die Notwendigkeit solcher Leitlinien zeigt sich darin, dass im naturwissenschaftlichen Unterricht zwar intensiv von Analogien und Metaphern Gebrauch gemacht wird, dass sich jedoch Lehrerinnen und Lehrer oft nicht der verwendeten konzeptuellen Übertragungen selbst sowie der mit Analogien verbundenen epistemischen Risiken bewusst sind. Verständnisabbrüche und Fehlvorstellungen, die bei Lernenden entstehen, können auf einen unsystematischen Gebrauch, d. h. die gleichzeitige Verwendung nichtkohärenter Analogien und Metaphern innerhalb eines Gedankenganges zurückgeführt werden. Als Grund hierfür kann eine fehlende Reflexion auf einer sprachlichen Metaebene, das *Sprechen über Sprache* bereits in der Ausbildung der naturwissenschaftlichen Lehrkräfte angenommen werden. In diesem Sinn weisen auch GLYNN et al. (1995) auf "lacking guidelines for using analogies" hin.³⁹

3.2 Funktionen konzeptueller Metaphern für Erkenntnisprozesse in der Physik

Aus Sicht der Fachwissenschaft beschreibt PLISKA (2007) die für naturwissenschaftliche Kommunikation bedeutendsten drei Funktionen der Metaphern als *substitution function*, *ordering and classification functions* sowie *filter function*. Mit der nachfolgenden Aufzählung schlage ich eine den speziell fachdidaktischen Bedürfnissen angepasste Beschreibung der Funktionen konzeptueller Metaphern vor:

(a.) Ausfüllen lexikalischer/terminologischer Lücken⁴⁰

Die Benennung einer bis dahin nicht „gesehenen“ atomaren Struktur kann als Beispiel dienen: „Die 48 kreisförmig angeordneten Spitzen markieren die Position von einzelnen Eisenatomen auf einer speziell präparierten Kupferoberfläche. Der Kreis hat einen Durchmesser von rund 14 nm. Man bezeichnet ihn als *Quantenpferch* (oder auch *quantum corral*).“⁴¹ Abgesehen davon, dass in diesem Pferch Wellen „gefangen“ sind, liegt hier eine eher auf oberflächliche Gestaltattribute beschränkte Übertragung – und damit eine idealtypische – Metapher vor, deren Sinn darin besteht, dem Objekt einen Namen zu geben.

(b.) Filtern und Fokussieren

Unterdrückung bestimmter Objektmerkmale: Wird z. B. über die Lichtausbreitung im Sinne der *Fortpflanzung einer ebenen Welle* gesprochen, dann wird die geradlinige (strahlenartige) Ausbreitung unterdrückt. Mit der Aussage „Ein Elektron ist eine Materiewelle, die mit sich selbst in Interferenz treten kann.“ wird dagegen der Teilchencharakter von Elektronen unterdrückt. Dabei bedeutet natürlich jede Unterdrückung bestimmter Merkmale eine Hervorhebung und Betonung anderer Objektmerkmale. So wird etwa in einem Schulbuch mitgeteilt: „Bei dieser Konstruktion haben wir berücksichtigt, dass sich *Licht* immer *auf geraden Wegen ausbreitet*. Diese wichtige Eigenschaft von Licht nutzt man, um *Lichtwege* darzustellen.“⁴² Hier wird nun gerade die Eigenschaft betont, die zum geometrischen Strahlenmodell des Lichtes führt. Ergebnisse der experimentellen Psychologie zeigen, dass mit Metaphern auf-

39 GLYNN et al. 1995, S. 248.

40 Das bloße Ausfüllen einer lexikalischen (Wort-)Lücke wird mit dem rhetorischen Begriff *Katachrese* bezeichnet.

Hier ist jedoch die über das Lückenfüllen hinausweisende Funktion solcher Metaphern gemeint, die Bezüge zwischen Vertrautem und Neuem herstellen.

41 HALLIDAY et al. 2007, S. 835, Hervorhebung L. K.

42 BREUER et al. 2007, S. 31, Hervorhebung L. K.

merksamkeitslenkende kognitive Prozesse induziert werden,⁴³ die in enger Verbindung mit der Filter- bzw. Fokusfunktion stehen.

(c.) *Strukturieren*

Der Basisbereich strukturiert den Zielbereich. Das gelingt umso besser, je reichhaltiger die übertragene Struktur ist, d. h., je höher der „Grad sinnhaltiger Verschaltungen“ der relationalen Strukturen zwischen beiden Bereichen ist. Ein charakteristisches Beispiel nicht nur der Schulphysik ist die Konzeptualisierung der *Elektrizität* als Fluidum, durch die sich z. B. große Teile der Stromkreiselektrik in Begriffen eines Wasserkreislaufes strukturieren lassen.

(d.) *Bereitstellen vorbegrifflicher Orientierungen*

Beispielzitat aus einem Schulbuch: „*Je dichter die Feldlinien in einem Gebiet liegen, umso größer ist die dort auftretende magnetische Wirkung.*“⁴⁴ Die „dicht liegenden“ Feldlinien dienen dabei der vorbegrifflichen Orientierung des Feldstärke- bzw. Flussdichte-Begriffs.

(e.) *Re-aktivieren*

Diese Funktion umfasst das Bewusstmachen inaktiver „schlafender“ Metaphern sowie deren kreative Ausschöpfung. Für ein Beispiel sei auf die Diskussion der Konzeptualisierung von Elektrizität als Fluidum im vorangegangenen Kapitel hingewiesen.

(f.) *Motivieren*

Mit dem Gebrauch von Metaphern ist oft die Eröffnung überraschender Perspektiven verbunden. Gerade die mit der semantischen Differenz zwischen Basis- und Zielbereich einhergehende „logisch unmögliche Behauptung“ führt zu einem Konflikt, der nach einer Lösung verlangt. Zwar wird diese logische Inkompatibilität bei gelingendem Sprachgebrauch durch implikatorische Kohärenz „geheilt“,⁴⁵ jedoch kann dieser Prozess gerade im Physikunterricht nicht als Automatismus vorausgesetzt werden. Darüber hinaus bedeutet der Bezug auf Erfahrungsbe- reiche auch oft eine Integration emotionaler Aspekte. Hinsichtlich der motivierenden Funktion können Metaphorisierungen auf dem Gebiet *Nature of Science* einen besonderen Beitrag für Lernende erbringen. Warum spricht man über Naturwissenschaften wie von einem Abenteuer oder wie von Architektur oder wie von einer Revolution (vgl. nachfolgenden Abschnitt)?

3.3 Forschungsprojekt „*Metaphernlexikon der physikalischen Fachsprache*“

Eine systematisierende Sammlung aller im Kontext der Physik auftretenden Metapherntypen, die auch der fachdidaktischen Arbeit eine bedeutsame Grundlage wäre, steht bislang nicht zur Verfügung. Mit dem Projekt *Metaphernlexikon der physikalischen Fachsprache* soll eine solche Sammlung in Angriff genommen werden. Den ersten Schritt dafür bildet die Analyse eines breit angelegten Textspektrums. Der bislang untersuchte Korpus im Umfang von fünfzig Buchtiteln bzw. Artikeln besteht aus den Textsorten *Hochschullehrbuch*, *Schulbuch*, *populärwissenschaftlicher Zeitschriftenaufsatz*, *historischer wissenschaftlicher Text*, *philosophischer/erkenntnistheoretischer Text* sowie *physikdidaktischer Text*.

Die verwendete Analysemethode adaptiert weitgehend die von SCHMITT (2003) entwickelte *Systematische Metaphernanalyse*. Diesem Vorgehen entsprechend und ganz im La-

43 Vgl. SCHMITT 2003.

44 BREUER et al. 2007, S. 84, Hervorhebung L. K.

45 Vgl. GESSINGER 1992.

koffischen Sinn sind als Metaphern solche Textbestandteile (Wörter, Redewendungen, Sätze) zu identifizieren, die in ihrem jeweiligen Kontext mehr als nur wörtliche Bedeutung tragen und deren wörtliche Bedeutung außerdem einem prägnanten Basisbereich entstammt und auf einen Zielbereich übertragen wird. Die so angelegte Korpusuntersuchung hat – einer *Qualitativen Inhaltsanalyse*⁴⁶ vergleichbar – nach Prozessen der Paraphrasierung und Kategorienbildung ein zunächst vorläufiges Kategoriensystem zum Ziel. Unter „Kategorienbildung“ ist hier ein fortgesetztes Zuordnen aller im Textkorpus identifizierten Metaphern zu solchen Konzepten zu verstehen, die jeweils durch gleiche Basis- und Zielbereiche gekennzeichnet sind. Eine derartige „flächendeckende“ und notwendigerweise auch Epochen abdeckende strukturierte Sammlung konzeptueller Metaphern in physikalischer *Fachsprache* steht dann als Grundlage für eine systematische Untersuchung der physikalischen *Unterrichtssprache* hinsichtlich ihres Gehaltes an konzeptuellen Metaphern und ihrer Wirkungsmechanismen zur Verfügung. Darüber hinaus kann sie Lehrkräften und Autoren als Orientierung und Leitfaden für einen bewussten und kohärenten Umgang mit metaphorischen Konzepten dienen.

Der gegenwärtig erreichte Stand der Sammlung und Ordnung ist in einem vorläufigen Metaphernlexikon von A wie „Anthropomorphismus“ bis Z wie „Zwiebelschalenmetapher“ abgebildet. Die nachfolgende Zusammenstellung gibt in exemplarischer Weise einen Einblick in diese Sammlung.⁴⁷

Anthropomorphismus

Physikalischen Entitäten werden menschliche Eigenschaften, Fähigkeiten bzw. Absichten zugesprochen. Es folgen Beispiele zur Personifikation von Licht (*a.*), Beispiele für „sehende“ (*b.*) bzw. „fühlende“ (*c.*) Elektronen, für die Personifizierung von Quantenobjekten (*d.*), für „Absichten“ und „Entscheidungen“ der Natur (*e.*) und (*f.*) und dafür, dass die Natur Probleme trickreich zu lösen vermag (*g.*). Weitere Beispiele zeigen, dass physikalische Objekte Kleider tragen (*h.*) und dass sie Gefühle der Partnerschaft hegen können (*i.*).

(*a.*) „*Wie kann das Licht* jedoch ohne ein Medium *wissen*, wie schnell es sich zu bewegen hat?“⁴⁸

(*b.*) „Der *Kern* ist daher für *Elektronen* *durchsichtig* und man kann die Streuerverteilung angeben, [...]“⁴⁹

(*c.*) „Dort *spüren beide Arten von Elektronen* das *Feld* des infraroten Pulses.“⁵⁰

(*d.*) „*Da Quantenobjekte sehr empfindliche Wesen sind*, braucht man, um ihre Merkmale in Erfahrung zu bringen, ein *Mittel, das nicht invasiv ist*, wie die Mediziner sagen würden.“⁵¹

(*e.*) „Das einzelne *Photon entscheidet sich* am Strahlungsteiler weder für ein Dasein als Teilchen noch für eine Wellenexistenz.“⁵²

46 Maßgebliche Beiträge zur Entwicklung der Qualitativen Inhaltsanalyse hat Philipp MAYRING geleistet (MAYRING 2000).

47 Hervorhebung L. K.

48 ZAJONC 2001, S. 313.

49 MAYER-KUCKUK 1984, S. 26.

50 MaxPlanckForschung 4/2007, S. 12.

51 ZAJONC 2001, S. 360.

52 ZAJONC 2001, S. 350.

(f.) „In der Physik bleibt die Entscheidung der Natur überlassen, sie hat ihre göttliche Ursache gewählt – offenbar das Prinzip der kleinsten Wirkung.“⁵³

(g.) „Wenn das Wasserstoffbrennen im Zentrum erlischt, *hat der Stern ein Problem*. Er verliert Energie, *möchte* das hydrostatische Gleichgewicht *aber aufrechterhalten*. Die Fusion im Innern liefert keine Energie mehr, die *Sonne gleicht* dieses Defizit *durch einen Trick aus*.“⁵⁴

(h.) „Genauso *trägt das Licht*, wenn es von Materie emittiert wird, *das Gewand seiner Quelle*. Beispielsweise zeigen Spektrallinien in der Anordnung ihrer Farben eindeutig, von welchem Element sie emittiert wurden. Man dürfe jedoch, so lautete Bohrs Argument, *das augenblickliche Kleid nicht für das Wesen des freien Lichts halten*.“⁵⁵

(i.) „Der Magnete Hassen und Lieben“.⁵⁶

Gast-und-Wirt-Metapher

Dieser Metapherentyp beschreibt das Vorhandensein nicht „systemimmanenter Objekte“ (z. B. Moleküle als Gäste) in einer „geschlossenen physikalischen Umgebung“ (alias Wirtshaus) bei ein- oder wechselseitigem Energiefluss (z. B. Geld gegen Kost und Logis). Auf diese Weise lassen sich Eigenschaften neuer Materialien (z. B. Einlagerung von Gastmolekülen in nanoporöse Wirtsmaterialien) konzeptualisieren.

Hausbau-Metapher

Dieser Metapherentyp hat im Kontext von *Nature of Science* zwei voneinander zu unterscheidende Aspekte. Der erste bezieht sich auf das „Gebäude Wissenschaft“. Dessen Baumaterialien sind Tatsachen, Wahrnehmungen und Experimente. Der Eingang zu diesem Gebäude kann geöffnet, durch falsche Bauweise (zu große Anhäufung des Baumaterials) aber auch erschwert werden. Das Baumaterial kann letztlich sogar Schutthaufen in der Wissenschaft bilden. In diesem Licht heißt Forschung z. B. axiomatische „Grundsteinlegung“, das Aufstellen von (theoretischen) Eckpfeilern, das Schaffen von neuen Gebäudetrakten oder von Querverbindungen zu anderen, bislang isolierten „Theoriegebäuden“, aber auch das systematische „Abklopfen“ und gelegentliche Zu-Fall-Bringen eines solchen Gebäudes. In diesem Bild kann dem Forscher seine Rolle zugeschrieben werden:

„Im differentialen Vorgehen sind wir der Baustellenleiter, der die Handwerker und die verwendeten Materialien beaufsichtigt; dann sind wir nur mit den notwendigen Ursachen befaßt. Doch wir können auch einen Schritt zurücktreten und das Werk bewundern, bevor es vollendet ist, und das Ganze vor unserem geistigen Auge sehen. Dann können wir uns andere Entwürfe [...] vorstellen, um den besten auszuwählen.“⁵⁷

Die Strukturierung eines Ganzen erfolgt dabei durch hierarchisch geordnete Einheiten: Wissenschaft Physik als Wissens-Gebäude; Axiome als Fundamente; Teildisziplinen als Gebäudetrakte; Basissätze als Stützpfiler; didaktisch rekonstruierte Theorieabschnitte als (manchmal gut „erhellte“) Türen und Tore; Vorhandensein funktioneller Öffnungen (Fenster) sowie die Widerlegung einer Theorie als Einsturz des Gebäudes.

53 ZAJONC 2001, S. 336.

54 MaxPlanckForschung, 4/2007, S. 24.

55 ZAJONC 2001, S. 290.

56 SCHILLER, Der Spaziergang.

57 ZAJONC 2001, S. 336.

Ein zweiter Aspekt der Hausbau-Metapher deutet auf das Verständnis unserer Welt als ein grandioses Bauwerk, geschaffen aus Bausteinen (Elementarteilchen, Zellen, ...), in dessen Baupläne Einblick zu erhalten die Aufgabe von Naturwissenschaft ist. Innerhalb der Hausbau-Metapher spielt das „Fenster“ wegen seiner Funktion, dass „Außenliegende“ unseren Sinnen zugänglich zu machen, eine zentrale Rolle. Beispiele: Gamma-Teleskope öffnen uns neue Fenster; Spiegel als Fenster in die Spiegelwelt.

Lebenslauf-Metapher

Diese Metapher ist assoziiert mit anderen Anthropomorphismus-Konzepten. Physikalische Objekte – vorwiegend des Makro- und des Mikrokosmos – werden als lebende Wesen konzeptualisiert, die geboren werden (a.), mitunter auch „Fehlgeburten“ erleiden (b.) und letztlich sterben (c.) nach dem Ablauf ihrer Lebenszeit (d.).

(a.) „Im All beginnt die *Geburt eines Sterns* mit einer riesigen Gaswolke. Irgendwann zerbricht die Wolke in kleinere Klumpen, die jeder für sich kollabieren.“⁵⁸

(b.) „[...] wirkt das Gas wie ein Gegenwind und bremst die *Planeten-Embryos* ab, sodass die Brocken nach wenigen Jahrhunderten in ihren Zentralstern trudeln. So beschreibt das Szenario bislang eine *Fehlgeburt*.“⁵⁹

(c.) „Vom *Lebenswandel der Sterne*. Wie werden sie *geboren*? Wie *sterben* sie? [...] Was stoppt den Zusammenbruch des *Sternembryos*?“⁶⁰

(d.) „[...] daß die wahrscheinliche *Lebenszeit des Protons oder Neutrons* mehr als zehn Millionen Millionen Millionen Millionen Millionen [...] Jahre beträgt.“⁶¹

Verdinglichung (Entitäts-Bildung)

Sie ermöglicht Aussagen über abstrakte physikalische Objekte und bietet auch bildhafte Anschauungen von Modellen. Beispiel: das „Feld“.

Verräumlichung

Sie erklärt mithilfe einer *innen-außen-Orientierung* Zustände (Objekt ist *in* Bewegung; Objekt schwingt *in* oder *außer* Phase) und ermöglicht Abgrenzungen (von z. B. Spektralbereichen, Frequenzbereichen). Einen Teil dieses Metapherentyps bildet die *Behälter-Metapher*. Sie erklärt das „Enthaltensein“ von bestimmten Quantitäten einer physikalischen Größe in einem physikalischen System, welches als Behälter konzeptualisiert wird. (Beispiele: Feld als Energiebehälter, Kaffee als Wärmereservoir, Lichtbündel als Behälter für Lichtstrahlen, Spiegel als Behälter für Licht, Atommasse als Behälter für Bindungsenergie, Körper als Behälter für Bewegungsenergie, ...) Kennzeichnend für diese Metapher sind auch hier die topologischen Merkmale des Vorhandenseins eines Innen-Bereiches, eines Außen-Bereiches sowie einer Trennwand.

Verortung (vertikal, horizontal)

Ein physikalischer Systemzustand (Temperatur, Geschwindigkeit, etc.) wird als Ort auf einer vertikalen Skala metaphorisiert. Damit wird ein Zusammenhang zwischen Höhe und Quan-

58 MaxPlanckForschung, 4/2007, S. 20.

59 MaxPlanckForschung, 1/2008, S. 20.

60 MaxPlanckForschung, 4/2007, S. 20.

61 HAWKING 2000, S. 100.

tität einer physikalischen Größe hergestellt (z. B. „hohe“ Töne, Geschwindigkeiten, Temperaturen, ...). Die *vertikale Verortung* entspricht damit dem Metapherotyp „more is up“. Ein typisches Beispiel einer *horizontalen Verortung* ist die Konzeptualisierung von „Zeit“. Indem wir von Ereignissen sprechen, die „vor uns“ oder „hinter uns“ liegen, ordnen wir diesen Ereignissen einen Ort auf einer quasi horizontalen Skala (der „Zeitleiste“) zu.

Verflüssigung (Fluidum-Konzept)

Die Konzeptualisierung „X ist ein Fluidum“ lässt sich für alle Teildisziplinen innerhalb der Physik nachweisen. Sie wird vor allem zur Beschreibung und zum Verständnis von Ausbreitungs- und Übertragungsprozessen genutzt. Beispiele für physikalische Denk-Objekte, über die in Begriffen eines Fluidums gesprochen wird, sind: Wärme (Wärmefluss, -quelle, -leitung, -stau, -dämmung, ...), Licht (sogar mit Aggregatzustandsänderungen zu Photonengas), Energie, Impuls oder Schall. In Verbindung mit dem Metapherotyp der vertikalen Verortung lassen sich auch Potenziale verstehen. Beispiel: Wärme fließt ab von Orten „hoher“ Temperatur in Richtung der Orte mit „niedrigerer“ Temperatur. Die Metaphorisierung manifestiert sich sprachlich in Begriffen wie „Strömungsbildung“, in der Existenz von Quellen und Senken, in der Speichermöglichkeit in Reservoirs, in der Existenz von Potenzialen durch Höhenunterschiede, in einer Wirbelfähigkeit, in einer Raum füllenden Ausbreitung sowie in der Existenz weiterer Aggregatzustände.

Aus diesen Basismetaphern der Fachsprache lassen sich Subkategorien weniger „archetypischer“ Metaphern mit einem jeweils enger gefassten Zielbereich ableiten. Sie können bei simultaner Nutzung als kohärente Metaphernsysteme Modelle bilden und sind daher von großer epistemischer Bedeutung. Darüber hinaus kann für erkenntnistheoretische Fragestellungen mit fachdidaktischer Relevanz hinsichtlich des Bereiches *Nature of Science* eine Metaphernanalyse erhellend sein. Am Beispiel der Hausbau-Metapher wurde dies bereits deutlich, ein weiterer grundlegender Metapherotyp ist mit der „Buchmetapher der Natur“ gegeben.

Buchmetapher der Natur

Dieser Archetyp erklärt Prozesse von Wissenschaft und Forschung in den Begriffen „Lesen“ und „Schreiben“ bzw. „Kodieren“ und „Dekodieren“, „Übersetzen“ und „Interpretieren“. Das „Buch der Natur“ ist dabei immer im Kontext der diese Metapher jeweils hervorbringenden Epoche zu verstehen (z. B. Benennung der Atome mit dem Ausdruck für „Buchstaben“ zur Zeit der antiken Atomistik oder die Widerspiegelung der aufkommenden Geräte-Wissenschaft in der neuzeitlichen Buch-Metapher). Eine der möglichen Sprachen, in der das Buch verfasst ist, stellt die Mathematik dar. Wissenschaft wurde allerdings auch als eine zerstörerische Reduktion der „Poesie der Erscheinungen“ betrachtet (z. B. in der Reduktion des Regenbogens auf dessen prismatische Farben, wie sie NEWTON vorgeworfen wurde). Phänomene der Natur sind als Begriffe in einer bestimmten Sprache verschlüsselt. Ihr Erkennen und Begreifen ist Entschlüsseln und Lesen. Zum Lesen können sich Hilfsmittel (z. B. Teleskope, Mikroskope) erforderlich machen. Naturphänomene können wie Poesie von (einer verletzlichen) Ästhetik gekennzeichnet sein.

Die Zusammenschau solcher Konzeptualisierungen, insbesondere eine diachronische Untersuchung führt auf sogenannte „Meta-Erzählungen“. Für den Begriff der Natur hat SCHUMMER (2006) aus Sicht der Chemie ein Schema identifiziert, was sich auch mühelos auf die Physik übertragen lässt. Dieses Schema beschreibt die historische Entwicklung unserer Position gegenüber der Natur aus der Perspektive der Wissenschaften: (a.) *Natur als Angebetete*

→ (b.) *Natur als Lehrmeisterin* → (c.) *Natur wird imitiert/kopiert* → (d.) *Natur wird übertriffen* → (e.) *Natur wird unterworfen*. Dabei wird eine Entwicklung in Pfeilrichtung mit einiger Selbstverständlichkeit als „Fortschritt“ verstanden. Die folgenden Beispiele mögen die „Fortschrittssequenzen“ illustrieren.

(a.) „Demnach war zu Beginn der Auseinandersetzung mit Naturphänomenen die Natur anbetungswürdig: „Jahrhundertlang hatte man die *Natur* entweder als Folge des Sündenfalls, die Vertreibung aus dem Garten Eden, verdammt oder mystisch *als das Werk des allmächtigen Schöpfers verehrt*.“⁶²

(b.) „[...] allerdings ging es nicht um platte *Raubkopien der Natur* [...]“⁶³

(c.) „Sie [Wissenschaftler der Renaissance] waren bestrebt, *die Natur nachzuahmen*, ihre Sehweise *an der* mathematischen Gesetzmäßigkeit der *Natur zu schulen*.“⁶⁴

(d.) „[...] daß die chemische Synthese *über die natürlichen Vorbilder hinausgehen* und hochwertige Kulturgüter künstlich erzeugen kann, die die *Naturprodukte* [...] sogar *übertreffen*.“⁶⁵

(e.) „Wie *Löwenbändiger* in einer Manege *ließen sie die Moleküle* nach ihrer Pfeife *tanzen*.“⁶⁶

Besonders eng mit der Physik verbunden sind insbesondere seit Beginn der Neuzeit Konzeptualisierungen von Natur als „Werkstatt“, als „mechanische Philosophie“. Als Vor-„Bilder“ dienten vor allem die aufkommenden mechanischen Uhren und Automaten. Hier wird für Natur das Konzept eines unbekanntes, jedoch prinzipiell sichtbaren und erkennbaren Mechanismus verwendet. Die Annahme, dass die Natur nach den Regeln eines menschlichen Artefakts funktioniert, hatte darüber hinaus auch einen wesentlichen Einfluss auf die Entwicklung der Experimentalphysik.

Die bislang vorliegenden Analyseergebnisse lassen eine große Vielfalt metaphorischer Konzeptualisierungen von „Naturwissenschaft“ erkennen. Diese Konzeptualisierungen lassen sich kategorisieren, indem Metaphernfelder aus stets wiederkehrenden Basisbereichen gebündelt werden. Auf diese Weise erhält man eine Liste typischer Metaphern, die auszugswise hier vorgestellt wird.

Naturwissenschaft ist eine Gerichtsverhandlung.

Natur und Wissenschaft werden in Termini von Recht, und Moral konzeptualisiert. So ist Natur „gerecht“ („teilen die Gesetze der Thermodynamik die verfügbare Wärmeenergie *gerecht* unter schwingenden atomaren Oszillatoren auf“). Natur hat aber auch Rechte („Goethe ließ in seinen Experimenten *der Natur ihre Rechte*“). Wissenschaft ist eine Gerichtsverhandlung mit gegebener Beweislage. Als Angeklagte kommen Theorien (z. B. das Phlogiston) infrage, die oft – trotz Verteidigung – zum Tode verurteilt werden.

Naturwissenschaft ist Revolution.

Theorien haben revolutionäre Merkmale (sind Revolutionen) und bringen im diskursiven Überlebenskampf andere Theorien zu Fall. Abgebildet wird das Erreichen eines unhaltbaren

62 Lehrbuch Naturwissenschaften 5/6 Berlin: Cornelsen, S. 19.

63 MaxPlanckForschung 3/2007, S. 21.

64 ZAJONC 2001, S. 83.

65 ZAJONC 2001.

66 MaxPlanckForschung 4/2007, S. 28.

Zustandes, durch den ein Umstrukturierungsprozess hervorgerufen wird und das Ersetzen dieses Zustandes durch einen neuen. Den Basisbereich bildet bei dieser Konzeptualisierung die „Gesellschaftsform“, den Zielbereich die „wissenschaftliche Theorie“. Als Beispiel einer der Revolution zum Opfer gefallenen wissenschaftlichen Idee gilt die Ätherhypothese.

Naturwissenschaft ist Architektur.
(vgl. Hausbau-Metapher)

Naturwissenschaft ist eine Maschinerie.

Natur wird verstanden als Maschinerie, hinter deren „Schalten und Walten“ zu kommen, erklärtes Ziel der Wissenschaft(ler) ist. Eng verbunden mit dem Maschinen-Bild ist übrigens das der Theatermaschine (mit deren Hilfe dem Publikum Illusionen dargeboten werden).

Naturwissenschaft ist ein Fluss bzw. ein Meer.

Beispiele: Der *mainstream* als Strömung herrschender wissenschaftlicher Meinung; mikroskopische (Quanten-)Gesetze als Fluss, der in das Meer der makroskopischen Physik einmündet.

Naturwissenschaft ist Abenteuer/Jagd/Eroberung.

Wissenschaft wird verstanden in Begriffen der Jagd. Man wird seiner Beute (z. B. Photonen) habhaft, oder sie entgeht dem Jäger (z. B. Gamma-Bursts, wenn der Jäger nicht im Jetkegel liegt). Dann muss man der Beute nachjagen („der Elektrizität auf der Spur“). Objekte der Wissenschaft (z. B. Licht bei seinem Ursprung) hinterlassen auch Spuren.

Naturwissenschaft ist Religion und Geistesglaube.

Naturforschung betreiben heißt, den „Fußspuren des Schöpfers nachzugehen“, bzw. „den Schöpfungsplan zu erhellen“. Es findet eine „Vergötzung“ von Forschungsobjekten statt („Atome, Quarks, winzige Schwarze Löcher [...] *Wir weißeln sie in Stein*, bekränzen sie und *stellen sie in unseren Tempeln auf*. Indem wir sie wirklich nennen, beseelen wir sie mit dem falschen Leben der Angst – der *Angst vor dem unbekanntem Wesen der Natur*“). Andererseits trägt Wissenschaft auch zur Entweihung des Tempels der Natur bei: „*Hatte Maxwells mathematische Hexe am Ende die Oberhand gewonnen? War es genug, ein frommer Anglikaner zu sein, während die Gelehrten die Tempel der Natur plünderten?*“

Naturwissenschaftliche Ideen sind gelegentlich auch „spukende Geister“. Die gemeinsamen abbildbaren Merkmale sind Unsichtbarkeit sowie Unberechenbarkeit des Auftretens.

Naturwissenschaft ist Textarbeit und Theater.

(Vgl. Buchmetapher der Natur.) Die wesentlichen Konzeptualisierungen sind hier: „Wissenschaft ist Lesen der Welt“, „Die Natur ist ein Text“, „Die Natur ist ein Bühnenstück“. Der Gebrauch der Metapher unterscheidet sich in der grundsätzlichen Frage, wer Regie führt. Prinzipiell kommen dafür Gott oder der Mensch infrage. Beispiele:

„Gewiß verdient es die *Natur*, wie ein *Theaterstück* um ihrer Bedeutung willen *gelesen* [...] zu werden. [...] Auch wenn die *moderne Inszenierung* bruchstückhaft und schwierig bleibt, verweigert sich das Phänomen des Lichts einer *Lesart der Welt*, wie sie das 19. Jahrhundert praktiziert hat, vollends.“⁶⁷

67 ZAJONC 2001, S. 353.

„Man meinte, [...] die Welt sei nur ein Bühnenstück, eine Oper. Die Aufmerksamkeit der Wissenschaft gelte nicht der dramatischen Handlung, möge diese auch noch so opulent in Szene gesetzt oder leidenschaftlich gespielt sein. Der prüfende Blick des Wissenschaftlers gleiche dem [...] des Bühnentechnikers.“⁶⁸

Naturwissenschaft ist Gewalt bzw. Krieg.

Objekte der Wissenschaft stehen im Wettkampf, sogar im Krieg miteinander. Die Soldaten sind „rekrutierte Wissenschaftler“. Als Ergebnis solcher Kämpfe treten dann Theorien oder technische Entwicklungen ihren „Siegeszug“ an. Manche Theorien werden in diesem Sinn für „unangreifbar“ (= abgeschlossen) gehalten. Der Wissenschaftler (Ingenieur) macht seinen Herrschaftsanspruch über die Natur durch Ausnutzung der Naturkräfte deutlich (z. B.: „er schreibt und spricht mit dem Blitz, malt mit dem Sonnenlichte und reist mit dem Dampf.“⁶⁹). Phänomene werden als Reiche verstanden, die von wissenschaftlichen Theorien geplündert und beherrscht werden (z. B. Das „Reich des Regenbogens, das von abstrakten Farbatomen usurpiert“ wird.⁷⁰). Naturwissenschaft wird beschrieben als Diktatur, die die Welt zerlegt und Menschen beleidigt (z. B. in der Anklage gegen NEWTONS „zergliedernden Blick“ auf die Welt); Forscher werden auch als Dompteure dargestellt, die die Natur bändigen (und z. B. „Moleküle nach ihrer Pfeife tanzen lassen“).

Naturwissenschaft ist Gefangenschaft.

Prozesse der Erkenntnisentwicklung werden in Begriffen der Freiheitseinschränkung beschrieben. Theorien und Weltbilder dienen dabei als Fesseln (z. B. „euklidische Fesseln“) und Umklammerungen. Solche „Denk-Fesseln“ können auch gesprengt werden (z. B. durch EINSTEINS nichteuklidische Geometrie), insofern treten Theorien andererseits auch als „Befreier“ auf.

Naturwissenschaft ist Sport/Wettkampf.

Die Natur – ein Spiel, nach dessen Regeln alle Vorgänge ablaufen. Eine andere Konzeptualisierung sieht Wissenschaft als sportlichen Wettkampf, bei dem ständig Rekorde aufgestellt werden.

Naturwissenschaft ist Fruchtbarkeit/Abstammung und Vererbung.

Die Erklärung von Prozessen der Erkenntnisentwicklung erfolgt in Begriffen der Vermehrung. „Fruchtbar“ ist dabei die Forschung, sie hat fruchtbare Phasen; als fruchtbar wird aber auch die „Neugier“ beschrieben, deren Früchte ebenfalls wissenschaftliche Errungenschaften sind. Beispiele: „Jedes Lineal hat heute die *Lichtgeschwindigkeit zum Urahren*“, „Mikroskop-erfinder als *Urväter der Biophotonik*“.

68 ZAJONC 2001, S. 119.

69 FUSS 1901, S. 257.

70 ZAJONC 2001, S. 214.

Literatur

- BLACK, Max: *Models and Metaphors*. Ithaca 1962
- BROOKES, David T., and ETKINA, Eugenia: Using conceptual metaphor and functional grammar to explore how language used in physics affects student learning. *Physical Review Special Topics – Physics Education Research* 3, 1–16 (2007)
- CAMERON, Lynne: Metaphors in the learning of science: A discourse focus. *British Educational Research Journal* 28/5, 673–688 (2002)
- DUIT, Reinders, und GLYNN, Shawn M.: Analogien und Metaphern, Brücken zum Verständnis im schülergerechten Unterricht. In: HÄUSSLER, Peter (Hrsg.): *Physikunterricht und Menschenbildung*. S. 223–250. Kiel: IPN 1992
- FICHTNER, Bernd: Metapher und Lerntätigkeit. Beitrag für den zweiten internationalen Kongress über Tätigkeits-theorie. Lahti, Finnland 1990 8 S. (online: www.uni-siegen.de/~fb02/people/fichtner/dokumente/metapher.pdf; Zugriff: 20.01.2009)
- FUSS, Konrad: *Lehrbuch der Physik und Chemie*. Nürnberg: Verlag der Friedr. Kornschens Buchhandlung 1901
- GALLESE, Vittorio, and LAKOFF, George: The brains concepts: The role of the sensory-motor system in conceptual knowledge. *Cognitive Neuropsychology* 22, 455–479 (2005)
- GENTNER, Dedre: Metaphor as structure mapping: The relational shift. *Child Development* 59, 47–59 (1988)
- GENTNER, Dedre, and COLHOUN, Julie: Analogical processes in human thinking and learning. In: GLATZEDER, Britt M., GOEL, Vinod, and MÜLLER, Albrecht von (Eds.): *On Thinking. Vol 2: Towards a Theory of Thinking*. Berlin, Heidelberg: Springer 2008 (preprint 18 S.)
- GENTNER, Dedre, and JEZIORSKI, Michael: The shift from metaphor to analogy in western science. In: ORTONY, Andrew (Ed.): *Metaphor and Thought*; pp. 447–480. Cambridge University Press 1993
- GERTHSEN, Christian: *Gerthsen Physik*. Berlin: Springer 1995, 1999
- GESSINGER, Joachim: Metaphern in der Wissenschaftssprache. In: BUNGARTEN, Theo (Hrsg.): *Beiträge zur Fach-sprachenforschung. Sprache in Wissenschaft und Technik, Wirtschaft und Rechtswesen*. S. 27–30. Tostedt: Attikon 1992
- GLYNN, Shawn M., DUIT, Reinders, and THIELE, Rodney B.: Teaching science with analogies: A strategy for constructing knowledge. In: GLYNN, Shawn M., and DUIT, Reinders (Eds.): *Learning Science in the Schools*; pp. 247–274. Mahwah, New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates Publishers 1995
- GROPENGISSER, Harald: Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens. In: KRÜGER, Dirk, und VOGT, Helmut (Hrsg.): *Theorien in der biomedizinischen Forschung – Handbuch für Lehramtsstudierende und Referendare*. S. 105–116. Berlin, Heidelberg: Springer 2007
- HALLIDAY, David, RESNICK, Robert, and WALKER, Jearl: *Physik – Bachelor Edition*. Weinheim: Wiley-VCH 2007
- HAVEL, Ivan M.: The magic of metaphors in science: Where metaphors and models diverge. In: WITTEW, Amrei, KUT, Elvan, PLISKA, Vladimir, and FOLKERS, Gerd (Eds.): *Approaching Scientific Knowledge: Metaphors and Models*; pp. 27–30. Zürich: Collegium Helveticum 2007
- HAWKING, Stephen: *Die illustrierte kurze Geschichte der Zeit*. Reinbek bei Hamburg: Rowohlt 2000
- HENTSCHEL, Klaus: Zur Bedeutung von Analogien in den Naturwissenschaften. In: DANNENBERG, L., KABLITZ, A., SCHMIDT-BIGGEMANN, W., THOMÉ, H., und VOLLHARDT, F. (Hrsg.): *Scientia Poetica: Jahrbuch der Geschichte und der Wissenschaften*. S. 241–275. Berlin, New York: Walter de Gruyter 2007a
- HENTSCHEL, Klaus: *Unsichtbares Licht? Dunkle Wärme? Chemische Strahlen? Diepholz*. Stuttgart, Berlin: Verlag für Geschichte der Naturwissenschaften und der Technik 2007b
- HERRMANN, Friedrich: Eine Analogie zwischen Mechanik, Elektrizitätslehre, Wärmelehre und Stofflehre. *Praxis der Naturwissenschaften – Physik in der Schule* 2/55, 2–5 (2006)
- JAKOBSON, Britt, and WICKMANN, Per-Olof: Transformation through language use: Children’s spontaneous metaphors in elementary school science. *Science & Education* 16, 267–289 (2007)
- KANT, Immanuel: *Kritik der reinen Vernunft*. Frankfurt am Main: Suhrkamp 1781/1994
- KIRCHER, Ernst: *Studien zur Physikdidaktik: Erkenntnis- und wissenschaftstheoretische Grundlagen*. Kiel: IPN 1995
- KOUBA, Petr: Cognitive function of metaphors and models. In: WITTEW, Amrei, KUT, Elvan, PLISKA, Vladimir, and FOLKERS, Gerd (Hrsg.): *Approaching Scientific Knowledge: Metaphors and Models*; pp. 31–34. Zürich: Collegium Helveticum, 2007
- KRAUS, Helmut: *Die Atmosphäre der Erde*. Berlin, Heidelberg, New York: Springer 2004
- KRETZENBACHER, Heinz L.: Wie durchsichtig ist die Sprache der Wissenschaften? In: KRETZENBACHER, Heinz L., und WEINRICH, Harald (Hrsg.): *Linguistik der Wissenschaftssprache*. S. 15–40. Berlin: Walter de Gruyter & Co. 1994

- LAKOFF, George, and JOHNSON, Mark: *Metaphors We Live By*. Chicago: The University of Chicago Press 1980
- LAKOFF, George, and JOHNSON, Mark: *Philosophy in the Flesh: The Embodied Mind and its Challenge to Western Thought*. New York: Basic Books 1999
- LAKOFF, George, and NUNEZ, Rafael: *Where Mathematics Comes From*. New York: Basic Books 2000
- LEHNER, Günther: *Elektromagnetische Feldtheorie für Ingenieure und Physiker*. Berlin: Springer Verlag 2005
- LEMKE, Jay L.: *Talking Science: Language, Learning, and Values*. Norwood, New Jersey: Ablex Publishing Corporation 1990
- LOCKE, John: *An Essay Concerning Human Understanding*. London: Penguin Books, 1690/2004
- MACKENSEN, LUTZ: *Etymologisches Wörterbuch der deutschen Sprache*. Wiesbaden 1985
- MAYER, Richard E.: The instructive metaphor: Metaphoric aids to students' understanding of science. In: ORTONY, Andrew (Ed.): *Metaphor and Thought*; pp. 561–578. Cambridge: Cambridge University Press 1993
- MAYER-KUCKUK, Theo: *Kernphysik*. Stuttgart: B.G. Teubner 1984
- MAYRING, Philipp: *Qualitative Inhaltsanalyse. Grundlagen und Techniken*. Weinheim 2000
- MIKELSKIS-SEIFERT, Silke: *Die Entwicklung von Metakzepten zur Teilchenvorstellung bei Schülern. Untersuchung eines Unterrichts über Modelle mithilfe eines Systems multipler Repräsentationsebenen*. Berlin: Logos 2002
- MIKELSKIS-SEIFERT, Silke: Modellmethode als epistemologisches und didaktisches Konzept. In: MIKELSKIS, Helmut F. (Hrsg.): *Physikdidaktik*. S. 120–138. Berlin: Cornelsen Scriptor 2006
- OBERBECK, Anton: Über magnetische Curven. *Naturwissenschaftliche Rundschau* 1/18, 145–147 (1886)
- PLISKA, Vladimir: Models and metaphors in scientific use. In: WITWERT, Amrei, KUT, Elvan, PLISKA, Vladimir, and FOLKERS, Gerd (Eds.): *Approaching Scientific Knowledge: Metaphors and Models*; pp. 15–26. Zürich: Collegium Helveticum 2007
- PULACZEWSKA, Hanna: *Aspects of Metaphor in Physics: Examples and Case Studies*. Tübingen: Max Niemeyer 1999
- REIMER, Marga, und CAMP, Elisabeth: Metapher. In: CZERNIN, Franz Josef, und EDER, Thomas (Hrsg.): *Zur Metapher: Die Metapher in Philosophie, Wissenschaft und Literatur*. S. 23–44. München: Wilhelm Fink 2007
- RICHARDS, Ivor Armstrong: *Philosophy of Rhetoric*. New York 1936
- ROLF, Eckard: *Metapherntheorien. Typologie – Darstellung – Bibliographie*. Berlin 2005
- SCHECKER, Horst, und GERDES, Jörn: Messung von Konzeptualisierungsfähigkeit in der Mechanik – Zur Aussagekraft des Force Concept Inventory. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften* 5/1, 75–89 (1999)
- SCHMITT, Rudolf: Methode und Subjektivität in der Systematischen Metaphernanalyse. *Forum Qualitative Sozialforschung/Forum: Qualitative Social Research* 4/2, Art. 41 (2003) online: <http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0114-fqs0302415> (Zugriff: 20.01.2009)
- SCHUMMER, Joachim: *Metaerzählungen der Natur in Chemie und Nanotechnologie*. (unveröff. Vortragspapier zur Tagung „Erzählen im Naturwissenschaftlichen Unterricht“, Kerschensteiner-Kolleg) München. 2006
- SUTTON, Clive: *Words, Science, and Learning*. Oxford: Open University Press 1992
- ZAJONC, Arthur: *Die gemeinsame Geschichte von Licht und Bewußtsein*. Hamburg: Rowohlt 2001

Dr. Lutz KASPER
Pädagogische Hochschule Freiburg
Abt. Physik
Kunzenweg 21
79117 Freiburg
Bundesrepublik Deutschland
Tel.: +49 761 682296
Fax: +49 761 682389
E-Mail: lutz.kasper@ph-freiburg.de

Christian Gottfried Nees von Esenbeck

Amtliche Korrespondenz mit Karl Sigmund Freiherr von Altenstein

Herausgegeben von Irmgard MÜLLER (Bochum)

Die Korrespondenz der Jahre 1817 – 1821 (Teil 1 und 2)

Bearbeitet von Bastian RÖTHER (Halle/Saale)

Acta Historica Leopoldina Nr. 50

(2009; Teil 1 – 406 Seiten, 3 Abbildungen; Teil 2 – 479 Seiten, 1 Abbildung;
50,00 Euro; ISBN 978-3-8047-2689-5)

Der Schriftwechsel zwischen Christian Gottfried NEES VON ESENBECK, dem XI. Präsidenten der Kaiserlich Leopoldinisch-Carolinischen Akademie der Naturforscher, und dem ersten preußischen Kultusminister Karl Sigmund Freiherr VON ALTENSTEIN reicht von 1817 bis zum Todesjahr des Ministers 1840 und umfasst weit mehr als 600 Schreiben. ALTENSTEIN war an verwaltungstechnischen und philosophischen, aber auch an naturwissenschaftlichen Fragestellungen interessiert und bezeichnete die Botanik als seine „Lieblingwissenschaft“.

Den Beginn der Korrespondenz charakterisiert die Berufung C. G. NEES VON ESENBECKS von Erlangen nach Bonn im Jahr seiner Amtsübernahme als Präsident der Leopoldina (1818), die problematische Überführung der Akademie von Bayern nach Preußen sowie die Bemühungen der Akademieleitung um Anerkennung und Bestätigung der Gesellschaft im nachnapoleonischen Deutschland. Die Übernahme des Protektorats durch den preußischen Staatskanzler Karl August Fürst VON HARDENBERG im November 1818 und die dauerhafte finanzielle Förderung der Akademie durch das Ministerium ALTENSTEINS ermöglichten dem Präsidenten bald die periodische Herausgabe der gewichtigen Akademiezeitschrift *Nova Acta* und damit die Etablierung der Leopoldina im deutschsprachigen Raum.

An der neu gegründeten Rhein-Universität in Bonn gelang es dem Botaniker NEES VON ESENBECK mit ministerialer Unterstützung und in kürzester Zeit, in Poppelsdorf einen neuen Botanischen Garten einzurichten. Die ausgezeichneten Kontakte zum Kultusminister führten zudem zur maßgeblichen Einflussnahme auf Berufungen an die neue Universität.

**2. Teil:
Analogien in Antike, Mittelalter
und früher Neuzeit**

Ei, Apfel, Hand und menschlicher Körper: Analogien im kosmologischen Denken des Mittelalters

Reinhard KRÜGER, Stuttgart

Mit 5 Abbildungen und 4 Tabellen

Zusammenfassung

Das kosmologische Denken seit der Antike hat in dem Maße, wie immer weitere Dimensionen des kosmischen Seins erkannt wurden und ihre begriffliche Verortung erforderlich wurde, eine Vielzahl von Sprachbildern produziert, die eine zum Teil jahrtausende währende Erfolgsgeschichte aufzuweisen haben. Im Gegensatz zu Metaphern, die in der Regel nur einen Aspekt aus dem Bildspender auf den Bildempfänger übertragen, handelt es sich bei den sprachlichen Visualisierungen im kosmologischen Denken um Versuche, komplexe Strukturen zu repräsentieren. Dadurch sind diese Bilder nicht mehr als Metaphern aufzufassen, sondern als sprachlich diskursiv gebildete Analogien, die gleichermaßen visueller, temporaler, aber auch kausaler Natur sein können. Als Analogie in diesem Kontext hat sich das Modell vom Ei durchgesetzt, das durch seine Struktur der vier ineinander geschichteten Sphären eine Analogie zum Universum in griechisch-römischer Tradition bildet.

Abstract

Cosmological thought since antiquity has developed a multitude of images that were used to stay as a model of the new realities that came to human knowledge in the development of cosmological investigation. Some of these images have had a fortune for more than a thousand years. In opposition to metaphors which normally only transmit one aspect of an object and transfer it to another one, most essays in cosmological thinking are analogies seeking to represent complex structures of reality. Therefore, these images cannot be understood anymore as metaphors but rather as analogies that have been constructed by the means of language and which can be applied to visual, temporal and causal structures respectively. As the most important analogy in this context we may quote the model of the egg that, through its structure of four concentric spheres, bears analogy to the universe according to Greek-roman tradition.

1. Bilder vom Zusammenhang des Kosmos im Mittelalter

Das kosmologische Denken in Spätantike und Mittelalter¹ hat eine ganze Reihe von bemerkenswerten Analogien geschaffen, mit denen die beschriebenen Strukturen im kosmologischen Denken auf das wesentliche reduziert, vermittelt und im Gedächtnis gespeichert werden können und sollen.² Die kosmologische Analogie hat die Funktion, komplexe Strukturen des materiell Seienden, die sich vor allem in einer Vielzahl von Feinstrukturen in den Beziehungen zwischen den vier von ARISTOTELES bezeichneten zu konzentrischen Sphären geschichteten Elementen (eigentlich die Aggregatzustände) Erde, Wasser, Luft und Feuer ma-

1 Dazu noch viel umfassender DUHEM 1913–1917, 1954–1959, 1985.

2 Ein erster Versuch in diese Richtung: KRÜGER 2005b.

nifestieren, im bildlichen Begriff so weit zu reduzieren, dass über die Einzelwahrnehmung hinausgehende generalisierende Auffassungen etabliert werden können, auf deren Basis dann wiederum singuläre Phänomene der Vermischung der Elemente beispielsweise erneut interpretiert werden können. Bildgeber für diese Analogien – die aus semiotischer Sicht durchaus mit der Metapher verglichen werden könnten, ohne jedoch unbedingt auch eine Metapher zu sein – sind vor allem leicht der Anschauung zugängliche Objekte des Alltags wie das Ei, der Kopf, die Hand, der menschliche Körper oder gar – wie in der Kosmologie von König ALFRED DEM GROSSEN im 9. Jahrhundert geschehen – die Ornamentierung auf einem angelsächsischen Rundschild. Immer geht es darum, Relationen im bildgebenden Objekt zu nutzen, um die erkannten oder postulierten Relationen des materiell Seienden in ein alltagstaugliches Bild einzufassen und sie damit zu speichern.³

Es stellt sich die Frage, inwiefern das Aufkommen dieser Analogien im kosmologischen Denken griechisch-römischer Provenienz, ein Vorgang, der etwa auf das 1. Jahrhundert vor unserer Zeit zu datieren ist, mit der allgemeinen Verbreitung des Wissens zu tun hat und die genannten Analogien vor allem mnemotechnische Funktionen in einem Bildungssystem hatten, in dem die Merktechnik neben der Schriftlichkeit noch eine erheblich größere Funktion bei der Vermittlung und Sicherung von Lehrinhalten hatte.⁴

2. Analogiebildung als semiotisches Verfahren

Für die Definition dessen, was Analogien im naturphilosophischen, kosmologischen oder naturwissenschaftlichen Denken sind, könnte man auf verschiedene Gebräuche des Begriffs Analogie in den einzelnen Disziplinen wie Rhetorik, Sprachwissenschaft, Philosophie, Mathematik oder Theologie zurückgreifen. In allen Fällen würde sich zeigen, dass trotz der verschiedenen Ausdifferenzierungen zwischen den einzelnen Bereichen, in denen die Etablierung von Analogien üblich ist, alle im Kern das griechische Etymon *analogia* in seiner ursprünglichen Bedeutung enthalten, und dies bedeutet vor allem: „Verhältnis“. Die Analogie steht in einem Verhältnis zu dem von ihr modellmäßig Gedachten, und sie repräsentiert mit gedanklichen Konstruktionen Verhältnisse in dem von ihr repräsentierten Sachverhalt. Eine Definition dessen, was Analogien im naturphilosophischen und kosmologischen Denken sind und leisten, sollte sich daher in erster Linie nicht von im Vorhinein festgelegten Bestimmungen, sondern aus der Praxis dieser semiotischen Funktion herleiten.

Die Analogie befindet sich als modellhaftes Denken grundsätzlich in einem semiotischen Verhältnis zu dem von ihr repräsentierten Gegenstand, und sie repräsentiert die als eigentümlich verstandenen Beziehungen zwischen Elementen des von ihr zu repräsentierenden Gegenstands respektive Sachverhalts. Damit ist die Analogie grundsätzlich eine zeichenhafte Konstruktion, und sie erfüllt diese Zeichenfunktion, indem sie Verhältnisse in dem von ihr repräsentierten Gegenstand ihrerseits repräsentiert. Als komplexe Konstruktion aus mehreren Zeichen ist die Analogie ein Superzeichen, dessen Elemente auf einzelne Realitäten, die in ihrer komplexen Gesamtheit auf einen komplexen Zusammenhang verweisen.

3 Als kurze Einführungen aus der Feder des Autors sei verwiesen auf KRÜGER 2005c, 2006, 2007.

4 Sämtliche Quellen, auf die hier verwiesen wird und die nicht extra nachgewiesen sind, sind ausgebreitet und kommentiert in KRÜGER 2000a, b.

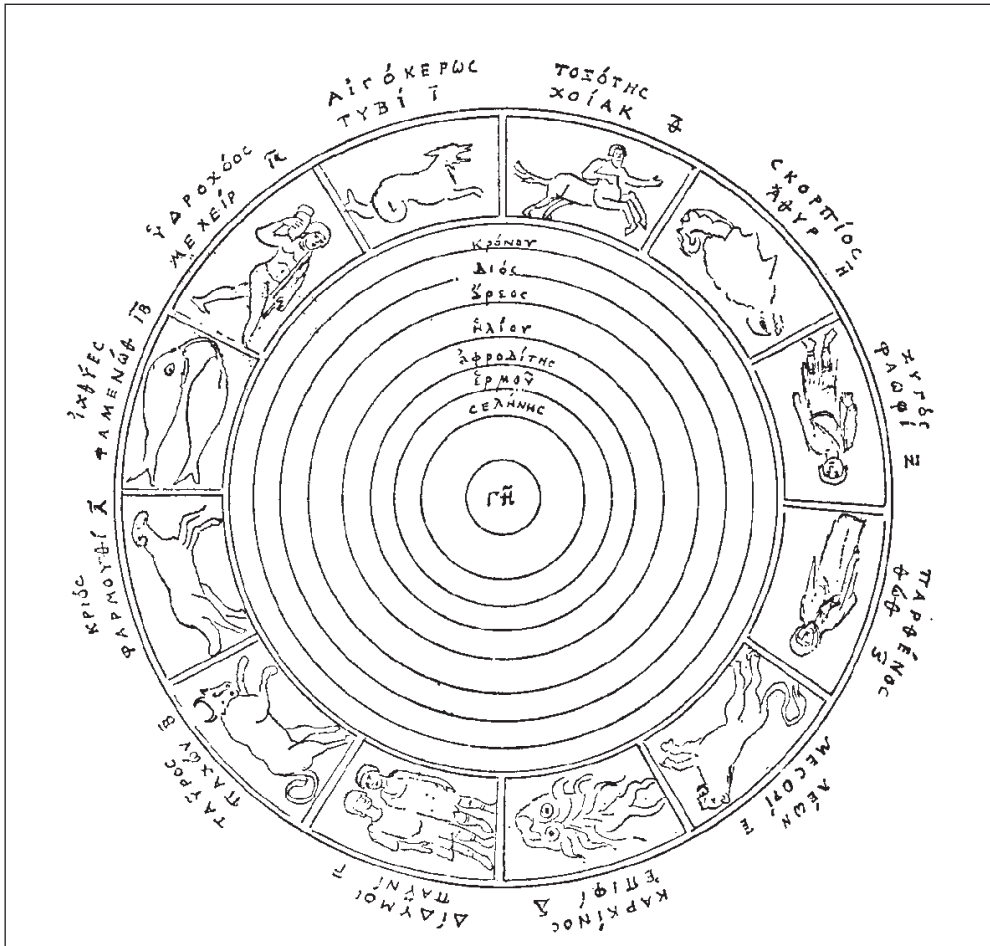


Abb. 1 *Kosmas Indikopleustes*: älteste bekannte schematische Darstellung des Universums aus der *Cosmographia Christiana*, ca. 550 unsere Zeitrechnung

Analogien beziehen sich damit entweder auf die erkennbaren räumlichen Strukturen eines Sachverhalts, den sie zu repräsentieren haben, oder was seltener der Fall, aber umso bemerkenswerter ist; sie repräsentieren eine in der Zeit sich entfaltende Struktur gemäß der angenommenen Dynamik und Kausalität dieser Struktur. Es ist in beiden Fällen möglich, jene Elemente in – den von den Menschen vorgestellten – räumlichen und zeitlichen Strukturen zu identifizieren, die von der Analogie repräsentiert werden.

Angesichts der denkbaren Komplexität der von einer Analogie zu repräsentierenden Sachverhalte ist es vielleicht sinnvoll, einige grundsätzliche Begriffe einzuführen, wenn wir von Analogien in naturphilosophischen und naturwissenschaftlichen Sachverhalten im kosmologischen Denken der Antike und des Mittelalters sprechen.

Das erste wäre die Einführung einer Unterscheidung zwischen räumlicher Analogie und zeitlicher Analogie. Der zweite Begriff entstünde aus der Einführung des Begriffs der Wertig-

keit – der von dem des Wertes verschieden ist – in die Reflektion über Analogien. Hiernach würde die Wertigkeit einer Analogie sich erhöhen, je größer die Anzahl der Elemente ist, die sie mit ihrer eigenen Struktur repräsentiert. Eine Analogie, die wie das chinesische *Yin* und *Yang* binäre Strukturen repräsentiert wie Tag und Nacht, Mann und Frau etc. wäre demzufolge eine zweiwertige Analogie. Entsprechend könnte man bei anderen dann von drei-, vier-, fünf- oder noch höherwertigeren Analogien sprechen.

Die alttestamentarische Erzählung von der göttlichen Schöpfung des Seienden in sechs oder sieben Tagen wäre demnach gemäß der vorgestellten Zeitabschnitte der Schöpfung, die sie repräsentiert, eine sechs- oder – wenn man den Ruhetag einbezieht – siebenwertige Analogie.

Es wäre sicherlich auch noch möglich, zur weiteren Verfeinerung des Klassifikationsmodells die Art und die Komplexität der Beziehungen zwischen den von den Analogien vorgeführten Elementen zu berücksichtigen. Diese Vorschläge zur Begriffsbildung für Analogien in naturphilosophischen und wissenschaftlichen Denksystemen sollen im Folgenden am Beispiel der kosmologischen Modelle der Antike und des Mittelalters erprobt werden.

3. Sozio-kulturelle und historische Bedingtheit von Modellbildungen

Wenn wir von einer semiotischen Beziehung zwischen der Analogie und dem von ihr repräsentierten Gegenstand sprechen, dann müssen wir in Rechnung stellen, dass die Gegenstände von Analogien, obschon sie der objektiven in unsere Sinne fallenden Realität angehören, von uns nur insofern wahrgenommen werden, als wir sie durch Kognitionsprozesse, die gleichermaßen biologisch wie sozio-kulturell geprägt sind, verarbeitet haben. Realität existiert für uns also immer nur in einem Sinne, dass wir Wahrnehmungsinhalte organisiert und auf dieser Basis diese Realitäten konstruiert haben, dass wir sie als außerhalb unseres Bewusstseins als wirksam annehmen und, dass diese Konstruktionen nicht unabhängig von kulturellen Koordinaten möglich sind. Auch wenn wir wissen, dass diese Realität außerhalb unserer Sinne und unseres Willens respektive unserer Vorstellungen objektiv gegeben ist, so ist die Form, unter der wir sie fassen, immer eine Konstruktion. Realität als Konstruktion bedeutet demnach auch, dass verschiedene Kulturen und verschiedene Zeiten auch ganz verschiedene Vorstellungen haben von dem, was Realität ist. Aussagen über die Realität, die zumeist ja den Anspruch haben, wahr zu sein, sind immer nur unter der Maßgabe möglich, dass wir akzeptieren, auf der Basis eines Konsenses über die Wahrnehmungen und ihre Auslegung zu operieren. Es ist also so, wie MONTAIGNE schon in seiner *Apologie de Raymond Sebond* aus den *Essays* geschrieben hat, dass nämlich früher die Auffassungen des ARISTOTELES Gültigkeit beanspruchten, dass in seiner Zeit neue Modelle gälten und dass es vollkommen unabsehbar sei, welche Auffassungen in der Zukunft als die gültigen akzeptiert würden.⁵ Allen drei der hier genannten Weltmodelle kommt also nach MONTAIGNE eine zeitbedingte, d. h. durch Konsens erzeugte, Gültigkeit zu,⁶ und dies gilt grundsätzlich auch für die Frage, was denn die Realität sei, auf die sich eine Analogie bezieht. Es steht zu vermuten, dass Analogien sich weniger

5 Michel DE MONTAIGNE 1954, p. 554: «Avant que les principes qu’Aristote a introduits fussent en credit, d’autres principes contentoient la raison humaine, comme ceux-cy nous contentent à cette heure. Quelles lettres ont ceux-cy, quel privilege particulier, que le cours de nostre invention s’arreste à eux, et qu’à eux appartient pour tout le temps advenir la possession de nostre creance? ils ne sont non plus exempts du boute-hors qu’estoient leurs devanciers.»

6 Vgl. dazu KRÜGER 2000c.

auf ‚objektive Realitäten‘ beziehen, sondern auf mentale Konstrukte, die wir als Modell von außerhalb unserem Bewusstsein wirksamen Realitäten geschaffen haben. Realität – also das, was real ist, weil es wirkt – ist folglich nicht nur von Kultur zu Kultur, nicht nur von Zeit zu Zeit verschieden, sondern es mag auch sein, dass selbst in einer einzigen Kultur mehrere, womöglich sogar vollkommen divergierende Vorstellungen von dem existieren, was, wie WITTGENSTEIN sagen würde, „der Fall ist“.

Aus einer semiotischen – oder auch rhetorischen – Perspektive ist die Analogie also eine Form der Modellbildung, mit der Menschen in Abhängigkeit von ihren jeweiligen kulturellen Formationen und Formatierungen sich grundsätzlich über die von ihnen wahrgenommenen Sachverhalte verständigen. Zugleich verweist die Analogie als Zeichenkonstrukt auf die von ihm repräsentierten Sachen und deren Verhältnis zueinander und macht sie damit kommunizierbar. Da dem Menschen niemals die Wirklichkeit selbst als Gegenstand der Kommunikation, sondern immer nur Repräsentationen der Wirklichkeit zur Verfügung stehen, ist auch für das naturwissenschaftliche Denken grundsätzlich ein hohes Maß an Modellhaftigkeit anzusetzen. Es stellt sich also nicht die Frage, ob Wirklichkeit direkt erfassbar sei oder nicht, sondern vielmehr wie die Modelle, mit denen wir operieren, in Bezug auf die von ihnen repräsentierte Wirklichkeit organisiert sind. Dies kann vom einfachsten Zeichen, das sich in einer nur sehr gering komplexen Beziehung zum Repräsentierten befindet, über Syntagmen, die einen Sachverhalt sprachlich darlegen, bis zu hochkomplexen Systemen der Simulationstechnologie reichen.

In diesem Spektrum der Repräsentationsverfahren hat die Analogie eine ganz bestimmte Funktion. Dabei ist jedoch zu berücksichtigen, dass sie als Methode der Wirklichkeitsrepräsentation nicht unbeeinflusst ist von den historischen Umständen, unter denen sie verwendet wurde. Es ist mit der Analogie wie mit anderen zeichenhaften Repräsentationen von Wirklichkeit so, dass sie als Verfahren der Repräsentation kulturabhängig ist und daher zu verschiedenen Zeiten auch jeweils etwas ganz Verschiedenes sein kann.

Als zweiter Aspekt kommt hinzu, dass man den Charakter der Analogie immer nur identifizieren kann bezogen auf die zu repräsentierende Wirklichkeit. Da diese Wirklichkeit jedoch – obschon sie auch als für sich existierend angenommen werden kann – von uns zu verschiedenen Zeiten auch als ganz verschieden beschrieben und damit auch vorausgesetzt wird, können der Analogie ganz verschiedene Konzepte von der von ihr repräsentierten Wirklichkeit zugrunde liegen.

4. Der Mensch, ein *zoon semeiotikon*

Der Mensch ist also nicht nur ein politisches Tier, wie es ARISTOTELES so treffend festgestellt hat, sondern er ist zum Zwecke eben jenes politisch wohl durchdachten Zusammenlebens vor allem ein kommunizierendes Tier und als solches generell auch ein semiotisches Tier. Er ist ein Zeichenproduzent, der mit Hilfe zeichenhafter Repräsentationen der Objekte von Wirklichkeit und der Vorstellungen, die er von diesen Objekten hat, sich anderen mitteilt und mit diesen kommunikative Interaktionen betreibt. Auch dies wurde natürlich von ARISTOTELES erkannt, denn in seiner *Poetik* geht er von dem grundsätzlich mimetisierenden Charakter des Menschen, hier speziell des Kindes aus, und hält die Mimesis menschlicher Praxis, d. h. menschlicher Handlungen, für die Kernaufgabe der Poesie, die er mit eben jenem anthropologischem Befund begründet, wonach der Mensch ein nachahmendes Wesen sei.

Da es nun in der Poesie in der Regel nicht darum geht, einzelne Objekte zu repräsentieren, sondern um die Repräsentation komplexer Strukturen sozialer Interaktion, ist es auch evident, dass der semiotische Charakter von Repräsentationen auch für komplexere semiotische Artefakte gilt. Diese kombinieren aus uns verfügbaren Zeichen syntaktische Strukturen, auf deren Grundlage wir Vorstellungen von den repräsentierten Verhältnissen sowie Handlungen erzeugen können. In diesem Sinne dürfte es zulässig sein, Sprachkunstwerke als partielle Simulationen sozialer Interaktion zu verstehen, die in irgendeiner Weise mit dem repräsentierten Sachverhalt verbunden sind. Dass dies so ist, hat mit dem grundsätzlich metaphorischen Charakter unserer Sprache zu tun, der üblicherweise viel zu wenig in Anschlag gebracht wird, wenn es darum geht, die Funktionsweise unserer Sprache zu verstehen.

LAKOFF und JOHNSON haben in ihrer grundlegenden und Epoche machenden Studie *Metaphors we live by* (LAKOFF und JOHNSON 1980) herausgearbeitet, wie sehr unsere Sprache und damit unser Denken metaphorisch angelegt sind.⁷ Wenn man dies nun genauer überdenkt, so könnte man anstelle des metaphorischen Charakters unserer Sprache und unseres Denkens auch von ihrem modellhaften Charakter sprechen: Jedes sprachliche Gefüge stellt nämlich in letzter Konsequenz nichts anderes dar, als eine modellhafte Repräsentation eines Sachverhalts, und zwar so, wie er sich von uns erzeugt als mentale Repräsentation in unserem Gehirn gespeichert findet. Damit ist jede sprachliche Äußerung oder auch jede mit anderen semiotischen Mitteln vorgehende zeichenhafte Äußerung interpretationsbedürftig, denn wir benötigen das Wissen um das Verfahren der Erzeugung dieser Modelle, um diese unserem eigenen Verständnis zuführen zu können.

Nachdem nun einmal der grundsätzlich modellhafte Charakter unseres Denkens identifiziert ist, steht jetzt die Frage, welchen Typus von Relation die von uns gebildeten Modelle zu den von uns repräsentierten Sachverhalten aufweisen. Die Möglichkeiten sind dabei ganz verschiedener Art. Es kann nämlich sein, dass von einem komplexen Sachverhalt im Interesse einer leichteren Verständlichkeit so berichtet wird, als habe er sich in einem zeitlichen Handlungsablauf ereignet. Dies ist beispielsweise der Fall bei MOSES' Bericht von der Schöpfung. Die frühen Kirchenväter wissen bereits, dass MOSES einen offensichtlich hochkomplexen Sachverhalt, der ihm von Gott offenbart worden sei, eigentlich auch nur in Form einer so hochkomplexen Darstellung des Ganzen habe berichten können. MOSES jedoch habe, so die Annahme von Kirchenvätern wie BASILIUS VON CÄSAREA (ca. 330–379) und anderen, das in einem Moment geoffenbarte Wissen in eine zeitlich organisierte Erzählung transformiert, und diese Erzählung habe es dann erforderlich gemacht, das in einem Moment sich vollziehende Schöpfungsgeschehen als Schöpfungsakt darzustellen, der sich an den sieben Tagen wie allgemein bekannt vollzogen habe.

Es gibt also die Möglichkeit, hochkomplexe Sachverhalte wie beispielsweise den der Entstehung des materiell Seienden, von dem selbst wir bisher kaum angemessene Vorstellungen entwickeln konnten,⁸ zum Zwecke der besseren Verständlichkeit in eine narrative Struktur zu übertragen, respektive auf eine Zeitachse zu projizieren, die dann die Sachverhalte als zeitliche Projektionen zu repräsentieren haben. Die Erzählung, die grundsätzlich die Erfahrung von einer zeitlichen Strukturiertheit einer Handlung oder eines Geschehens voraussetzt, ist in diesen Falle also nichts anderes als ein Modell, das aufgrund seiner Alltagsauglichkeit leicht verstanden wird und daher zur Repräsentation eines hochkomplexen Sachverhalts ver-

7 Vgl. LAKOFF und JOHNSON 1980.

8 Vgl. HAWKING 1988, 1993, 2001.

wendet wird. Dabei stellt sich nun die Frage, inwiefern eine solche Erzählung aufgrund ihrer temporalen Struktur den Charakter einer Analogie zu dem repräsentierten Ereignis aufweist, oder ob die Erzählung nicht einfach nur eine Metapher auf einen Vorgang ist, der sich normalerweise einem zeitlich kausalen Verständnis verschließt. Wir können also feststellen, dass bereits im alttestamentarischen Bericht von der Schöpfung der Welt eine Ambivalenz von Metapher und Analogie steckt, die es nicht gestattet, eindeutig zu entscheiden, um welchen Typus von Repräsentation es sich handelt.

5. Metapher und Analogie aus semiotischer Sicht

Es ist hier der Ort, den Unterschied zwischen Metapher und Analogie aus semiotischer Sicht scharf zu erfassen. Bei der Metapher reicht es aus, wenn dem Bildspender mindestens eine der Eigenschaften zugeschrieben wird, die dem Bildempfänger attribuiert werden soll. Die Metapher ist damit ein Zeichen, von dem ein Element auf ein Objekt außerhalb seiner üblichen Referenzwirklichkeit verweist. Wenden wir dies auf das Problem der metaphorischen Erzählung von der Schöpfung der Welt an, so ist nicht entscheidend, welches die einzelnen Stationen dieses Schöpfungsaktes gewesen seien, sondern vielmehr dass ein Ereignis – oder eben eine Handlung – stattgefunden hat, auf das durch die narrative Konstruktion ganz allgemein verwiesen wird. Alleine der Umstand, dass erzählt wird, ist bereits metaphorisch und interpretiert das zu Berichtende als erzählbares Ereignis.

Anders bei der Analogie. Hier wird in dem Bildspender, d. h. in der als modellhaft gewählten Konstruktion eine Struktur identifiziert, die als Modell für die erkannten Strukturen im Empfänger des sprachlichen Bildes eingesetzt werden. Ein einziges gemeinsames Merkmal reicht nicht aus zur Etablierung der Analogie, sondern erst bestimmte Verhältnisse dieser Merkmale zueinander. Die Analogie ist damit ein komplexes Zeichen, das auf als ähnlich erkannte komplexe Strukturen außerhalb seiner üblichen Referenzwirklichkeit verweist.

Wir könnten nach diesem eine vorsichtige Abgrenzung von Metapher und Analogie versuchen: Eine Metapher wird gebildet, indem ein Merkmal eines Bildspenders auf ein Objekt übertragen wird. Eine Analogie wird gebildet, indem Sachverhalte der Objektwelt, d. h. die Relationen zwischen einzelnen oder mehreren ihrer Elemente in einem Bild zusammengefasst werden.

6. Exkurs: Das Bündel, das Zimmer und die Ordnung der Dinge bei Jonathan Swift, oder: Metaphern und Analogien der Wissensorganisation

6.1 Das Bündel als Analogie der aleatorischen Wissensspeicherung im Gehirn

Nehmen wir zur Illustration das Beispiel der verschiedenen Bilder für die Ordnung der Dinge im Kopf, die Jonathan SWIFT (1667–1745) in seinen Gulliver-Romanen verwendet hat. Im dritten Teil von Jonathan SWIFTS im Jahre 1726 erstveröffentlichtem Roman *Travels into Several Remote Nations of the World in Four Parts By Lemuel Gulliver, first a Surgeon, and then a Captain of Several Ships*, der eine semiotisch und linguistisch hochbedeutende Passage des Berichts von einer Reise nach Laputa enthält,⁹ lässt Jonathan SWIFT seinen Gulliver

9 Vgl. dazu PROBYN 1974, ebenso GELLNER 1959/2005, S. 189–190.

von einem bemerkenswerten Versuch der Akademie von Lagado berichten, den linguistischen Code mittels der unmittelbaren Präsentation der Objekte zu hintergehen: Man müsse nur in einem Sack alle Dinge mit sich nehmen, über die man kommunizieren will, und schon ist man des Problems des linguistischen Codes ledig. Immer dann, wenn man in eine Kommunikationssituation gerät, in der man über etwas sprechen wolle, benötigt man so nicht mehr Regeln der jeweiligen Sprache, sondern nur noch den richtigen Griff in den Sack voller Dinge (bei SWIFT steht abwechselnd *bundle*, *pack* und *sack*), um dort das hervorzuholen, worum es geht:

“An expedient was therefore offered, ‘that since words are only names for things, it would be more convenient for all men to carry about them such things as were necessary to express a particular business they are to discourse on.’”¹⁰

Das aus Objekten geschnürte Bündel ist damit so etwas wie ein Modell des Gehirns des Kommunikators: Was dort in einer nicht bekannten Ordnung arrangiert ist, denn die vorzuweisenden Sachen müssen erst gesucht werden, wird im Vollzug der kommunikativen Handlung aus diesem vielleicht eher zufälligen ‚Arrangement‘ hervorgeholt.

Es gibt ein zweites Modell, an welches SWIFT denkt, wenn es um die Ordnung der sprachlich repräsentierten Dinge geht: Zum Zwecke umfangreicherer Kommunikation gibt es in den Häusern Kommunikationszimmer, in denen man sich zur Unterhaltung trifft und in denen alle Objekte bereitstehen, die man für diese sprachlose und die Lungen schonende Objekt-Kommunikation benötigt: “Therefore the room where company meet who practise this art, is full of all things, ready at hand, requisite to furnish matter for this kind of artificial converse.” Vorstellungen derartiger Räume sind aus der Tradition der Mnemotechnik bekannt: Es handelt sich dabei um imaginäre zumeist architektonische Szenarien, in welchen derjenige, der seine *memoria artificialis* ausreichend trainiert hat, Vorstellungen von jenen Objekten im Gedächtnisbild unterbringen kann, an die er sich erinnern will. Der mythische Grund der Mnemotechnik wurde gelegt, als angeblich SIMONIDES VON KEOS (5. Jahrhundert vor unserer Zeit) nach einem Erdbeben einen Raum memorieren konnte, in dem er sich zuvor befunden hatte und anhand dessen Gedächtnisbild er die Lage der unter den Trümmern verschütteten Gäste eines Symposions erkennen konnte.

Da es sich um die Organisation der Kommunikation handelt, zeigt sich in beiden Fällen sofort, dass die Ordnung der materiellen Objekte in dem Bündel oder in dem Zimmer womöglich eine analoge Struktur zu dem Konzept von Wissensorganisation im menschlichen Gehirn aufweist, auf das Jonathan SWIFT verweist. Es kann aber auch sein, dass die beiden Ordnungssysteme, die er für die materiellen Objekte vorschlägt, nämlich das aleatorisch zu durchsuchende Bündel oder das wohlgeordnete Kommunikationszimmer nur Versuche einer Annäherung an mental repräsentierte Wissensstrukturen sind, von denen er ausgeht, dass sie so eigentlich nicht genau erkennbar sind.

In einem Fall bedeutete dies, dass das Bündel der Objekte auf eine Wissensorganisation im Gehirn verweist, von der man annimmt, – auch die moderne Hirnforschung ist mit ihren bildgebenden Verfahren da noch nicht weiter vorangekommen –, dass sie ganz ähnlich aleatorisch strukturiert sei und man auf der Suche nach dem passenden Zeichen immer ‚in den dunklen Sack greifen‘ muss. In diesem Falle handelte es sich um eine Analogie, die sich errichtet auf der Basis des Wissens um die aleatorische Struktur der Organisation der Wissensinhalte im menschlichen Gehirn.

¹⁰ SWIFT 1995, 159 sq.

Im anderen Fall jedoch könnte das ungeordnete Bündel der Objekte darauf verweisen, dass man so recht eigentlich nicht weiß, wie das Wissen im Gehirn organisiert ist und der Mensch auf eine nicht erkennbare Weise die Worte aus seinem Gehirn hervorbringt, wie er die Objekte aus dem Bündel hervorzüge. Da das Bündel in dem Fall auf eine Struktur verwiese, über die keine Aussage getroffen wird, handelte es sich jetzt eher um eine Metapher als um eine Analogie.

6.2 Das Kommunikationszimmer als Analogie räumlicher Wissensspeicherung

Das gleiche gilt nun für das Kommunikationszimmer, das die Akademie von Lagado einrichten wollte. In diesem sollte ja alles vorhanden sein, dessen der Mensch bedürfe, um zu kommunizieren. Die Frage stellt sich jetzt jedoch, ob die Organisation dieses Zimmers so beschaffen ist, wie man sich vorstellt, dass das Wissen im menschlichen Gehirn organisiert sei, oder ob es sich nur um ein Arrangement von Objekten handelt, das zwar dem praktischen Bedürfnis nach Kommunikation angemessen ist, aber in keiner Beziehung zur tatsächlichen Organisation des Wissens im menschlichen Gehirn steht. In einem Fall hätten wir es mit einer Analogie zu tun, und in dem anderen Fall möglicherweise noch nicht einmal mit einer Metapher, sondern mit einer aufs Pragmatische der Kommunikation orientierten Ordnung der Dinge, wie sie beispielsweise auch ein Wörterbuch als Versammlung der Zeichen der Dinge enthalten kann. Nehmen wir jedoch den kultur- und mediengeschichtlich hochrelevanten Sachverhalt hinzu, dass in der antiken, mittelalterlichen und frühneuzeitlichen Gehirnforschung zwischen der *memoria naturalis* und der *memoria artificialis* unterschieden wurde, so können wir doch eine Kernaussage über die mentale Repräsentation der Dinge treffen. Die *memoria naturalis* assoziiert die Dinge nach Zusammengehörigkeit im Raume, und zwar so wie sie sich in zeitlicher und kausaler Beziehung zueinander dargestellt haben. Sie ist damit vor allem assoziativ. Ein Beispiel dafür wären erhaltene bilinguale Wörterverzeichnisse des 13. Jahrhunderts, in denen beispielsweise die Stadtlandschaft von Paris als Ausgangspunkt für die Ordnung von Wörtern und Wissen genutzt wird. Hier findet sich in einem lateinisch-französischen Verzeichnis alles aufgeführt, was sich am Pont Neuf befindet. Dies bedeutet, dass die Ordnung der Wörter hier topologisch gemäß den beobachtbaren Dingen am Pont Neuf vollzogen wird. Der Mensch versammelt hier Wissensinhalte auf assoziative Weise nach dem Modell der Wahrnehmung einer komplexen vielgestaltigen Wirklichkeit, wie sie sich an einem konkreten Ort befindet.

Das andere Modell wäre mit der *memoria artificialis* eine künstliche Konstruktion von Strukturen des Gedächtnisspeichers. Gemäß der Tradition der Merktechnik habe jener, der sich in dieser Technik ausbilden möchte, sich städtische, architektonische Strukturen und möglicherweise auch Landschaftsszenen vorzustellen, in denen er ‚vor seinem geistigen Auge‘ das unterbringt, woran er sich erinnern möchte. Wir haben es nach diesem Modell also damit zu tun, dass es eine Struktur der *memoria* gibt, die kulturell erzeugt ist und die durchaus mit der Struktur eines mit Objekten angefüllten Raumes vergleichbar ist. Wenn also das Gehirn gemäß dem Verfahren der *memoria artificialis* wie ein Raum strukturiert ist, dann wäre nun auch das Kommunikationszimmer bei Jonathan SWIFT nicht etwa eine beliebige Erfindung, sondern verwiese direkt auf eine Art des Arrangements des Wissens im menschlichen Gehirn. Demzufolge wäre das Zimmer als Organisationsprinzip des Wissens eine Analogie zum Organisationsprinzip des Wissens entsprechend den Regeln der *memoria artificialis*.

Beide Beispiele zeigen uns, dass wir nur dann beurteilen können, ob es sich bei einem Bild um eine Analogie oder eine Metapher handelt, wenn wir uns auch klare Vorstellungen

davon machen, wie in einer gegebenen Zeit die modellhaft zu repräsentierende Wirklichkeit – in diesem Fall die Struktur der Ordnung des Wissens im menschlichen Gehirn – gedacht wurde. Es ergeben sich etwa folgende Relationen:

Tab. 1 Gullivers Analogien

	Sack	Zimmer
Aleatorisch geordnetes Wissen	Analogie	
Unkenntnis über die Ordnung des Wissens	Metapher	
Architekural geordnetes Wissen		Analogie zur <i>memoria artificialis</i>
Räumlich-assoziative Ordnung des Wissens		Analogie zur <i>memoria naturalis</i>

7. Analogien in mittelalterlicher Kosmologie sind nicht falsch, sondern anders

Wenn wir diese Überlegungen zur Analogie nun auf den alttestamentarischen Schöpfungsbericht anwendeten, dann müssten wir voraussetzen, dass der Bericht des MOSES' sowohl durch seine zeitliche Struktur als auch durch die Abfolge der berichteten Handlungselemente auf ein Geschehen verweist, von dem angenommen wird, dass es sich etwa so zugetragen hat. Es gäbe also eine komplexe Beziehung zwischen dem 6-Tage-Werk, dessen Auslegung im Mittelalter die eigene Textsorte des *Hexaemeron* gezeitigt hatte, und dem tatsächlichen Geschehen bei der Entstehung der Welt.

Darüber zu entscheiden war in der Geschichte natürlich Aufgabe von Glaubenskämpfen oder Auseinandersetzungen zwischen christlichen und naturwissenschaftlichen Weltbildern. In keinem Fall kann MOSES' Schöpfungsbericht insbesondere auch mit Blick auf moderne biologische Auffassungen so beim Worte genommen werden, wie es von Fundamentalisten getan wird. Man ist sich in aufgeklärten religiösen Kreisen jedoch darüber durchaus bewusst, dass es sich eher um eine metaphorische Erzählung als um einen auf Analogie errichteten Diskurs handelt.

Die Frage lässt sich nun noch erheblich vertiefen, wenn wir nicht wie im Alten Testament ein narratives Muster zur Verfügung haben, mit dem die Schöpfung dargelegt werden soll, sondern wenn wir die Modelle eingehender betrachten, die bereits in vorchristlicher Welt von der Struktur des Universums entwickelt wurden. Zwar gibt es in allen archaischen Mythenberichten auch immer wieder Erzählungen davon, wie ein Urschöpfer die Welt geschaffen habe, doch steht diese Erzählung, wie man beispielsweise in der älteren *Edda* lesen kann, entweder parallel oder gar in Konkurrenz zu einem anderen Bild, das wir in der Tradition älteren kosmologischen Denkens finden.¹¹ Es handelt sich dabei um das Motiv des Ur-Eies, das von einem Urvogel nach einem Akt der ersten ursprünglichen Zeugung gelegt worden sei und aus dem alles Seiende hervorgegangen sei. Selbstverständlich ist auch hier die Geschichte von der Hervorbringung des ersten Eies eine Erzählung, die kaum mehr als metaphorisch für den Akt der Zeugung und Erzeugung verstanden werden kann, und dennoch reicht die Sache weiter. Diese ist jedoch so weit verbreitet – z. B. in der indischen Mythologie –, dass sie zu den allgemeinen Schöpfungsmythen der Menschheit gerechnet werden kann.

¹¹ Vgl. auch SIMEK 1988, 1992.

Wir finden Spuren des Mythos vom Urvogel, der das erste Ei gelegt habe, sogar noch im Alten Testament. Dies ist festzumachen an der Textstelle der *Genesis*, in der es heißt, dass der Geist Gottes über den Wassern gewesen sei. Diese Deutung des hebräischen Textes ist einer Zahl von frühen Kirchenvätern als äußerst zweifelhaft erschienen, und so hat man sich bemüht, die historische Semantik dieser Passage etwas genauer auszuleuchten. Es war der im 4. Jahrhundert wirkende EPHRAIM DER SYRER, der auf der Grundlage einer aramäischen Version des alten Testaments diese Passage so übersetzte, dass jetzt der Geist Gottes über den Wassern gebrütet habe. Durch die aramäische Rekonstruktion des hier verwendeten Verbs als „brüten“ rückt in das Bild von der Schöpfung der Welt die Vorstellung von einem Gott, der über den Wassern schwebt und die Welt, die er gerade zu schaffen gedenkt, gleichsam bebrütet und ausbrütet. EPHRAIM DER SYRER deckt nach seinem Fund nun die dahinter liegende Metaphorik auf und erläutert, dass man sich dies so vorzustellen habe, wie wenn ein Vogel sein Ei bebrüte.

Dieses Ergebnis philologischer Studien ging wie ein Lauffeuer über Kleinasien und das lateinische Südeuropa hinweg, und Kirchenväter wie BASILIUS VON CÄSAREA, AMBROSIUS VON MAILAND und AURELIUS AUGUSTINUS hatten die Chance verstanden, die in dieser Entdeckung lag: Es konnte nämlich die Vorstellung von der Erschaffung der Welt mit dem kosmologischen Mythos von der Hervorbringung des Ur-Eies in Übereinstimmung gebracht werden. Dies hatte einen ungemeinen Vorteil, denn es war so möglich, von der kosmologischen Metapher zur kosmologischen Analogiebildung zu schreiten.

Es gilt nämlich spätestens seit dem Enzyklopädisten VARRO aus dem 1. Jahrhundert vor unserer Zeitrechnung, dass man die Struktur des Universums mit der Struktur eines Hühner-ees vergleichen könne. Dies hat damit zu tun, dass in griechischer Tradition das Universum so aufgefasst wurde, als sei es aus vier Elementen aufgebaut: im Zentrum des Ganzen befinde sich das schwerste Element Erde, das sich kugelförmig nach allen Seiten im Zentrum zusammengezogen habe. Darum befindet sich die Sphäre des nächst leichteren Elements, des Wassers, also die Hydrosphäre. Darum die Atmosphäre als die aus dem noch leichteren Element der Luft geschaffene Sphäre und schließlich die Fixsternsphäre, die aus dem Element Feuer geschaffene äußerste Sphäre des Universums.

Diese schematische Darstellung des Aufbaus des Universums nach ARISTOTELES hatte in der griechischen und lateinischen Antike gleichermaßen Gültigkeit. DIOGENES LAERTIUS (3. Jhd.) referiert in seiner Schrift *Leben und Meinungen berühmter Philosophen* diese Positionen als *Akousmata* des PYTHAGORAS, d. h. als Wissen, das in mündlichem Umlauf war. Dabei ist es gleichgültig, ob es sich um authentische Worte des PYTHAGORAS handelt oder solche, die man ihm zugeschrieben hat. Wichtig ist, dass in der Spätantike, von der ja sonst immer behauptet wird, sie habe sich im intellektuellen Niedergang befunden, die Positionen der griechisch-römischen Kosmologie unter Einschluss der spätestens von PLATON im *Timaios* dargelegten Transformation der Raumvorstellung von Oben und Unten zu Zentrum und Peripherie ‚im Umlauf‘; also Alltagswissen waren:

„25. die sinnlich wahrnehmbaren Körper, deren Elemente, vier an der Zahl, folgende sind: Feuer, Wasser, Erde, Luft; sie unterliegen der Veränderung und einer durchgängigen Wandelbarkeit, und es bildet sich aus ihnen eine beseelte Welt, vernunftbegabt, kugelförmig, mit der Erde als ihrem Mittelpunkt, die auch ihrerseits kugelförmig und bewohnt ist.

26. Auch Antipoden gibt es, denen unser Unten das Oben ist.“¹²

¹² DIOGENES LAERTIUS 1955, II, S. 22.

Es ist schließlich VARRO, dem es nachweislich als Erstem gelungen ist, den mythologischen Bericht vom kosmischen Ei mit der rationalen Konstruktion der Materiestruktur des Universums nach griechischer Tradition zu verbinden. Es war damit möglich, von der Metapher, wie sie im Bericht von der Hervorbringung des ersten Eies steckt, zur Analogie überzugehen: Es wurden die Strukturen des Universums in denen des Eies und die des Eies in denen des Universums wieder entdeckt.

Tab. 2 Urvogel und Weltenei

	Ei
Schöpfung des Seienden durch den Urvogel	Metapher
Beschreibung des Weltenaufbaus mit dem Modell des Ur-Eies	Analogie

8. Temporale, räumliche und daraus kombinierte Analogien

Wir können also mehrere Typen von Analogien feststellen, die gegebenenfalls auch miteinander vermengt auftreten können. Die erste Analogie ist eine temporale Analogie, da sie Elemente der Struktur eines Geschehens nacherzählt. Die Erzählung hat jetzt dabei die Aussage, dass die von ihr vorgeführte zeitliche Struktur des Geschehens der zeitlichen Struktur des tatsächlichen Geschehens analog ist.

Der zweite Typ von Analogie ist räumlicher Art. Es wird hier in Form einer Beschreibung das räumliche Arrangement eines zu repräsentierenden Sachverhalts wiedergegeben und dieses im Modell eines vergleichbaren Gegenstands veranschaulicht. Es sind also die narrativen Grundfunktionen, die wir bereits aus ältester Dichtung kennen, nämlich berichten und beschreiben, welche den Grundmodus der Analogie bestimmen.

8.1 Berichte von imaginären Reisen als temporale und räumliche Analogien

Über diese elementaren Formen der Analogiebildung hinaus können wir auch experimentelle Inszenierungen von Handlungen erkennen, die uns aufgrund ihrer Nähe zur alltäglichen Lebenswirklichkeit bestimmte Sachverhalte anschaulich machen sollen. So ist seit der Antike das Verfahren der „Gedankenreise“ bekannt, auf die sich der Erzähler wie der Rezipient zu begeben hat, um den zu vermittelnden Sachverhalt eingehender sich vorstellen zu können.¹³ So finden wir bei CICERO im *Somnium Scipionis* – ein Text, dessen kosmologischer Gehalt durch den Kommentar des MACROBIUS erhalten bleibt – die Vorstellung davon, wie sich der Erzähler eines Traumes von der Erdoberfläche in Richtung Himmel fortbewegt und dabei im Traume alle wichtigen Stationen der Materiestruktur des Kosmos abfliegt. Auf diese Weise gelangt er durch die Atmosphäre schließlich an die Sphäre der einzelnen Planeten und schließlich der Fixsterne und führt Station um Station vor, was er dort sieht. Diese kosmische Gedankenreise vollzieht sich also vor einer imaginären Karte des Universums und setzt ihren allgemein anerkannten Einsatz zur Veranschaulichung der Struktur des Seienden voraus.

¹³ KRÜGER 2005a.

Diese Karte nun wiederum, die uns die Sphären der verschiedenen Elemente sowie die Strukturen der astronomischen Welt zeigt, ist nichts anderes als eine analoge zweidimensionale Projektion einer dreidimensionalen Raumstruktur. Diese kann nur durch den Bericht vom kosmischen Flug wieder als dreidimensionale Struktur rekonstruiert werden.

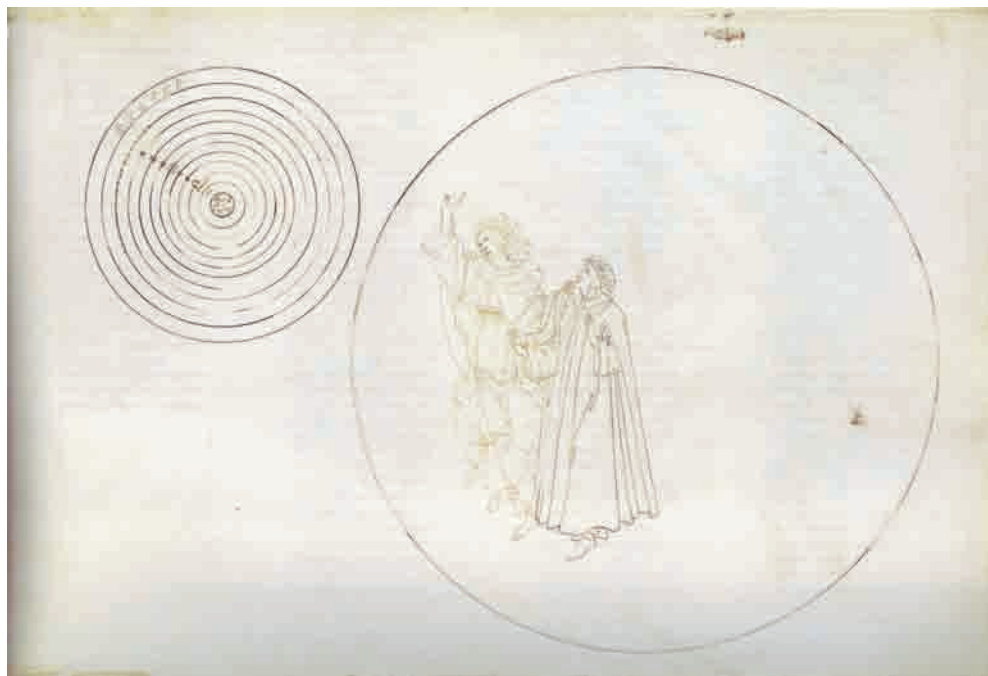


Abb. 2 Sandro BOTTICELLI: DANTE und Laura steigen durch das Universum und werden seiner ansichtig.

Dass es sich bei derartigen Berichten tatsächlich um Berichte handelt, die vor einem implizit vorhandenen graphischen Modell des Universums niedergeschrieben werden, erkennen wir sehr eindringlich an den Illustrationen, die Sandro BOTTICELLI zu DANTES *Divina Commedia* gefertigt hatte. Hier sehen wir in den Illustrationen zum Bericht vom *Paradiso* wie DANTE und Laura irgendwann gegen Ende ihrer Reise an den äußersten Rand des Universums gelangt sind und nun von außen das Ganze betrachtend ein Schematogramm des Universums vor Augen haben, das so aussieht, als sei es auf eine Tafel gezeichnet. Die Reisebewegung desjenigen, der einen Bericht von einer kosmischen Reise abliefern, gibt also nicht mehr die Struktur eines kosmologischen Ereignisses wieder, sondern stellt ein Gedankenexperiment eigener Art dar, das es gestattet, ein dem realen Universum analoges Konstrukt in Form des Berichts von einer Handlung vorzuführen. Es handelt sich hierbei bereits um ein hoch elaboriertes Verfahren der Anschaulichmachung von Sachverhalten, das weit von den elementaren Analogiebildungen entfernt ist. Hier transformiert sich kosmologische Analogiebildung bereits in vollkommen neuartige Diskurstypen, die letztlich hoch komplizierte Verfahren der Analogiebildung darstellen. Mit der räumlichen Analogie erfasste Raumstruktur wird hier zum Prätext einer Projektion dieses Wissens auf eine Zeitachse, entlang derer der zeitlich

analoge Bericht von der Gedankenreise durch das Universum erbracht wird. Räumliche und zeitliche Analogie sind in diesem Verfahren zu der Einheit einer Analogie mit hoher Wertigkeit verschmolzen.

Tab. 3 Temporale und räumliche Analogien

Bericht von einer Schöpfungshandlung	temporale Analogie
Beschreibung der Struktur eines Eies	räumliche Analogie
Bericht von einer Reise durch das explizite oder implizite Modell des Raumes	Verbindung von räumlicher und temporaler Analogie

8.2 Die Schlachtung des Ur-Riesen als Schöpfungsakt in der nordischen Kosmologie

In der Regel liegen die beiden Grundformen des analogen Berichtens und des analogen Beschreibens nicht scharf getrennt voneinander vor. Die typologisch älteste Form, die aus dem europäischen Kulturkreis verfügbar ist, dürfte der Schöpfungsbericht der *Älteren Edda* sein, wonach das Universum aus den Knochen, dem Blut, dem Fleisch und dem Atem des Ur-Riesen geschaffen worden sei. Dieser Mythos berichtet von einer Handlung, in deren Ergebnis eine Ausgangsmaterie in das geformte Universum verwandelt worden sei. Mehr können wir jedoch über die zeitliche Struktur und Dynamik des Vorgangs nicht erkennen. Der Bericht geht damit in dieser Hinsicht kaum über die archaische Metaphorik hinaus, wonach ein Urgott das Universum geschaffen habe. Hier wird ein Bild verwendet, das dem Bild des schaffenden Menschen abgeschaut ist; mehr wird aber über diesen Vorgang hier nicht ausgesagt.

Anders sieht dies hingegen aus, wenn wir uns nun anschauen, welches die einzelnen Elemente sind, aus denen der Schöpfergott das Universum geschaffen hat. Die vier Elemente, die allgemein von allen archaischen Kulturen identifiziert werden, sind auch hier enthalten. Sie werden in Beziehung zu der Materie des Körpers des Riesen gesetzt, und es entsteht auf diese Weise ein analoges Paradigma von Körperbestandteilen, das sich auf das Paradigma der physikalischen Elemente bezieht. So haben wir eine Klasse von physikalischen Elementen, nämlich Erde, Wasser, Luft und Feuer und eine analoge Klasse von mythologischen Elementen, nämlich Knochen, Blut, Fleisch und Atem.

Tab. 4 Die kosmologische Analogie von der Schlachtung des Ur-Riesen

	Schlachtung des Riesen	4 Bestandteile des Riesenkörpers
archaisches Denken	Bericht von der Schöpfung	= Wirklichkeit
mythisches Denken	Legende von der Schöpfung	= Metapher auf die 4 Elemente / Aggregatzustände
aufgeklärtes Denken	Metapher über die Schöpfung	= Analogie / merktechnisches Verfahren

Dies ist ganz zweifellos eine bereits entwickelte analoge Struktur, die allerdings nichts über die räumlichen Beziehungen zwischen den Elementen aussagt. Auf der anderen Seite zeigt sie aber sehr schön, wie bereits in den archaischsten kosmologischen Vorstellungen ein Keim von

Analogiebildungen enthalten ist. Es ist im Fall der *Älteren Edda* nicht zu entscheiden, ob der Bericht von der Schaffung der Welt bereits als eine Erzählung verstanden werden muss, mit der einem weniger wissenden Publikum ein komplizierter Sachverhalt leicht eingänglich vertraut gemacht werden sollte, oder ob es sich um ein noch vollkommen autochthones mythologisches Denken handelte, dem der Analogiecharakter und möglicherweise sogar der Metapherncharakter noch ganz abgesprochen werden müsste. In der Zeit jedoch, in der dieser Bericht von dem isländischen Gelehrten Snorri STURLUSON aufgeschrieben wurde, also um das Jahr 1200, war das kosmologische Denken der griechischen und römischen Antike auch in Island bereits so gut bekannt, dass jetzt die Auslegung des Mythos vom Ur-Riesen als Analogie auf die tatsächliche Schöpfung und die Beziehung der Elemente untereinander aufgefasst werden konnte.¹⁴

8.3 Die Genesis als temporale Analogie des Schöpfungsaktes

Das hier angerissene Problem der Interpretation archaischer Schöpfungsberichte, zu denen auch der alttestamentarische gehört, ist also auch ein hermeneutisches. Was aus der Sicht Snorri STURLUSONS und seiner Zeitgenossen als Allegorie, auch wenn es nur eine sehr primitive ist, erscheint, ist womöglich aus der Sicht jener archaischen nordischen Gesellschaften, die sich dieses zuerst erzählten, gar keine Allegorie oder Metapher gewesen. Das bedeutet weiter, dass die Anwendung des Begriffs der Allegorie auf archaische Schöpfungsberichte nicht so ohne Weiteres möglich ist, denn der gleiche Text kann aus verschiedener historischer Perspektive einmal als eine wahre Beschreibung der Verhältnisse (nämlich so, wie man glaubte, dass sie sich zugetragen haben) und ein anderes Mal als modellhafte und erläuternde Erzählung von den Verhältnissen verstanden worden sein. Dies war bereits der Konflikt, der sich im 4. Jahrhundert einstellte, als es darum ging, den Schöpfungsbericht der *Genesis* zu plausibilisieren: Es handelte sich hierbei nämlich um die Kosmologie einer erheblich primitiveren, kleinasiatischen Kultur, die in den griechisch-römischen Kulturraum implantiert werden sollte. Die Konsequenz war, dass sie so lange uminterpretiert werden musste, bis eine Lektüre gefunden war, die mit der griechisch-römischen Kosmologie kompatibel war. Es sind also verschiedene Lesarten anzunehmen und anzusetzen, wenn es um die Identifikation des semiotischen Status von kosmologischen Berichten geht, und diese verschiedenen Lesarten sind Ergebnis eines historischen Wandels, der einmal den Text selbst, dann aber auch die je verschiedenen Verstehensbedingungen betrifft.

Dies ist beispielsweise bis auf den heutigen Tag das Grundproblem jeder Bibelauslegung: Fundamentalisten verlangen die buchstabengetreue Lektüre, während sich andere dessen bewusst sind, dass es sich bei den biblischen Texten nur um Berichte handelt, die einer besonderen Auslegung bedürfen. Die philologischen Wissenschaften haben im Bewusstsein dieser Problematik und um irriige Lektüren zu vermeiden die Theorie von dem mehrfachen Schriftsinn entwickelt.

Neben dem *sensus litteralis* wird ein *sensus metaphoricus* und neben diesem noch ein *sensus allegoricus* als Bedeutungsebene eines Textes angenommen. Diese drei Bedeutungsebenen scheinen es nun genau zu gestatten, die drei historischen Formen des Berichtens von Schöpfung freizulegen. Danach entspräche der *sensus litteralis* dem Text und seiner Bedeutung im ältesten Sinne, der *sensus metaphoricus* entspräche der Phase der Modellbildung, die dem mythologischen Denken unmittelbar folgte, der *sensus allegoricus* schließlich der aktu-

¹⁴ Zur Interferenz von altnordischer und griechisch-römischer Kosmologie vgl. SIMEK 1990.

ellen Bedeutung, die man unter Zuhilfenahme des aktuellen Wissens und seiner Bildungselemente konstruieren kann. Nun ist es so, dass der Begriff des *sensus allegoricus* so sehr von der christlichen Bibelexegese okkupiert ist, das man, wenn es um kosmologische Berichte geht, auch vom *sensus analogicus* sprechen könnte, denn in beiden Fällen handelt es sich darum, den Text als eine Rede zu verstehen, die für etwas anderes steht.

8.4 Kopf und Augen als Analogie des Universums

Wenn es im *Elucidarius*, einem kosmologischen Propädeutikum aus dem späten 12. Jahrhundert, das in fast alle europäische Volkssprachen übersetzt wurde, heißt, der Kopf des Menschen stehe für die Rundheit des Universums, seine beiden Augen für die beiden großen Himmelskörper, dann ist dies eine Analogie, die sich auf den Vorstellungen von Rundheit und dem Größenverhältnis zwischen dem Universum und Sonne und Mond begründet. Am leicht jedermann verfügbaren merktechnischen Bild des menschlichen Kopfes sollen elementare Sachverhalte des Universums memoriert werden, die dann im Bewusstsein des Rezipienten unter Zuhilfenahme weiterer Informationen rekonstruiert werden.

Wenn ein Dichter hingegen schreibt, die Augen der Geliebten leuchteten wie Sterne oder er habe ihre zwei Sterne leuchten sehen, dann ist dies eine Metapher und im zweiten Falle sogar eine absolute Metapher, und hat mit der kosmologischen Analogie nichts mehr zu tun.

Den Unterschied zwischen der Allegorie und der Metapher können wir am Beispiel poetischer Rede illustrieren, die sich kosmologischer oder astronomischer Bilder bedient. Wenn ein Dichter die Augen seiner Geliebten mit den Sternen vergleicht, wenn er deren Haut mit dem Weiß der Milchstraße vergleicht, wenn er deren strahlend blondes Haar mit dem Glanz der Sonne vergleicht, dann geht es nicht darum, mit dem Bild der Geliebten einen kosmologischen Zusammenhang zu memorieren, sondern es werden Elemente der außergewöhnlichen oder hochbedeutsamen Erfahrungswirklichkeit genommen und dienen als Bildspender zur Beschreibung der außergewöhnlichen Schönheit der Geliebten. Hier ist der Körper der Geliebten kein Erinnerungsort, aus dem kosmologisches oder astronomisches Weltwissen generiert wird, sondern er steht als Nicht-Zeichen für sich und wird geliebt um seiner selbst Willen. Das bedeutet nicht, dass es nicht auch Zeiten gegeben hat, in denen wie im Mittelalter genau darüber gestritten wurde, ob der Körper einer Frau um ihrer selbst und um der Liebe willen schön ist (Positionen des aristotelischen Sensualismus), oder ob er als sinnliches Vorzeichen der Schönheit des göttlichen Plans anzusehen sei (durch die Scholastik transzendental gewendeter aristotelischer Sensualismus). Die Zahl der Sonette und sonstigen Gedichte jedenfalls, die uns diese sensualistische Sichtweise der Dinge präsentieren, ist so zahlreich, dass man eine mehrbändige Anthologie kosmologischer und astronomischer Metaphern in der Liebeslyrik erarbeiten könnte, ohne dass diese als Analogien anzusehen wären.

Es ist danach evident, dass hier vor allem der umgekehrte Fall interessiert, in dem nämlich der Körper eines Menschen wie im *Elucidarius* oder bei Snorri STURLUSON in der *Älteren Edda* vor allem deshalb als dezidiert merktechnisches Bild genutzt wird, um andere Sachverhalte besser memorieren zu können. Der menschliche Körper als solcher ist aus dieser Sicht zwar keine Analogie zum kosmischen Ganzen. Die Tatsache aber, dass er Elemente enthält, die in ihrer Summe Analogien zum kosmischen Ganzen aufweisen, deckt nun doch die Tatsache auf, dass hier gewisse Analogiestrukturen existieren.

Nehmen wir das Beispiel des ursprünglichen Riesen aus der *Älteren Edda*, dann können wir folgende Analogie etablieren:

- Knochen – Erde
- Blut – Wasser
- Atem – Luft
- Wärme – Feuer

Die vier Elemente, die aus der Gesamtheit des Riesenkörpers ausgewählt werden, sind so ausgewählt worden, dass sie eine Analogie zu den vier Elementen bilden, aus denen das Universum nach griechisch-römischer Auffassung aufgebaut ist. Das bedeutet, dass der Körper mit dem Vorwissen der antiken Kosmologie als Spender einer Analogie aufgefasst und interpretiert worden ist, die es dann gestattet, sich an die vier Grundelemente gemäß antiker Kosmologie zu erinnern.

Entsprechendes gilt für die astronomische Analogie im *Elucidarius*: Hier stehen die beiden Augen des Menschen für die beiden großen Himmelsgestirne Sonne und Mond, während der Kopf für das sphärische Universum steht, in dem sich ja Sonne und Mond nach antiker und mittelalterlicher Auffassung auf ihren Sphären bewegen. Auch hier ist der menschliche Körper so selektiv betrachtet worden, dass nur wenige Elemente ausgewählt sind, die dann umstandslos auf ein zuvor existierendes Wissen angewendet, als Analogie komponiert werden.

Beide der hier vorgestellten Körper-Kosmos-Analogien geben keine Auskunft über die Beziehungen der repräsentierten Sachverhalte zueinander, denn diese Beziehungen werden erst durch das zusätzliche Wissen desjenigen, der diese Analogie verwendet, rekonstruierbar.

8.5 Gottessohn und Welt

In der christlichen Welt werden diese Analogien noch zusätzlich dadurch gestützt, dass es seit der *Genesis*-Exegese von ORIGENES die Vorstellung gibt, dass das göttliche Heilsgeschehen in sich analog strukturiert ist: Nach ORIGENES sind die Schaffung der Welt durch Gott und die Erzeugung seines Sohnes analoge Vorgänge, so dass es nach ORIGENES möglich sei, davon zu sprechen, dass die Welt Gottes Sohn und umgekehrt Gottes Sohn die Welt sei. Diese Analogie begründet sich auf nichts anderem, als auf der Tatsache, dass die Welt und dass Gottes Sohn geschaffen/erzeugt worden sind, d. h. dass die Geschaffenheit von Welt und Sohn als solche bereits die Analogie begründet.

Diese Analogie zwischen Welt und Gottes Sohn wird in der mittelalterlichen Kosmologie dann so dargestellt, wie beispielsweise auf der *Ebstorfer Weltkarte* (Abb. 3).¹⁵ Hier erkennen wir das übliche Schema der Karte des *orbis terrarum*, die die Kontinente Asien, Afrika und Europa vom Ozean umgürtet darstellt. Durch textliche Hinzufügungen am oberen Rand der Karte wird auch noch zusätzlich erklärt, dass es sich hierbei um die Darstellung der kugelförmigen Erde im Zentrum des Universums handeln soll. Doch diese Karte enthält nicht nur genaueste geographische Daten und Hinweise auf die klimatischen, geologischen, historischen und ökonomischen Vorzüge der einen oder anderen Weltregion, sondern sie enthält auch Darstellungen von Mythen, Legenden und geschichtlichen Sachverhalten. Jedes Element dieser Erdoberfläche ist damit durch eine Vielzahl von Daten aufgeladen, die über das Geographische hinaus in das Historische und das Symbolische reichen. Entsprechend dem somit auch zu identifizierenden symbolischen Gehalt dieser Weltkarte ist schließlich

¹⁵ KRÜGER 2008b.



Abb. 3 Die Ebstorfer Weltkarte (ca. 1220 – 1290)

ihre Einordnung in die Darstellung eines heilsgeschichtlichen Zusammenhangs möglich. So wie es ORIGENES gesehen hatte, wird nun auch diese Darstellung der Welt interpretiert als die Darstellung von Gottes Sohn, und so erkennen wir am Rand dieser Weltkarte im Osten den Kopf des Gottessohnes, im Norden und Süden seine Hände und im Westen seine Füße. Die Welt ist damit als Leib des Gottessohnes interpretiert, beide Bilder sind miteinander so verbunden, dass sie kaum noch voneinander zu trennen sind, es sei denn, man lege nun wiederum das Verhältnis von altem und neuen Testament zugrunde, wonach die Geburt des Gottessohnes eine Wiederholung des göttlichen Schöpfungsaktes darstellte. Der Vorgang der Empfängnis (durch den heiligen Geist und verkündet durch den Engel), des Heranwachsens der Frucht und der schließlichen Geburt des Gottessohnes kann bei dieser zeitlichen Struktur nur als ein analoger Vorgang zu der Schöpfung des Universums verstanden werden. Es ist allerdings nicht möglich, hier weiter zu gehen, um in die Binnenstruktur dieser Analo-

gie einzudringen, denn in der Tat enthalten nach christlicher Auffassung und Auslegung die Erzeugung der Welt und die Empfängnis des Gottessohnes nicht ausreichend viele Gemeinsamkeiten und gemeinsame Strukturen, als dass mehr als die Existenz einer narrativen Analogie behauptet werde könne. Beide Vorgänge sind voneinander so grundsätzlich verschieden, dass man das Verhältnis zwischen Welterschöpfung und Geburt des Gottessohnes nur als metaphorisch bezeichnen kann. Dies ist selbst dann der Fall, wenn wir in beiden Fällen davon ausgehen, dass sich die Genese von Welt und Gottessohn in einer gewissen zeitlichen Struktur vollzogen haben möge. Dies ist schon im Falle der Genese der Welt außerordentlich problematisch, denn nach kirchenväterlicher Auffassung, und hier muss AUGUSTINUS genannt werden, hat Gott die Welt in die Wirklichkeit gesetzt in einem einzigen unteilbaren Augenblick und sie so fertig und vollkommen gestaltet, wie sie sich dem Menschen nun einmal darbietet. Mit dem Argument der Augenblicklichkeit der Welterschöpfung will AUGUSTINUS die ontologische Frage klären, ob denn eventuell eine Materie existiert habe, bevor Gott die Welt so geschaffen hat. Mit dieser Frage ist nämlich die grundsätzliche Problematik verbunden, ob die Materie schon immer Bestand gehabt hätte, oder ob sie erst erschaffen werden musste. Daraus resultiert nämlich sofort die nächste Schwierigkeit, dass dann Gott als gleichzeitig mit der Materie da seiend verstanden würde, und dies bedeutet, dass er notwendigerweise auch nicht das Prinzip, d. h. der Ursprung alles Seiens sein könne. So musste also AUGUSTINUS auf die Idee der augenblicklichen Erschaffung der Welt verfallen, um ihre Geschaffenheit durch den ewigen Gott postulieren zu können, und dies bedeutet weiter, dass dieser Vorgang sich nicht in einem Prozess mit zeitlicher Struktur vollzogen haben konnte. Es wird damit evident, dass der Vorgang der Erzeugung und Geburt des Gottessohnes, der ja auch ein Menschensohn und damit Ergebnis eines biologischen Prozesses ist, keine Analogie zur Erschaffung des Universums in der Ansicht des AUGUSTINUS bilden kann. Erst durch die Hineinnahme der rhetorischen Struktur des Berichts der *Genesis* könnte gegebenenfalls ein Element von Zeitlichkeit in den göttlichen Schöpfungsakt hineingeschaut werden. Es war nämlich nach Auffassung der meisten älteren Kirchenväter erforderlich gewesen, dass MOSES die ungeheure Wahrheit der ihm zuteil gewordenen Offenbarung der göttlichen Schöpfung auf dem Berge Sinai überhaupt nicht mit gewöhnlicher Sprache habe fassen können, sondern dass er darauf angewiesen war, in einer dem Volk verständlichen Sprache zu sprechen. Dies bedeutet dann praktisch, dass er den ihm offenbar gewordenen Schöpfungsakt als einen Vorgang beschreiben musste, der sich in einer zeitlichen Abfolge von 6 Tagen vollzogen habe. Erst in dieser Sicht wird es möglich, eine Analogie zwischen dem Schöpfungsbericht und dem biologischen Vorgang einer Geburt herzustellen. Sicherlich werden auch solche Vorstellungen trotz des kirchenväterlichen Postulats von der Augenblicklichkeit der Schöpfung eine Rolle gespielt haben. Sie zeigen einmal mehr, wie sehr die Beantwortung der Frage, ob es sich um eine Analogie oder um eine Metapher handelt, vollkommen davon abhängt, wie die aufeinander zu beziehenden Sachverhalte jeweils und gegebenenfalls auch ganz unterschiedlich interpretiert worden sind.

9. Merktechnische Bilder als Analogien im kosmologischen Denken

Die bisher in Augenschein genommenen Analogien bzw. kosmologischen Metaphern weisen alle die Gemeinsamkeit auf, dass sie aus Alltäglichem das Modell gewinnen, mit dem das universale Ganze wenigstens in dem davon gemeinten Teilbereich verstanden werden kann.

Dies ist jedoch nicht nur bei den vergleichsweise einfachen Bildern der Fall, sondern auch kompliziertere Analogien gehen immer von dem alltäglich Beobachtbaren und als Bild allenthalben Verfügbaren aus, um von dort aus eine jedermann verständliche Begrifflichkeit für das Erfassen großer kosmologischer und astronomischer Zusammenhänge zu liefern.

9.1 Die Struktur eines Eies als Analogie des Universums

Das erfolgreichste Modell für die Erfassung kosmologischer Sachverhalte finden wir nun im Bild des Ur-Eies, das gleichermaßen von archaischem Mythos, von griechisch-römischer Kosmologie und schließlich von kirchenväterlichem Verständnis des Kosmos genutzt wurde.¹⁶ Wir können hier ganz ursprünglich immer davon ausgehen, dass das Ei, aus dem das Leben hervorgeht, als Symbol von Generation und Schöpfung in allen archaischen Vorstellungen gedient hat. Dies können wir in keltischen Mythen ebenso wie in der griechischen Mythologie feststellen. Dort beispielsweise tritt der Gott Zeus als Schwan auf, um sich mit der schönen Leda zu paaren, und als Ergebnis dieser Vereinigung legt Leda zwei Eier, aus denen dann Kastor und Pollux hervorgehen. Hier erscheint der höchste Gott des griechischen Pantheons als einer, dessen Zeugungsakte zur Geburt von Eiern führen. Das heißt in der mythologischen Chiffre nichts anderes, als dass der Gott im Prinzip ein Gott der Eier oder des Eies ist, denn dieses stellt das archaischste Sinnbild der Entstehung von Neuem durch Fruchtbarmachung des Vorhandenen dar.

Dieses archaische Bild von dem kosmischen Ur-Ei wird in der römischen Antike vom Enzyklopädisten VARRO im 1. Jahrhundert vor unserer Zeit genutzt, um es vom allgemeinen Prinzip der Fruchtbarkeit, was wohl nichts weiter als eine symbolische Funktion des Bildes impliziert, zu einer komplexeren Funktion fortzuentwickeln. Solange das Ei lediglich als Symbol des Schöpfungsvorganges dient, kann es in dem naturwissenschaftlichen Verständnis, wenn man denn schon davon sprechen möchte, keine komplexere Funktion annehmen als die einer Metapher. Als Symbol kann es zur Metapher des Schöpfungsvorganges werden und auch über die Vorgänge der Erzeugung von Leben und damit von Seiendem, die nicht aus dem Ei hervorgehen, genutzt werden und auf solche Vorgänge verweisen.

VARRO ist hier einen entscheidenden Schritt weiter gegangen. Er hat nämlich das Ei als ein merktechnisches Bild weiterentwickelt und es damit soweit von seiner rein symbolischen und metaphorischen Funktion entfremdet, dass es gleichsam wissenschaftliche Aussagen über die Strukturen des Universums zu machen gestattet. Aus welcher Tradition VARRO diese Vorstellung bezogen hat, kann nicht mit Sicherheit gesagt werden, dennoch ist es vor allem er, der auch von späteren Kosmologen im Rückblick immer als einer der Urheber dieser Idee identifiziert wird. Die Autoren des dritten und vierten Jahrhunderts erkennen zunächst vor allem die Tradition der Orphiker als eine der wichtigen Quellen des Ei-Motives. Hiernach habe das anfängliche Chaos irgendwann einmal die Form eines Eies angenommen und allmählich eine Binnenstruktur herausgebildet, die das Ganze lebensfähig gemacht habe. Im Zentrum dieses Eies habe sich dem Mythos zufolge ein riesiger Globus befunden, aus dem ein menschenähnliches Wesen hervorgegangen sei, das gleichermaßen männliche wie weibliche Charakteristika aufgewiesen habe. Diese gegenüber dem archaischen Mythos recht differenzierte Auffassung der Orphiker, das in der hier referierten Gestalt weniger als ein wissenschaftsförmiges Modell denn als ein Glaubensbekenntnis zu verstehen ist, hat VARRO in seiner uns heute nicht mehr

¹⁶ Vgl. dazu DRONKE 1974.

erhaltenen Enzyklopädie radikal auf die Grundlage einer rationalen Kosmologie griechischer und römischer Tradition umgestellt. Damit ist es nicht mehr in erster Linie ein Symbol der Generationen, eine Metapher universeller Schöpfung, sondern ein Bild, das dem verständigen Leser essentielle Sachverhalte der antiken Kosmologie nahe bringen soll. Nach VARRO ist es nämlich so, dass die Binnenstruktur des Eies der Struktur des Universums analog sei, denn so wie das Universum aus vier schalenartig ineinandergeschichteten Sphären der vier Elemente besteht, so weise auch das Ei eine Struktur auf, die der Struktur der Elementensphären des Universums entspreche. Hiernach habe das schwerste Element Erde im Zentrum sich als Kugel zusammengezogen, darum habe sich das Element Wasser zur Hydrosphäre versammelt, schließlich habe sich darum die Sphäre des nächst leichteren Elements gebildet, nämlich die Atmosphäre, und endlich habe sich darum wie die Schale des Eies das Firmament als feste äußere Hülle gebildet. Die naturphilosophische Umdeutung des orphischen Mythos vom Ur-Ei hat nun den Vorteil der unmittelbaren Anschaulichkeit für jeden, der über die Strukturen eines Eies unterrichtet ist. Es ist damit im Rahmen einer Kultur, in der beispielsweise Eier zu den täglichen Nahrungsmitteln gehören, so präsent, dass man umstandslos von der Wirksamkeit dieses Bildes überzeugt ist. Diesem merktechnischen Bild gab VARRO und denen, die daran gearbeitet haben, langfristige recht.

Merktechnische Bilder zeichnen sich also dadurch aus, dass sie es gestatten, strukturelle, qualitative und quantitative Aspekte des zu memorierenden Sachverhalts im Bild zu erfassen und den zu beobachtenden tatsächlichen Verhältnissen analog zu einander in Beziehung zu setzen. Sie erfüllen damit eine elementare Funktion der Analogie, nämlich auf dem Wege über ein anderes Bild einen Sachverhalt zu repräsentieren, den sie selbst nicht aufweisen.

9.2 *Die menschliche Hand als Analogie der Klimazonen*

Neben dem Modell des Eies finden wir in der spätantiken und mittelalterlichen Kosmologie das Bild der Hand, mit der erinnert werden soll, wie viele Klimazonen auf der Erde aufgrund ihrer Kugelgestalt und der jahreszeitlich jeweils anderen Stellung zur Sonne sich gebildet haben. Dieses Bild von der Hand, die uns die Klimazonen gleich einem an den Fingern vollzogenen Abzählvers vorführt, finden wir erstmals bei ISIDOR VON SEVILLA, was uns vermuten lässt, dass er es als gebildeter römisch akkultrierter Iberer der Senatorenklasse selbst der eigenen Bildungstradition entnommen hat. Mehr können wir hierüber nicht sagen, wohl aber, dass die Hand als merktechnisches Bild mit dem Merkbild des Eies die Gemeinsamkeit aufweist, dass sie dem alltäglichen Leben abgeschaut ist und daher jedermann leicht zur Verfügung steht.

Der Zweck dieses Bildes ist es nun, dass jeder Finger eine der 5 Klimazonen repräsentiert, und zwar in der folgenden Reihung: Der kleine Finger repräsentiert dabei den nördlichen Polarkreis, der sich aufgrund der dort herrschenden Kälte durch Unbewohnbarkeit auszeichnet, der Ringfinger repräsentiert die gemäßigte Zone des Nordens, in der die Kontinente Asien, Europa und Afrika und mit ihnen die bewohnte und bewohnbare Welt liegen. Diese werden lediglich in der Nähe des arktischen Polarkreises, wegen der Kälte, und der Äquatorzone, wegen der dort herrschenden Hitze, unbewohnbar. Der Mittelfinger repräsentiert als der längste Finger der menschlichen Hand auch die längste und größte Klimazone. Es handelt sich dabei um die den Äquator umlaufende heiße Zone, die gerade aufgrund der Hitze unbewohnbar ist. Es folgt der Zeigefinger, der die südliche temperierte Zone repräsentiert, die aufgrund ihrer klimatischen Bedingungen prinzipiell bewohnbar sein dürfte, von der man aber keine genau-

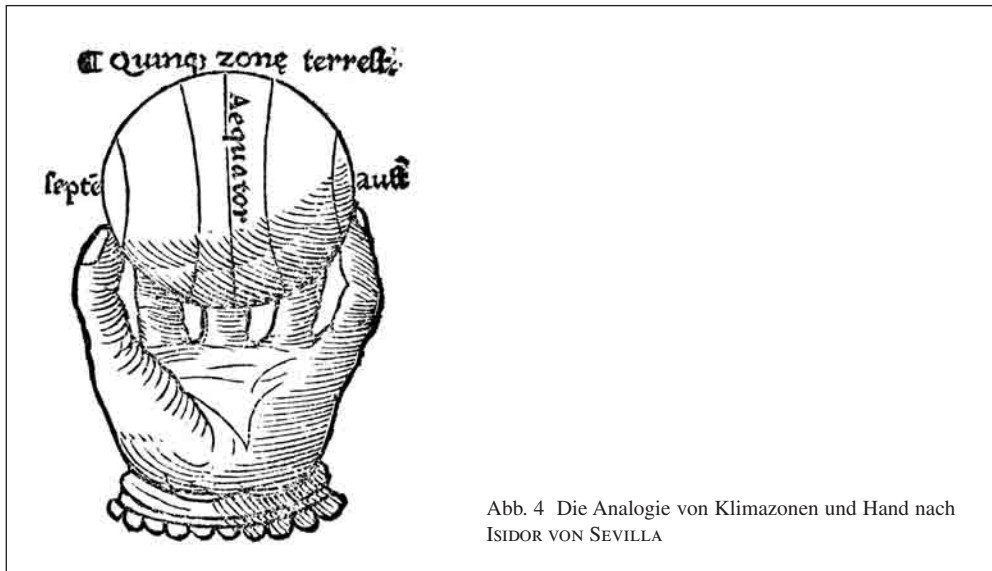


Abb. 4 Die Analogie von Klimazonen und Hand nach ISIDOR VON SEVILLA

eren Kenntnisse hat. Darauf folgt der Daumen, der den Globus gleichsam an der Antarktis greifend, die arktische Polarzone repräsentiert, die ihrerseits wie die nördliche Polarzone wegen der Kälte unbewohnbar ist.

Wir können in diesem merktechnischen Modell nun folgende Ebenen der Angemessenheit und damit auch der Analogie identifizieren:

- (1.) Die 5 Finger entsprechen den 5 Klimazonen, und es gestattet, durch die einfache Betrachtung der Hand die Gliederung des Erdklimas in 5 Klimazonen zu rekonstruieren. Diese Einteilung entspricht schon in der Antike unserem heutigen Verständnis von astronomischer Einteilung der Erdoberfläche gemäß dem Verlauf der Polarkreise und dem Wendekreis der Sonne. Auch wir haben es auf allen Welt Darstellungen, die die Polarkreise und die Wendekreise zeigen, mit der in 5 Zonen gegliederten Erdkugel zu tun. Das erste, was wir also feststellen können, ist eine numerische Analogie.
- (2.) Aufgrund der astronomischen Lage der Erde im Vergleich zur Sonne entstehen die 5 Klimazonen, und diese teilen die Erdkugel in ganz unterschiedlich große Flächen ein. In der Tat sind dabei die beiden Polarzonen die ausdehnungsmäßig kleinsten, die heiße Äquatorialzone im Zentrum die größte und die beiden gemäßigten Zonen zwischen ihnen von mittlerer Länge. Dies entspricht nun auch taxonomisch dem Modell der Hand, denn die beiden kleinen Finger, d. h. Daumen und kleiner Finger, repräsentieren die kleinen Klimazonen, der lange Mittelfinger repräsentiert die größte äquatoriale Hitzezone und die beiden großemäßig zwischen Mittelfinger und Daumen respektive kleinem Finger ansetzenden Ring- und Zeigefinger die beiden zwischen den beiden Extremen liegenden Zonen. Wir können also neben der rein numerischen Analogie nun auch noch eine Größenanalogie feststellen, die von diesem merktechnischen Bild geliefert wird.

Das Wissen um die einzelnen Klimazonen ist dabei nicht an den Fingern ablesbar, sondern nur wenn man die Grundlagen der antiken Kosmologie kennt, ist man imstande, die Finger auch angemessen zuzuordnen.

Aufgrund der Tatsache, dass die Klimazonen an der Äquatorialebene der Erde spiegelsymmetrisch sind, werden aus dem Klimazonenmodell auf dem Wege der Analogie weitere Schlüsse gezogen: Was von den klimatischen Bedingungen in der arktischen Zone, in der gemäßigten Zone des Nordens und der nördlichen Region der Äquatorzone bekannt ist, wird nun per Analogie auch für die südliche Halbkugel als richtig angenommen. In den kosmologischen Schriften seit PLINIUS zeigt sich kein Zweifel daran, dass auf der südlichen Hemisphäre im wesentlichen die gleichen klimatischen Zustände wie auf der nördlichen herrschen und die Klimazonen vergleichbar strukturiert sind ... nur dass man darüber – noch – nichts wissen kann, weil niemand so weit in den Süden jenseits des Äquators vorgedrungen sei. Ebenso ist man sich sicher, dass aufgrund der Ekliptikschiefe die Abfolge der Jahreszeiten auf der nördlichen Hemisphäre auf der südlichen entsprechend zu verzeichnen ist, nur dass die Jahreszeiten auf der südlichen Hemisphäre um genau sechs Monate phasenverschoben eintreffen. All diese Aussagen werden auf dem Wege der Analogiebildung getroffen, als handele es sich um empirisch erhobene Befunde, und dies, ohne dass, so weit bekannt, jemals ein Mensch des mediterranen Kulturkreises bis dahin seinen Fuß auf den Boden südlich des Äquators gesetzt hätte. Auch der Bericht von HANNO dem Seefahrer aus Karthago, der um das Jahr 470 vor unserer Zeit bis in den Golf von Guinea gelangt sei, enthält keine Hinweise auf die klimatischen Verhältnisse.¹⁷

9.3 Das Modell des orbis terrarum als Analogie der Verteilung der Kontinentalplatten

Ein weiteres Modell wird erzeugt durch die Bildung eines Monogramms, das aus den Anfangsbuchstaben des Begriffs *orbis terrarum* gebildet wird. Dabei wird das O als kreisrunde Repräsentation der aus dem globalen Ozean herausragenden Kontinentscheibe verstanden.¹⁸ Diesem O wird der Buchstabe T eingeschrieben, und zwar so, dass der waagerechte Strich des T das O waagerecht durchtrennt und der senkrechte Strich des T das untere Kreissegment noch einmal senkrecht teilt. Das so entstandene Bild zeigt uns nun eine Kreisscheibe, die durch die Striche des T im Verhältnis von 2:1:1 aufgeteilt ist. Dieses Verhältnis entspricht nach damaliger Auffassung dem Anteil der 3 bekannten Kontinente an der Erdoberfläche, wonach Asien zwei Teile, Europa und Afrika hingegen jeweils nur einen Teil der Landoberfläche ausmachen. Das OT-Monogramm gestattet es also in sehr anschaulicher Weise, selbst für den der Schrift nicht kundigen Menschen, sich vorzustellen, wie man sich die Aufteilung der Kontinente vorzustellen hat. Wir haben es hier also mit einer geometrischen Analogie zu tun, die auch taxonomische Gesichtspunkte aufweist.

9.4 Punkt und unendlicher Umkreis als mathematisch-geometrische Analogie kosmischer Größenordnungen

Das nächste merktechnische Bild ist das des unendlich kleinen Punktes, den die Erde im Zentrum des Universums besetzt, im Vergleich zu der unermesslichen Größe des Universums in seinen äußeren Dimensionen. Indem die Erde im Zentrum des Universums als ein unendlich kleiner ausdehnungsloser Punkt im mathematischen und geometrischen Modell aufgefasst

¹⁷ Karl BAYER *Periplus Hannonis*, in HANNO 1993, S. 346–353.

¹⁸ Meines Erachtens zu zurückhaltende Interpretationen solcher Darstellungen liefert Anna-Dorothee VON DEN BRINCKEN 1989a, b, 1992.

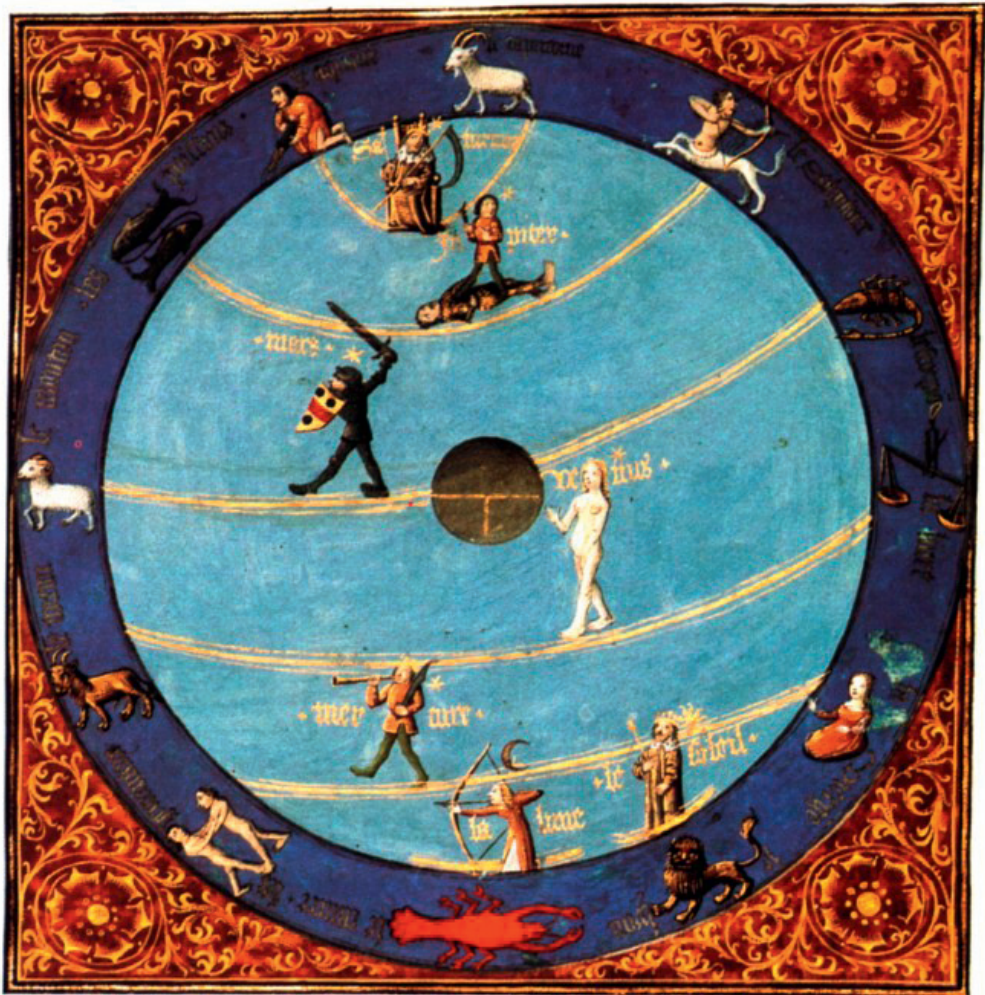


Abb. 5 Das Diagramm des orbis terrarum. Mittelalterliche Illumination nach ISIDOR VON SEVILLA

wird, ist es notwendig, dass der Umfang des Universums um diesen unendlich kleinen Punkt nur unendlich groß sein kann.¹⁹ Das Wissen um die Geometrie des Punktes entstammt den *Elementa* des EUKLID, die in Spätantike und Mittelalter nicht etwa in Vergessenheit gerieten, sondern durch eine lateinische Übersetzung des BOETHIUS auch vor dem Niedergang durch das Nachlassen der griechischen Sprachpflege bewahrt wurden. Indem also das Modell des unendlich kleinen Punktes in einer dem gegenüber notwendigen Weise unendlich großen Sphäre eingesetzt wird, um das Verhältnis von Erde und Universum zu begreifen, benutzt die mittelalterliche Kosmologie eine mathematisch-geometrische Analogie. Auch wenn die Erfahrungswirklichkeit jedem vermittelt, dass die Erde natürlich kein unendlich kleiner Punkt

¹⁹ KRÜGER 2008a.

ist oder dies nur als Metapher verstanden werden könnte, so gibt es doch eine astronomische Beobachtung, die schon in Antike und Mittelalter gemacht wurde und die diese Analogie von Punkt und unendlichem Umfang nahegelegt hat: In Antike und Mittelalter weiß man, dass die Sterne sich bei eigener Fortbewegung auf der Erdoberfläche nicht oder so gut wie nicht in ihrer Lage verändern, und dies hat zur Bildung des Begriffs von den Fixsternen geführt. Anders als die Planeten, d. h. die sogenannten Wandelsterne, verändern die Fixsterne ihre Lage praktisch nie. Bei einer vergleichsweise geringen Erfahrung hinsichtlich der großräumigen Bewegungen und ihres Einflusses auf die Ansicht des Sternenhimmels erschien so den Astronomen der Antike und des Mittelalters der Fixsternhimmel so, als sei er sich an jedem Punkt, von dem aus man ihn auf der Erde betrachte, gleich. Dies, so schloss man, sei nur möglich, wenn die Erde als ein unendlich kleiner Punkt im Vergleich zum Universum aufgefasst werden müsse. Diese Analogie nutzt also geometrische und davon abgeleitet mathematische Relationen, um eine Erfahrungswirklichkeit im Modell verständlich zu machen, denn in der Tat ist die räumliche Unendlichkeit des Universums sinnlich nicht erfassbar und erfahrbar und nur ein abstraktes mathematisches Modell kann als Analogie hier weiterhelfen.

Auf der Grundlage dieser Analogie jedoch werden im volkssprachlichen kosmologischen Schrifttum des frühen Mittelalters Vorstellungen zur Veranschaulichung des mathematisch-geometrischen Modells entwickelt, d. h. also bereits abgeleitete Analogien zweiter Ordnung geschaffen. So schreibt König ALFRED von England im 9. Jahrhundert, dass man sich diese punktförmige Kleinheit der Erde im Vergleich zum Universum vorstellen müsse wie den Knauf in der Mitte eines Kampfschildes im Vergleich zum Umfang des ganzen Schildes. Es handelt sich bei diesem Bild also um die visuelle Analogie einer mathematischen Analogie.

Es kommen jedoch hierauf errichtete erheblich elaboriertere mathematische Analogien hinzu, die vor allem diskursiv vermittelt werden. So stammt eine der wichtigsten Positionen der mittelalterlichen Kosmologie zur Frage der Unendlichkeit des Universums aus einer nicht mehr genau zu rekonstruierenden Tradition des gnostischen Denkens, wie es von den Schriften des HERMES TRISMEGISTOS weitergegeben wurde. Diese Positionen werden u. a. im *Librum viginti quattuor philosophorum* (Mitte 12. Jahrhundert) weitergeführt, in dem es gleich in der zweiten These zum Verhältnis von Zentrum und Peripherie des als Sphäre des Universums aufgefassten Gottes heißt: *Deus est sphaera infinita cuius centrum est ubique, circumferentia nusquam*.²⁰ Heutige Kosmologen würden dies als eine angemessene Annäherung an die Problematik akzeptieren, dass wir über die Grenzen des Universums nichts aussagen können und das Universum sich an jedem Punkt gleich auszudehnen scheint, die Mittelpunktfrage also nicht geklärt werden kann. Es ist schon im mittelalterlichen kosmologischen Denken so, dass das Verhältnis von unteilbar kleinem Punkt (dem *atomos*, dem Unteilbaren also) und Peripherie des Universums auf spekulative Weise und dem Weg der logischen Schlussfolgerung zu ähnlichen Ergebnissen kommt.

9.5 Kugelmodelle: Apfel und Kerze als analoger Apparat

Der letzte Typ von Analogien betrifft die Illustration der Gestalt der Erde mit kugelförmigen Objekten und den Versuch, mit diesen kugelförmigen Objekten auch die Stellung der Erde zu der Sonne zu illustrieren. In der Tradition der griechischen Kosmologie wird der Begriff der *Sphaera* eingesetzt, der also nichts anderes illustrieren will als die ballartige Rundheit

²⁰ Vgl dazu die Edition von Françoise HUDRY 1997.

der Erde. Entsprechend verwendet die römische Kosmologie den Begriff der *pila*, aus dem sich später im Zuge der Herausbildung der romanischen Volkssprachen Lexeme wie *palla*, *pelota* oder *balle* und andere entwickeln. Die Bildlichkeit des Balles alleine wird jedoch nicht exklusiv im Mittelalter beibehalten, auch wenn wir heute noch vom Erdball oder von der Erdkugel sprechen. Es kommt neben dem Bild des Eidotters, das schon im Kontext des merktechnischen Bildes vom kosmischen Ei behandelt wurde, nun auch noch das Bild des Apfels hinzu. Weshalb der Apfel so leicht zur Verfügung stand, hat mit dem alten, zunächst wohl religiösen Herrschersymbol zu tun, das bis in die römische Antike zurückverfolgt werden kann.²¹ Ausgehend von dem wohl roten Apfel, respektive Granatapfel, den die Göttin Hera als Fruchtbarkeitsgöttin in den Händen hält, hat sich das Symbol des Reichsapfels herausgebildet, das vor allem den Herrschaftsanspruch des Kaisers über die Erde im symbolischen Bild erheben soll. So kommt es zu einer Amalgamierung der Idee der Erdkugel mit dem Bild des Apfels, die insgesamt die Erdkugel auch als Apfel erscheinen lässt und das mittelalterliche Herrschaftssymbol immer auch als Reichsapfel deutet.

Solange wir jedoch nur über kugelförmige Gebilde als Modelle für die Erdkugel verfügen, geht diese Begriffsarbeit nicht über die Erzeugung von Metaphern hinaus. Erst wenn diese Bilder genutzt werden, um Verhältnisse zu zeigen, dürften wir nach der eingangs gegebenen Definition auch von einer Analogie sprechen. Nun ist es so, dass wir in der Kosmologie des 12. und 13. Jahrhunderts auf folgende Versuchsanordnung treffen, mit der das Verhältnis von Erde, Sonne, Tag und Nacht illustriert werden soll. Demnach soll ein Apfel in der Nähe einer Lichtquelle gehalten werden, wobei diese Lichtquelle üblicherweise als eine Kerze beschrieben wird. Wenn nun diese Kerze ihr Licht auf den (Erd)-Apfel scheinen ließe, dann könne man sehen, wie genau die Hälfte der Erde von Licht beschienen sei, während die andere Seite in tiefer Nacht liege.

Es handelt sich hierbei um eine Analogie, die auf den räumlichen und funktionalen Beziehungen zwischen zwei Objekten errichtet ist, die zur Illustration kosmischer Sachverhalte zur Aufstellung gebracht werden können oder die man wenigstens im Geiste so behandeln kann. Es handelt sich hierbei also um eine funktionale Analogie, da die Objekte des Modells die Funktionen zwischen den beiden zu repräsentierenden kosmischen Objekten veranschaulichen sollen. Dieses funktionale Modell ist zugleich auch ein dynamisches, denn es ist hierbei mitgedacht, dass die Kerze um den im Zentrum befindlichen Apfel herumgeführt wird und dadurch der Wandel von Tag und Nacht auf der Oberfläche des Apfels simuliert wird. Das Beispiel des (Erd)-Apfels und der (Sonne)-Kerze ist nur eines von vielen, in denen im mittelalterlichen kosmologischen Denken versucht wird, aus der ballgleichen Rundheit der Erde in Beziehung zum Kosmos auf die irdischen Verhältnisse zurückzuschließen. All jene Modelle, die hier nicht weiter ausgeführt werden können, weisen alle Aspekte einer Analogie auf, denn sie verweisen immer auf Verhältnisse.

10. Schluss

Kommen wir zum Schluss. Soweit bisher ersichtlich, kann keiner der aus Mythos, Legende und Unterrichtung in Antike, Spätantike und Mittelalter identifizierbaren Analogien der Status einer Analogie im Sinne heutiger Wissenschaft zugesprochen werden. Es handelt sich hierbei um Modelle, die es gestatten sollten, entweder Vorgänge der Erzeugung des Seienden

²¹ Vgl. dazu die wichtige Studie von SCHRAMM 1958.

oder Strukturen des Seienden zu repräsentieren, wobei ein teils erheblicher intellektueller Aufwand betrieben wird, dies jedoch ohne schon den Status des heutigen Analogiebegriffs zu erlangen. Die Analogiebildung der spätantiken und mittelalterlichen Kosmologie ist ein ‚naturwissenschaftliches Verfahren‘, das einem anderen Wissenssystem zugehört als dem unsrigen der modernen Naturwissenschaften. Analogie scheint demnach nicht ohne die jeweilige Reflektion des historischen Hintergrundes definierbar zu sein, sondern ist immer aus der Perspektive einer bestimmten geschichtlichen Bühne zu verstehen.

Es mag dabei so erscheinen, als verfügten andere Epochen nicht über einen so elaborierten Analogiebegriff und über nicht so verfeinerte Verfahren der Erzeugung von Analogien, wie wir es heute gewohnt sind. Es dürfte für deren historisches Verständnis allerdings auch nicht so erheblich sein, ob Analogien aus der Geschichte des menschlichen Denkens heutigen Definitionen dieser Denkoperationen entsprechen. Vielmehr scheint es angemessen zu sein, das Grundprinzip der Analogie nicht nur in alten mathematischen Theoriebildungen, sondern auch in sprachlich-diskursiven Verfahren der Modellbildung nachzuspüren.

Literatur

- DIOGENES LAERTIUS: Leben und Meinungen berühmter Philosophen (Pythagoras VIII,1). 2 Bde. Hrsg. von Otto APELT. Berlin (DDR) 1955
- DRONKE, Peter: The Fables of the Cosmic Egg. In: DRONKE, Peter: *Fabula. Explorations into the Uses of Myth in Medieval Platonism*; pp. 79–99, 154–166. (= *Mittellateinische Studien u. Texte* 9) Leiden 1974
- DUHEM, Pierre: *Le Système du Monde*. Bde. 1–5, Paris 1913–1917; Bde. 6–10, Paris 1954–1959
- DUHEM, Pierre: *Medieval Cosmology. Theories of Infinity, Place, Time, Void, and the Plurality of Worlds*. Übersetzung von Roger ARIEW. Chicago, London 1985
- GELLNER, Ernest: *Words and Things. An Examination of, and an Attack on. Linguistic Philosophy* (1959); pp. 189–190. New York 2005
- HANNO: *Periplus Hannonis*. In: Gaius PLINIUS SECUNDUS d. Ä.: *Naturkunde (Historia naturalis)*, lateinisch – deutsch. Buch V, S. 346–353. Zürich, München: Artemis 1993
- HAWKING, Stephen W.: *A Brief History of Time*. London 1988
- HAWKING, Stephen W.: *Black Holes and Baby Universes and Other Essays*. London 1993
- HAWKING, Stephen W.: *The Universe in a Nutshell*. London 2001
- HUDRY, Françoise (Ed.): *Liber Viginti Quattuor Philosophorum, Hermes latinus III, 1. (Corpus Christianorum, Continuatio Mediaevalis CXLIII A)*. Turnholt 1997
- KRÜGER, Reinhard: *Das Überleben des Erdkugelmodells in der Spätantike (ca. 60 v. u. Z. – ca. 550)*. (Eine Welt ohne Amerika II). Berlin 2000a
- KRÜGER, Reinhard: *Das lateinische Mittelalter und die Tradition des antiken Erdkugelmodells (ca. 550 v. u. Z. – ca. 1080)*. (Eine Welt ohne Amerika III). Berlin 2000b
- KRÜGER, Reinhard: *Die Bedeutungslosigkeit der irdischen Dinge bei Montaigne: Kopernikanische Wende oder literarischer Topos? Jahrbuch für internationale Germanistik 31/2 (1999/2000)*. Frankfurt (Main) 2000c
- KRÜGER, Reinhard: *Reisen in Gedanken in Spätantike und Mittelalter. Dante, Botticelli & ein Gepäcklabel der brasilianischen Flugesellschaft VARIG*. In: GROH, Arnold (Hrsg.): *Bewegung. Akademische Perspektiven auf Reisen und Ortswechsel*. S. 131–156. Berlin 2005a
- KRÜGER, Reinhard: *Eierspeisen, Gastrologie und Kosmologie: Speisemetaphern, kosmologische Modelle und Weltkenntnis bei Petronius Arbitr und Martianus Capella*. In: KIMMINICH, Eva (Hrsg.): *Gastrologie. (Welt – Körper – Sprache 5)*. S. 187–214. Frankfurt (Main) 2005b
- KRÜGER, Reinhard: *Archäologie der Globalisierung*. In: *Deutscher Verband der Wirtschaftsingenieure* (Hrsg.): *Technologie trifft Management. Globale Wachstumsstrategien als Standortchance*. S. 49–60. Stuttgart 2005c
- KRÜGER, Reinhard: *Archäologie der Globalität. Ein Essay über die historischen Bedingungen globalen Handelns in der Menschheitsgeschichte*. In: *Guardini Stiftung e.V. Berlin: Jahresbericht 2005*. S. 7–25. Berlin 2006
- KRÜGER, Reinhard: *Ein Versuch über die Archäologie der Globalisierung – Die Kugelgestalt der Erde und die globale Konzeption des Erdraumes in Mittelalter. Wechselwirkungen. Jahrbuch aus Lehre und Forschung der Universität Stuttgart*. S. 28–53. Stuttgart 2007

- KRÜGER, Reinhard: Unendlichkeit und Kosmos in Spätantike und Mittelalter: Die Grundlagen des mittelalterlichen Zeitbegriffs und der Zeitvorstellungen. In: GROH, Arnold (Hrsg.): Was ist Zeit? Beleuchtungen eines alltäglichen Phänomens. S. 87–112. Berlin 2008
- KRÜGER, Reinhard: Die Ebsterfer Weltkarte zwischen *mappa mundi* und *globus terrae*, oder: die rationalen Grundlagen mittelalterlicher Weltkarten. In: MICHALSKY, Tanja, SCHMIEDER, Felicitas, und ENGEL, Gisela (Hrsg.): Aufsicht – Ansicht – Einsicht. Neue Perspektiven auf die Kartographie an der Schwelle zur Frühen Neuzeit. (Frankfurter Kulturwissenschaftliche Beiträge Bd. 3) S. 43–79. Berlin 2008
- LAKOFF, George, and JOHNSON, Mark: *Metaphors We Live By*. Chicago: Chicago University Press 1980
- MONTAIGNE, Michel DE: Apologie de Raimond Sebond. (Essais II, XII) In: *Œuvres complètes*. Ed. THIBAUDET. Paris: Rat 1954
- PROBYN, Clive T.: Swift and Linguistics: The Context behind Lagado and around the Fourth Voyage. *Neophilologus* 58/4, 425–439 (1974)
- SCHRAMM, Percy Ernst: *Sphaira. Globus. Reichsapfel. Wanderung und Wandlung eines Herrschaftszeichens von Caesar bis zu Elisabeth II.* Ein Beitrag zum „Nachleben“ der Antike. Stuttgart: Anton Hiersemann 1958
- SIMEK, Rudolf: Die Kugelform der Erde im mittelhochdeutschen Schrifttum. *Archiv für Kulturgeschichte* 70, 361–373 (1988)
- SIMEK, Rudolf: *Altnordische Kosmographie: Studien und Quellen zu Weltbild und Weltbeschreibung in Norwegen und Island vom 12. bis zum 14. Jahrhundert.* (Ergänzungsbände zum Reallexikon der Germanischen Altertumskunde 4). Berlin: Walter de Gruyter 1990
- SIMEK, Rudolf: *Erde und Kosmos im Mittelalter. Das Weltbild vor Kolumbus.* München 1992
- SWIFT, Jonathan: *Travels into Several Remote Nations of the World in Four Parts By Lemuel Gulliver, first a Surgeon, and then a Captain of Several Ships* (1726)
- SWIFT, Jonathan: *A Voyage to Laputa, Balnibarbi, Glubbdubdrib, Luggnagg and Japan.* (Part III of Gulliver's Travels). In: SWIFT, Jonathan: *Gulliver's Travels: Complete, Authoritative Text with Biographical and Historical Contexts, Critical History, and Essays from Five Contemporary Critical Perspectives.* Ed. by Christopher FOX. Boston: Bedford Books of St. Martion Press 21995
- VON DEN BRINCKEN, Anna-Dorothee: Das geographische Weltbild um 1300. In: *Politik im Spannungsfeld von Wissen, Mythos und Fiktion.* Hrsg. von Peter MORAW (Hg.). (Zeitschrift f. histor. Forschung, Beiheft 6). S. 9–32. Berlin 1989a
- VON DEN BRINCKEN, Anna-Dorothee: Gyrus und Spera – Relikte griechischer Geographie im Weltbild der Frühscholastik. *Sudhoffs Archiv* 73. 129–144 (1989b)
- VON DEN BRINCKEN, Anna-Dorothee: *Fines Terrae. Die Enden der Erde und der vierte Kontinent auf mittelalterlichen Weltkarten.* (Monumenta Germaniae Historica, Schriften 36). Hannover 1992

Prof. Dr. Reinhard KRÜGER
Universität Stuttgart
Institut für Literaturwissenschaft
Abteilung Romanische Literaturen I –
Galloromanistik
Keplerstraße 17
70174 Stuttgart
Bundesrepublik Deutschland
Tel.: +49 711 68583109
Fax: +49 711 68582765
E-Mail: reinhardkrueger@ilw.uni-stuttgart.de

Magierin Natur und Magier Mensch: Zu einer fundamentalen Analogiebildung der Alchemie

Heinz SCHOTT ML, Bonn

Mit 13 Abbildungen

Zusammenfassung

Dieser Beitrag setzt sich mit der vom Paracelsismus geprägten Alchemie der frühen Neuzeit auseinander. Dabei fallen zwei Analogiebildungen auf, die jeweils hierarchisch abgestuft sind: Zum einen eine vertikal angeordnete Analogie („wie oben, so unten“), bei der die Natur als Vermittlerin zwischen Gott und Mensch verortet wird; zum anderen eine horizontal angeordnete Analogie („wie außen, so innen“), bei der die Magie der Natur als Vorbild für die des Menschen angesehen wird, was insbesondere durch die Metaphorik des „Vulcanus“ (Schmieds) und „Arztes“ (z. B. Natur als innerer Arzt) zum Ausdruck gebracht wird. Die traditionelle Formel von der „Heilkraft der Natur“ wird nun in der medizinischen Alchemie zugespitzt: Der Arzt (als Alchemist, Magier) habe die Geheimnisse der Natur zu entschlüsseln und ihr magisches Wirken nachzuahmen, um ihre Arbeit – insbesondere in der Arzneimittelherstellung – zu vollenden. Die Ausführungen werden durch Graphiken und historische Abbildungen illustriert.

Abstract

This contribution discusses Paracelsism-influenced early-modern alchemy. There are notably two forms of analogy, each hierarchically arranged: a vertically ordered analogy (“as above, thus below”) in which Nature is situated as mediator between God and man, and a horizontally ordered analogy (“as without, thus within”) in which Nature’s magic is regarded as a model for man, particularly expressed in the metaphor of “Vulcan” (smith) and doctor (e.g., Nature as inner healer). In alchemy the conventional “healing power of Nature” is pin-pointed: The doctor (as alchemist, magician) must unravel Nature’s secrets and emulate her magic to perfect her work – particularly medicine production. Diagrams and historical depictions illustrate this.

Ich verwende den Begriff „Analogie“ im umgangssprachlichen Verständnis, ohne auf seine Bedeutung für die antike Rhetorik etwa im Sinne des ARISTOTELES zu rekurrieren oder auf die theologische Analogielehre, die Lehre über das Sprechen von Gott einzugehen, wie sie etwa Thomas VON AQUIN entwickelte. Gerade eine Auseinandersetzung mit dem theologischen Analogisieren wäre freilich für meine Thematik höchst aufschlussreich, da es in der Alchemie letztlich um ein analogisches Reden über Gottes Wirken in der Welt geht, wie wir sehen werden. Im Übrigen werde ich „Analogiebildung“ und „Metaphorik“ begrifflich nicht voneinander abgrenzen. Eine Analogie beruht immer auf einer Metapher, einem Vorgang der Übertragung, welche die Ähnlichkeit von zwei verschiedenen Sachverhalten behauptet. In der Alchemie stechen *prima vista* zwei Analogien ins Auge: Zum einen die Analogie von Außen und Innen, zum anderen die von Oben und Unten. Gerade bei der alchemischen Medizin der frühen Neuzeit standen diese beiden Analogiebildungen im Mittelpunkt. Wie die Stoffverwandlung im Makrokosmos, z. B. die Reifung der Metalle im Bergesinneren, vonstatten gehe,

so sei auch die Stoffverwandlung im Körperinneren vorzustellen. Insbesondere PARACELTUS argumentierte in dieser Perspektive. In der äußeren Natur sei der imaginäre Schmied namens *vulcanus* am Werk, im menschlichen Organismus der imaginäre Lebensgeist namens *archeus*. Beide wurden als tätige Alchemiker vorgestellt, die in ihrem jeweiligen Laboratorium – in der äußeren Natur bzw. im Körperinneren – ihre zielgerichteten Prozeduren vollbrachten. Und wie die äußeren Sterne oben am Himmel eine bestimmte Konstellation bildeten, so schienen auch die inneren Sterne im menschlichen Körper unten auf der Erde in Korrespondenz mit jenen eine bestimmte Konstellation zu bilden. Wir sehen bereits hier, wie sich solche Analogiebildungen einer typischen Metaphorik bedienen. Vor allem die Scheidekunst (*alchemia*), personifiziert in der Figur des Alchemikers, lieferte eine brauchbare Metapher für die allenthalben unterstellte Magie der Natur.

Soviel sei festgehalten: Die horizontale Analogie „wie innen so außen“ und die vertikale Analogie „wie oben so unten“ bedeuteten nicht eine jeweilige Gleichwertigkeit der polar gegenüberstehenden Glieder, sondern implizierten eine klare Hierarchie. Der Mensch konnte nur insofern seine alchemische Kunst entfalten, als er auf der Grundlage der Naturprozesse voranschritt. Die Natur vollzog den ersten Scheideprozess, und der Mensch konnte sinnvoller Weise nur diesen fortsetzen und vervollkommen. Insofern erschien die menschliche Scheidekunst als eine sekundäre Fertigkeit der natürlichen (Abb. 1).

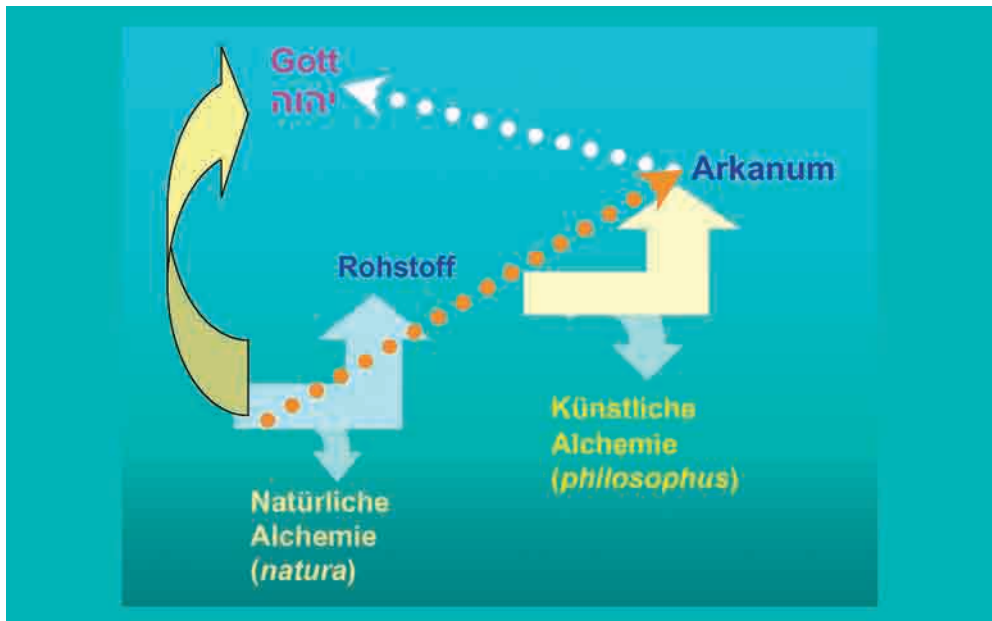


Abb. 1 Der Mensch und die Natur: *bottom up*

Die alchemische Arzneimittelproduktion hatte die Natur zu vollenden. Dabei ist der Gedanke der Höherentwicklung, Verfeinerung, Vergeistigung leitend. Mit dem *arcanum* als geistigem Wirkprinzip ist auf dem Wege eines *bottom-up* gewissermaßen der Gipfelpunkt der alchemischen Kunst erreicht. Diese Denkrichtung der alchemischen Stoffveredelung nach oben springt

noch stärker ins Auge, wenn wir die Vermittlung göttlicher Weisheit durch die Natur für den Menschen als eine Bewegung *top-down* vom Himmel auf die Erde ins Auge fassen (Abb. 2).

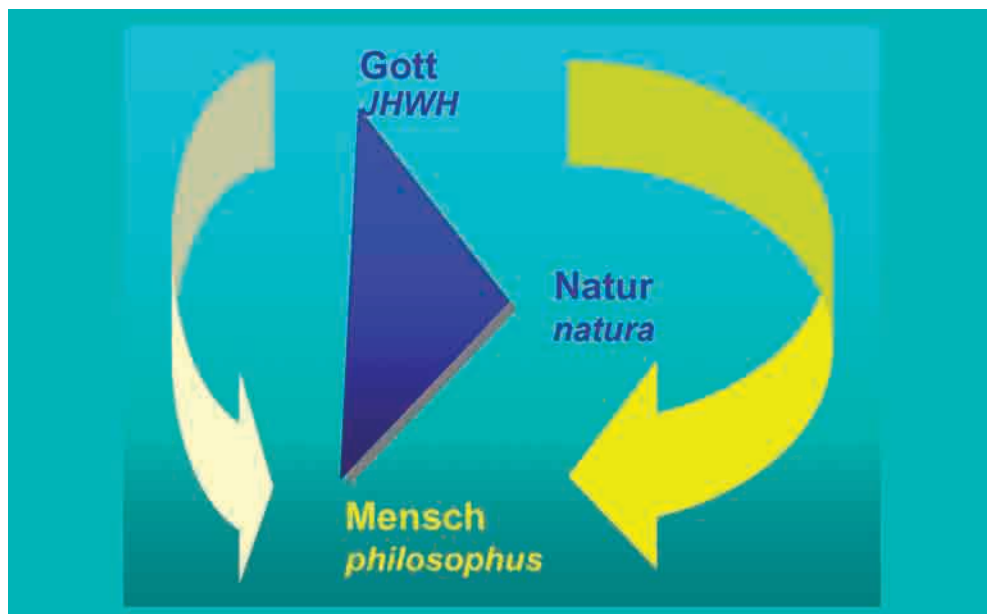


Abb. 2 Der Mensch und die Natur: *top down*

Dies beiden Bewegungen, zum einen die Erleuchtung von oben, zum anderen die alchemische Arbeit von unten, bedingen sich in dieser Weltanschauung gegenseitig. Nur „im Lichte der Natur“, so das Motto des Paracelsismus, könne der Arzt und Naturforscher richtig handeln und wirksame Arzneimittel produzieren, ansonsten würde er als Scharlatan betrügerisch agieren. Indem er die richtigen Schritte unternahme und insbesondere Arzneimittel auf alchemischem Weg herstellen könne, werde er dem Auftrag Gottes gerecht und komme der göttlichen Absicht nach. Somit haben wir es mit einem komplexen analogischen System zu tun, dessen Struktur mit einer weiteren Folie angedeutet werden soll (Abb. 3).

Die Analogie von Innen-Außen und die von Oben-Unten sind jedoch nicht wie ein senkrecht aufeinander stehendes Koordinatenkreuz zu verstehen. Denn die Achse Innen-Außen wird von der Achse Oben-Unten – bildlich gesprochen – gekrümmt, nämlich durch die Dynamik der allerhöchsten Instanz Gott angezogen. Nach diesem einleitenden Aufriss möchte ich meine Überlegungen in fünf Schritten entfalten.

1. Analogie des Lichts und der Ausstrahlung

Beginnen wir mit der vertikalen Analogie, die eine klare hierarchische Ordnung aufweist. Sie hat drei Instanzen: Gott, Natur und Mensch. In der Emblematik der frühneuzeitlichen Naturphilosophie und Alchemie spielt die Idee einer Kette, die von Gott im Himmel bis zum Men-

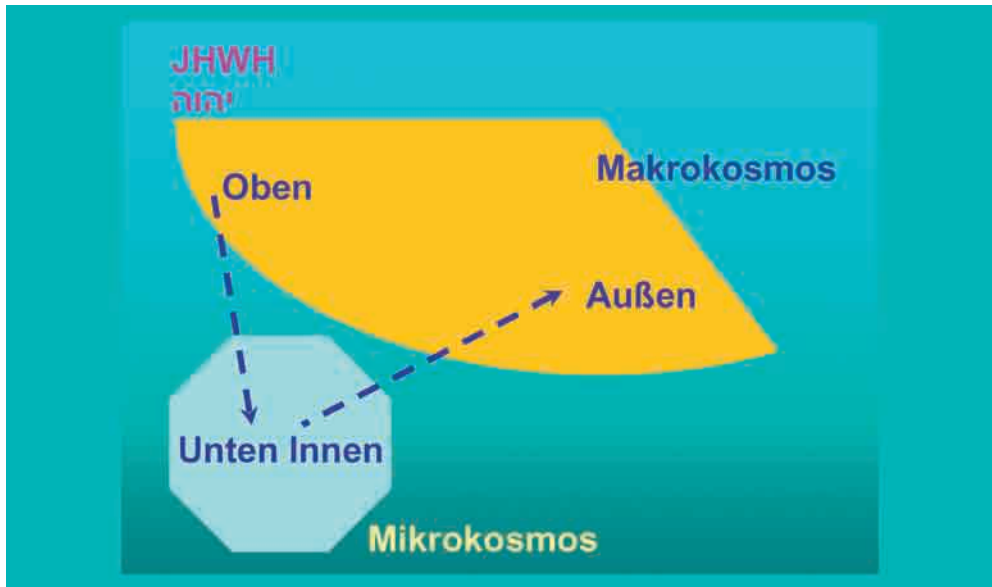


Abb. 3 „Im Lichte der Natur“: Innen-Außen

schen auf der Erde reiche, eine zentrale Rolle. Die Herkunft dieser Idee einer goldenen Kette (*catena aurea*) aus der Antike (HOMER) soll uns hier nicht näher beschäftigen.¹ Jedenfalls tritt eine solche Kette (vielfach auch als Seil oder Lichtstrahl imaginiert) in den Mittelpunkt der frühneuzeitlichen Anschauung. Damit wurde die Natur als ein notwendiges Medium so ins Bild gesetzt, dass der Mensch sichtbar Anschluss an Gott erfahren könne. Ich möchte dies an einer recht bekannten, eindrucksvollen Abbildung demonstrieren (Abb. 4).

In Robert FLUDD'S *Utriusque Cosmi* (1617) findet sich eine Illustration mit dem Titel *Integrae Naturae speculum Artisque Imago* („Spiegel der ganzen Natur und Sinnbild der Kunst“), welche die Verbindung zwischen Mensch und Gott als eine Art „goldene Kette“ (*catena aurea*) darstellt. Sie führt von der Hand Gottes zur Jungfrau Natur (*natura*) und von dieser zu einem Affen, der Kunst und Wissenschaft insofern verkörpern soll, als er die über ihm stehende Natur nur nachahmen, nachäffen könne, um ihre Produkte zu verbessern. In diesem Bild verbindet die Natur den feurigen Himmel (Gott) mit dem Ätherhimmel (Gestirne) und mit der „sublunaren“, irdischen Welt (Elemente). Die Natur, dargestellt als kräftige und Kräfte spendende Frau, ernährt die Welt: Ihr Herz als wahre Sonne gibt den Sternen das Licht, und ihr Bauch (Gebärmutter) erscheint als das Medium, wodurch die astralen Einflüsse auf die Erde ausstrahlen. Die Kette verläuft von der (linken) Hand Gottes, die aus der himmlischen Feuerwolke herauslangt, zur (rechten) Hand der Natur, und von der (linken) Hand der Natur

¹ Im achten Gesang der *Ilias* spricht Zeus auf dem Olympe zur Götterversammlung: „Hängt ein Seil, ein goldenes, auf, herab vom Himmel, / Und alle faßt an, ihr Götter! Daß ihr alle es wißt: / Doch werdet ihr nicht vom Himmel auf den Boden niederziehen / Zeus, den höchsten Ratgeber, auch nicht, wenn ihr noch so sehr euch mühtet. / Doch sobald auch ich dann im Ernste ziehen wollte: Mitsamt der Erde zöge ich euch hinauf und mitsamt dem Meer; / Und das Seil bände ich dann um die Spitze des Olympe, / Und in der Schwebelinge dann das alles.“ HOMER, *Ilias*, S. 124 (VIII, 18).

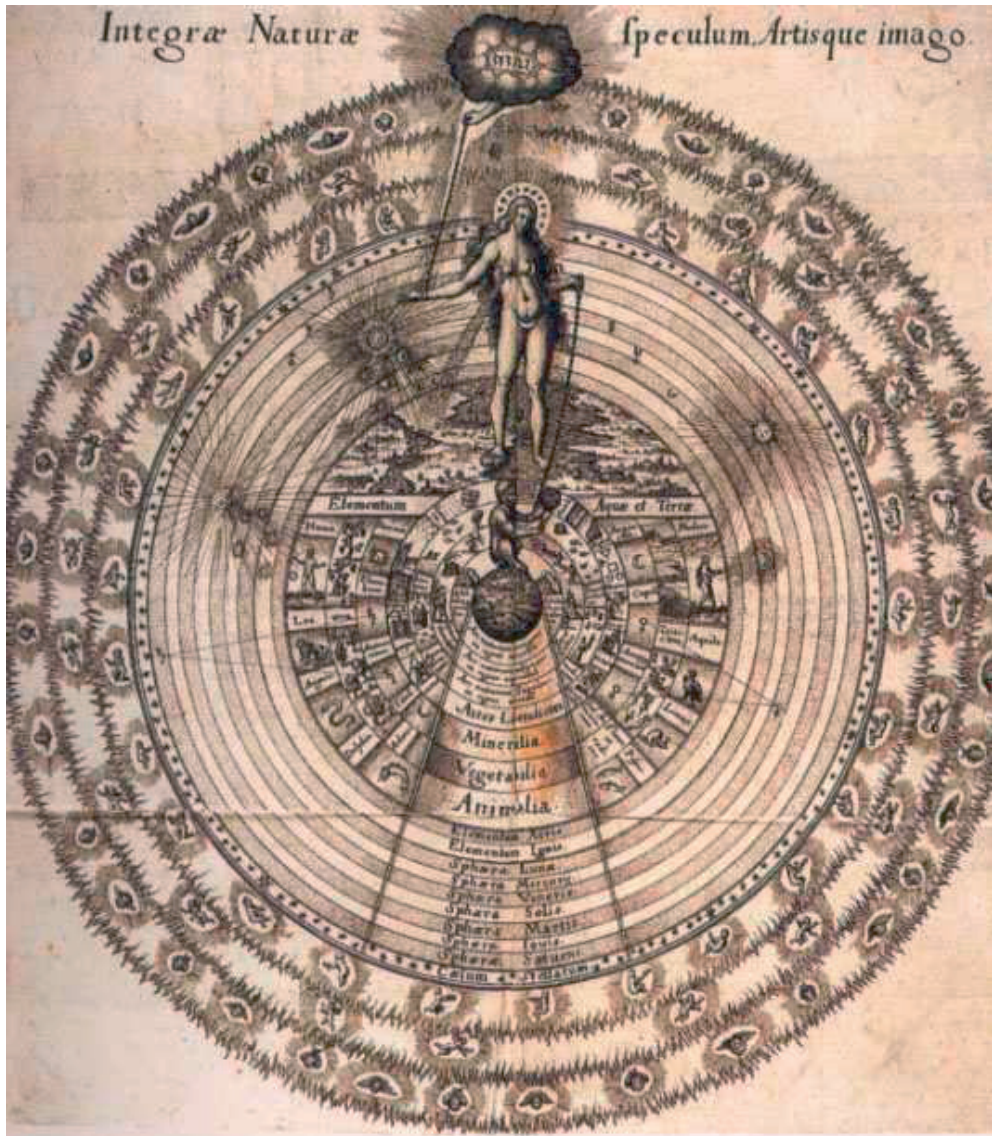


Abb. 4 FLUDD, *Utriusque Cosmi* (1617), aus: ROOB 1996, S. 501

zum (linken) Unterarm des Menschen-Affen. Die Natur reiht sich als Mittelkörper in die Kette ein und unterteilt sie damit zugleich.

Die medizinische Anthropologie des PARACELSUS, der wir uns nun zuwenden wollen, basiert auf diesen drei Instanzen. Zwischen ihnen spielen sich alle Probleme von Krankheit und Gesundheit, Diagnostik und Therapie, krankem Menschen und ärztlichem Helfer ab. Die drei Instanzen durchdringen sich gegenseitig und bilden zugleich eine hierarchische Ordnung.

Gott könne den Menschen krank und gesund machen, er sei der, „der das geschöpf glückseliget und unglückseliget“.² Der Arzt sei lediglich „knecht der natur und got ist der herr der natur, also folgt hernach das der arzt nimants gesund macht allein got gebiet im an die stat [...] dan die kunst eines rechten arzts kompt von got und das dosis und die practic und der anfang.“³ Freilich ist Gott verborgen, PARACELTUS spricht hier von seiner „heimlikeit [...] das er nicht wil das der krank sol wissen das got der arzt sei, sonder das die kunst ein fůrgang habe [...]“.⁴ Es komme eben auf die ärztliche Kunst an, aus den anderen vier natürlichen *entibus* das *ens dei* zu erschließen. Nichts anderes bedeutet die Redeweise vom „Licht der Natur“, das PARACELTUS immer wieder mit verschiedenen Ausdrücken dem göttlichen Licht („ewigs liecht“, „liecht des heiligen geists“ etc.) subsumiert hat.⁵

Interessanterweise umfasst die Analogiebildung des Lichtes auch den Menschen. So spricht PARACELTUS nicht nur vom Licht der Natur und dem Licht Gottes, sondern auch vom Licht des Menschen, das ebenfalls von Gott komme. Denn die Tugend, die Kraft, das *arcantum*, liege ja nicht nur in den Naturdingen, z. B. Kräutern oder Mineralien, sondern auch im menschlichen Leibe und in besonderem Maße in der Person des *philosophus*, des wahrhaft gelehrten Arztes. Wie PARACELTUS in seiner Schrift *De inventione artium*⁶ darlegt, stammt die Tugend (als *virtus* oder Heilkraft gedacht) primär *nicht* von der Natur, sondern von Gott. Dies gilt nicht zuletzt für Kunst und Handwerk des Menschen, gerade auch die des Arztes, die er auf den Samen Gottes im Menschen zurückführt. Nicht die Magie der Natur, sondern diejenige Gottes sei hier am Werk. Der göttliche Samen im Menschen sei für jedermann als Lichtschein sichtbar: „dan drumb hat got den samen in uns geseet, das er herfür gang, wie ein liechtschein, das iederman dorbei sicht.“⁷ Glauben bedeutet für PARACELTUS sowohl in wissenschaftlicher als auch religiöser (und therapeutischer) Hinsicht unbedingtes Vertrauen in diese göttliche Influenz. Es handelt sich hierbei also nicht nur um eine innerliches Erleuchtet-Sein, sondern zugleich um eine Erleuchtung für andere. Denn der erleuchtete Mensch strahle, so PARACELTUS, einen solchen Lichtschein aus, dass „jedermann“ dabei sehen könne.

2. Analogie des Dienens und Nachahmens

Der Begründer der *Academia Curiosorum Naturae* (später *Leopoldina* genannt) Johann Laurentius BAUSCH (1605–1665) stellte am Ende seiner Schrift über das Einhorn folgende naturphilosophische Betrachtung an:

„Im Himmel gibt es einen Glanz von glitzernden Sternen gleichwie Blümchen, auf Erden gibt es die auserlesenste Ausstrahlung von seltensten Blumen gleichwie Sternen, und wie auf dem Lande Tiere gefunden werden, schwimmen welche im Wasser, und wieder andere sind im Erdinneren verborgen. Hierfür seien Fossilien, Achate, Jaspide, Chalcedonen und Marmor ein Beispiel, in denen eine einzelne Pflanze, Filamente von Moosballen oder Halme von abgebrochenem Gras zu sehen ist; aber auch die Doppelberge am Kap der Guten

2 PARACELTUS = Theophrast von HOHENHEIM genannt PARACELTUS 1929–1933, Bd. 1, S. 225.

3 PARACELTUS 1929–1933, Bd. 1, S. 230f.

4 Ebenda, S. 231.

5 Vgl. SCHOTT 1998a, hier S. 278f.

6 PARACELTUS 1929–1933, Bd. 14, S. 249–275; vgl. SCHOTT 1998b.

7 PARACELTUS 1929–1933, Bd. 14, S. 253.

Hoffnung in Afrika, von denen einer dem Bild eines wilden Löwen, der andere dem eines quadratischen Tisches ähnelt. Wohlgermerkt: Das ist das Werk der Baumeisterin Natur [*Architectricis Naturae*], der es zukommt, nicht erzogen zu werden, unter deren Anleitung [*ductu*] jener Steine bildende Geist für die vorgegebene Materie [*pro subiecta materia*] im Bauch der Erde [*in matrice terrae*] auf jene Weise tätig ist [*operatur*].“

Mit Verweis auf SENECA setzt BAUSCH fort: „Es gibt unter der Erde zwar weniger uns bekannte Gesetze der Natur, aber nicht weniger sichere; glaube (*crede*) das unten, was du oben siehst. Kein Wunder.“⁸ Gott als höchster Herrscher (*Deus Dictator summus*) habe seiner Dienerin Natur (*Naturae ministrae*) diese ewigen Naturgesetze diktiert und zugesprochen (*addixit*) und sie damit gesegnet, wodurch alle Dinge gemacht worden seien (*facta sunt*).

Im alchemischen Diskurs der frühen Neuzeit übernahm nun die Dienerin Natur ihrerseits die Rolle der Herrscherin, der Meisterin, welcher der forschende Adept nachzufolgen habe. Interessanterweise wurde die Natur (*natura*) in der alchemischen Emblematik immer wieder als (junge) Frau dargestellt, die als Mittlerin, als Medium Mensch und Gott miteinander verbindet und den Menschen („im Lichte der Natur“) auf den richtigen Weg führt. *Natura*, *sophia* (Weisheit), *maga* (Magierin) und nicht zuletzt die „Jungfrau Maria“ (*virgo*) bilden in zahlreichen bildlichen Darstellungen eine Mischfigur, die nach meinem Eindruck für PARACELTUS und alle (al)chemischen Naturforscher und Ärzte der frühen Neuzeit überaus bedeutsam war und bis heute in der Wissenschaftshistoriographie weitgehend übersehen worden ist. Im Folgenden seien einige wenige Beispiele angeführt.

Zwei Sinnbilder der *natura* bzw. *sophia* illustrieren die paracelsische Redeweise vom „Lichte der Natur“ eindrucksvoll. In seiner *Atalanta fugiens* (1618) zeigt Michael MAIER die Natur als eine junge Frau, die mit köstlichen Früchten in Händen voranschreitet (Abb. 5).

In ihren Fußspuren (quasi Wegweiser) läuft ihr ein Naturforscher mit Gehstock (quasi Vernunft), Brille (quasi Erfahrung) und einer Laterne (quasi Licht zum Studium der Schriften) hinterher. Der Gelehrte solle also der Natur folgen, lautet die Botschaft.⁹ In abgewandelter Form ist diese Illustration auch im *Musaeum Hermeticum* (1625) enthalten (Abb. 6).¹⁰

Eine direkte Begegnung zwischen der Natur (einer Mischung aus verführerischer Frau, Königin und Engel) und dem Alchemisten zeigt die etwa 100 Jahre ältere Miniatur des bedeutenden französischen Hofmalers Jean PERRÉAL von 1516 (Abb. 7). Die Krone der Natur zeigt die Zeichen der sieben Metalle, die Äste des Baumes symbolisieren die vier Elemente, die sich in der Mitte kreuzen (*mixtio*), die drei Baumwurzeln repräsentieren die drei Reiche

8 BAUSCH 1666, hier S. 202f., eigene Übersetzung; vgl. SCHOTT 2008, S. 209.

9 Emblem 42: De secretis Naturae
„Dem/der in Chymicis versiret, sey die Natur/Vernunft/Erfahrenheit vnd Lesen/
wie ein Führer/ Stab/Bryllen und Lampen.
Dein Führerin die Natur sey/ welch'r du must folgen von weiten/
Williglich/ anderst du jrrst, wo sie dich nicht thut leyten/
Die Vernunft sey dein Stab/ vnd es muß stärken die Erfahrenheit
Dein Gesicht/dass du könnst sehen/ was gelegt ist weit vnd breit/
Daß Lesen sey wie ein Lamp im finstern leuchtend hell vnd klar/
Dadurch du mögst verhüten der Sachn vnd Wörter Gefahr.“
Vgl. MAIER 1618, S. 176.

10 *Musaeum Hermeticum* 1625; Titelkupfer: Unten M. MAIERS Natura-Dux-Emblem in ovalem Rahmen. Natura trägt sechseckigen Stern in Leuchtkugel in der rechten Hand, sie ist vierbrüstig (nackt bis zum Gürtel), dem Gelehrten mit Brille, Stock und Laterne folgt ein zweiter in einiger Entfernung, ebenfalls mit Stock und Laterne (evtl. auch mit Brille).



Abb. 5 Michael MAIER: *Atalanta fugiens* (1618)

der Natur (*mineralia, vegetative, sensitiva*), im Baumstamm befindet sich der Ofen der Natur. Dieses *OPUS NATURAE* steht im Gegensatz zum *OPUS MECHANICE*. Der Alchimist soll sein Laboratorium verlassen und in ihrem Reich lernen, dem ursprünglichen Reich der Alchemie, symbolisiert durch den Baum, der aus den drei Wurzeln *Mineralia, Vegetabilia* und *Sensitiva* wachse. Die natürliche Scheidekunst, das *opus naturae*, führe zur obersten Blüte des Elixiers, das als „vegetables Gold“ sublimiert werde.

Die Analogie zwischen der Himmelskönigin, der göttlichen Weisheit, und der Natur war in der frühen Neuzeit allenthalben greifbar. Vermutlich erhielten die Marien- und Madonnenbilder in Renaissance und früherer Neuzeit eine zusätzliche Bedeutung. In ihnen drückte sich ein neues Naturverständnis in tradiert Form aus: Die Marienfigur wurde, so meine Vermutung, (auch) zum Symbol einer offensiven Naturphilosophie, welche *natura* zur maßgeblichen Autorität erhob.

Dieser Zusammenhang von religiösem und wissenschaftlichem Bedeutungsinhalt kam insbesondere im Begriff *alma mater* zum Ausdruck. Ursprünglich wurde damit in der rö-



Abb. 6 *Musaeum Hermeticum* (1625), Titelpuffer

mischen Antike die nährend Göttermutter (auch *magna mater*) bezeichnet, im christlichen Mittelalter dann die Gottesmutter, bis der Begriff schließlich zum Synonym für die Universität wurde, wo der Student mit dem richtigen Wissen genährt werde. Mit der Hinwendung der Naturforscher zur „Bibel der Natur“ in Renaissance und früher Neuzeit schlüpft *natura* selbst in die Rolle der *alma mater*. Albrecht DÜRERS Holzschnitt „Maria auf der Mondsichel“ (um 1511) verdeutlicht dies recht eindrucksvoll (Abb. 8).

Umgeben von einem Strahlenkranz, der sich als Fokussierung des göttlichen Lichts auf ihren Leib verstehen lässt, nährt sie ein Kind an ihrer Brust, das – ohne Heiligenschein oder anderweitige Kennzeichnung als Christuskind – durchaus irdisch erscheint und den Naturforscher symbolisieren könnte, der die Weisheit der Natur im Sinne der *philosophia* aufsaugt und sich insofern mit dem göttlichen Kind identifiziert. (Ich weiß nicht, ob eine solche Deutung sachlich haltbar ist. Zumindest erscheint sie mir plausibel.)

Die Personifikation der Natur als *sophia* (Weisheit, Tugend) ist hier hervorzuheben. In Albrecht DÜRERS Holzschnitt *Philosophia* (1502) erscheint sie als thronende Königin (Abb. 9).¹¹ Die Bildunterschrift lautet in der Übersetzung: „Was das Wesen von Himmel, Erde, Luft und Wasser ausmacht und was das Menschleben umfasst sowie was der feurige Gott im ganzen Weltkreis schafft: Alles trage ich, Philosophia, in meiner Brust.“ Analoge Illustrationen finden sich in wichtigen Werken der frühneuzeitlichen Wissenschaftsgeschichte, insbesondere bei Athanasius KIRCHER, wozu ich hier nur ein Beispiel vorstellen möchte: den Titelpuffer der *Physiologia Kirchneriana experimentalis* (Amsterdam 1680) (Abb. 10).

¹¹ ROOB 1996, S. 507.

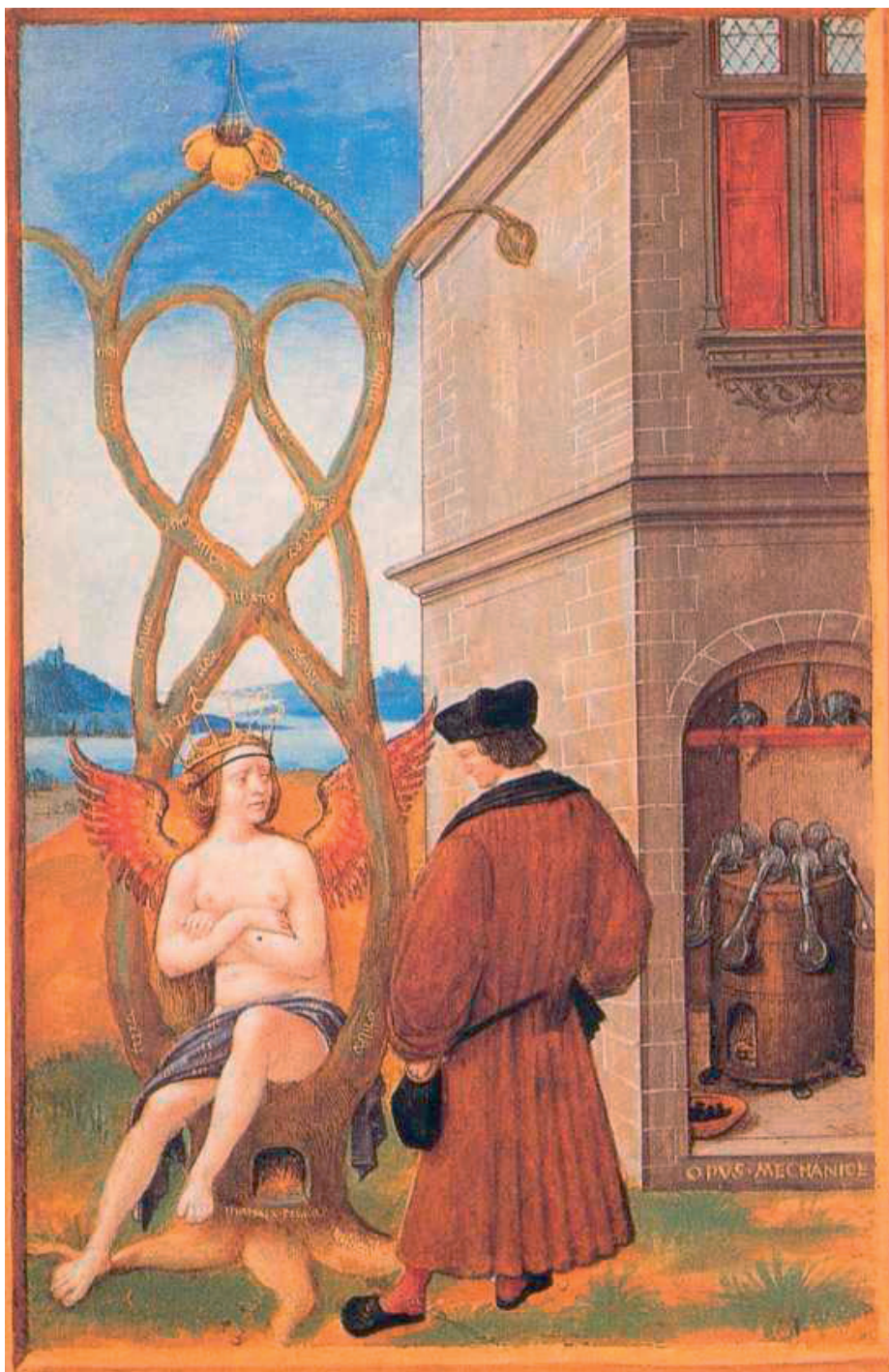


Abb. 7 Miniatur von Jean PERRÉAL, 1516



Abb. 8 Albrecht DÜRER: „Maria auf der Mondsichel“, Holzschnitt (um 1511)

3. Analogie des Reinigens und Schmiedens

Bekanntlich spielte in Medizin und Naturforschung der frühen Neuzeit die Idee der natürlichen Magie (*Magia naturalis*) eine fundamentale Rolle. Dabei sind zwei Akteure der Magie voneinander zu unterscheiden: (1.) Die Natur selbst als Magierin, als *maga*, wie PARACELSUS sie gelegentlich auch benannt hat: Aus dem „Licht der Natur“ solle man verstehen, „das die Natur erstlich an ir selbs ein maga ist“¹²; und (2.) der in die Geheimnisse der Natur eingeweihte Mensch als Magier, als *magus*: Er hat als Naturphilosoph mit *experientia* und *scientia* Hand

¹² PARACELSUS 1929–1933, Bd. 12, S. 132 und 462.



Abb. 9 Albrecht DÜRER: *Philosophia*, Holzschnitt (1502)



Abb. 10 Athanasius KIRCHER, *Physiologia Kircheriana experimentalis* (Amsterdam 1680), Titelkupfer

in Hand mit der Natur zu arbeiten. Nirgends wird dieser Doppelaspekt der natürlichen Magie deutlicher als bei der Alchemie. Der alchemische Künstler hat nach PARACELTUS die Aufgabe, die von ihm erfahrene Natur in seinem Wissen nachzuahmen, d. h. im Lichte der Natur zu arbeiten, um die vorgegebenen Naturprozesse ihrem Ziel näher zu bringen und sie durch die menschliche Kunst zu vollenden.

Im *Labyrinthus medicorum errantium* (1537/38) beschreibt PARACELTUS die Wirkung des „vulcanus“ als „des feurs meister“, den er mit dem Magier, dem Alchemisten identifiziert:

„was das feur tut, ist alchimia, auch in der küchen, auch im ofen. Was auch das feur regiert, das ist vulcanus, auch der koch, auch der stubenheizer. also ists auch mit der erznei, die ist beschaffen von got, aber nicht bereit bis aufs ende sonder im schlacken verborgen. ietzt ist es dem vulcano [dem Alchemisten] befohlen, den schlacken von der erznei zutun.“¹³

Damit sind wir bei der zentralen Analogiebildung der magisch-alchemischen Medizin angelangt: Magierin Natur und Magier Mensch. Was die Natur im Verborgenen zaubert, soll der Naturforscher ans Tageslicht befördern. Er kann dies aber nur insofern, als er sozusagen der Natur ihre Zauberkunst abschaut, diese nachahmt und damit vollendet.

In seinem „exempel vom brot“ schildert PARACELTUS im Anschluss an das eben erwähnte Zitat diesen ineinander greifenden alchemischen Prozess:

„die eußer kunst der alchimiae im bachofen vermag nit ultimam materiam aus ir zumaachen, finalem, sondern mediam materiam. Das ist die natur mach die erst bis zur ernt, alsdan alchimia schneits, mült, bachts bis zum maul: ietzt ist prima und media materia erfüllt, ietzt facht alchimia microcosmi an. Dieselbig hat primam materiam im munt, das ist brot, keuets, das ist das erst opus, darnach im magen ist die ander materia, die deut an dem, das es zu blut und fleisch wird, das ist ietzt ultima materia. [...] also procedirt die natur mit uns in den geschöpfen gottes [...]. so folgt der vulcanus hernach, der machts in ultimam materiam durch die kunst alchimiae. also folgt der archeus, der inwendig vulcanus hernach, der weiß zu circulirn und praeparirn [...] wie die kunst [...]; dan die artes sind alle im menschen als wol als in der eußerlichen alchimei, die dise praefigurt.“¹⁴

Oft wird dabei vergessen, dass die Natur bereits viel früher, nämlich im Mittelalter, als göttliches Vorbild imaginiert und angebetet wurde. Mechthild MODERSOHN hat vor mehr als 10 Jahren in einer eindrucksvollen Abhandlung auf die „Natura als Göttin im Mittelalter“ aufmerksam gemacht.¹⁵ Sie verfolgt die Wurzeln dieser Lehre bis ins 12. Jahrhundert zurück und sieht in der *Cosmographia*, einem Lehrgedicht über die Erschaffung der Welt des BERNARDUS SILVESTRIS aus der Schule von Chartres, ihren Ursprung:

„Durch Bernardus Silvestris tritt die personifizierte *Natura* um 1144 aus spätantike Umrissen in das volle Licht einer Gottheit. [...] Das Interesse an der Natur nahm in allen Bereichen zu, in der Grammatik, dem Recht, der Theologie und der Wissenschaft. Bernhards Göttin *Natura* ist deshalb als Personifikation im breitesten Kontext dieser Wechselbeziehung des frühen 12. Jahrhunderts zu verstehen. [...] *Natura* ist zugleich Göttin und Lehrfigur.“¹⁶

13 Ebenda, Bd. II, S.187.

14 Ebenda, S. 188.

15 MODERSOHN 1997.

16 Ebenda, S. 14f.

MODERSOHN hebt hervor, dass die Bildtradition erst mit Alain DE LILLE (Alanus AB INSULIS; um 1120–1202) einsetze, da in der *Cosmographia* des BERNARDUS noch keine Bilder enthalten seien. Im *Anticlaudian* des ALANUS jedoch stellen Strichzeichnungen die Erschaffung eines neuen Menschen durch *natura* eindrucksvoll dar, wenn sie z. B. wie eine Handwerkerin Leib und Seele des Menschen miteinander vereinigt. Vor allem als Schmiedekünstlerin wurde *natura* dargestellt (Abb. 11). In der Überlieferung des *Rosenromans*, der im 13. Jahrhundert verfasst wurde, gibt es zahlreiche ikonographische Variationen dieses Motivs.



Abb. 11 *Natura* in der Schmiede, (A) Holzschnitt ca. 1487. Aus MODERSOHN 1997, S. 354 (Abb. 131) (B) Miniatur. Aus MODERSOHN 1991, S. 91f.

Dabei finden sich unterschiedliche, alchemistisch anmutenden Szenarien: in einem Holzschnitt (Abb. 11A), verschiedenen Handschriften (11B), auch mit Gottvater über ihr (Abb. 12A) und schließlich *natura* als göttliche Autorität für die Kunst (*ars*), die vor ihr kniet (Abb. 12B).

In dieser Miniatur wird *ars* der Erde, *natura* dem Himmel zugeordnet. Im Text heißt es:

„[...] aber mit sehr beflissener Aufmerksamkeit / liegt sie auf den Knien vor der Natur / und bittet sie, erfleht und verlangt / wie eine Bettlerin und Bittstellerin, / [...] wie sie durch ihr Geschick / in ihren Gebilden alle Geschöpfe / genau erfassen könne. / Und beobachtet, wie die Natur wirkt, / [...] und imitiert sie wie ein Affe [...]“¹⁷

(Hier wird bereits FLUDDs Affe antizipiert.) *Ars* steht hier also für die menschliche Kunst und Wissenschaft, welche *natura* als Quelle göttlicher Weisheit anbetet.

4. Analogie des Heilens und Helfens: Natur als Arzt

PARACELSUS unterschied drei verschiedene Dimensionen des Arztseins voneinander, die wie Glieder einer Kette ineinander greifen würden:

¹⁷ Zitiert nach ebenda, S. 154.



Abb. 12 (A) *Natura* erhält Gottes Segen, Handschrift. Aus MODERSOHN 1991, S. 94. (B) *Ars* kniet vor *natura*, Miniatur. Aus MODERSOHN 1991, S. 96.

- (1.) Die Natur im Menschen, der innere oder „inwendig arzt“¹⁸, die Naturheilkraft im menschlichen Leib; aber auch die Natur außerhalb des Menschen und seines Leibes: d. h. die Natur als göttliches Reservoir der *arcana* („Apotheke Gottes“) für den Menschen.
- (2.) Der Mensch als Diener der Natur, etwa als real tätiger „arzt der äußerlich ist“¹⁹ und der als *philosophus* seine magisch-alchemistische Kunst anwendet; und *last but not least*
- (3.) das *Ens dei*: Gott kann die beiden oben genannten Dimensionen des Arztseins quasi durchkreuzen und unmittelbar als Arzt eingreifen.

Die beiden ersten Dimensionen werden im *Labyrinthus medicorum errantium* (1537/38) plastisch ausgemalt:

„der mensch ist zum umfallen geboren. nun hat er zween die ihn aufheben im liecht der natur: der inwendig arzt, mit der inwendigen arzney, die seind mit ihm in der entpfengnus geboren und geben [...] aber der arzt der aeußerlich ist, gehet erst an, wan der angeboren erligt, verzapplet, ermüt ist, so befilcht er sein ampt mit eußern.“

Somit solle man sehen, dass „der eußer arzt nach dem gebornen arzt sich anlassen und lernen [soll] in diesem buch [der große apotheken], wa [sic] der geboren arzt aufhört [...]“²⁰

Die dritte Dimension, das *Ens dei*, ist deshalb interessant, da sie das naturphilosophische Terrain überschreitet und dieses insgesamt theologisch subsumiert. PARACELsus betont, dass Gott nichts ohne den Menschen tun wolle, auch keine Wunder: „tut er miracul, so tut ers menschlich und durch menscheit [sic]“.²¹ So gebe es zweierlei Ärzte: „die wunderbarlich heilen und die durch arzney heilen“. Zwar könne auch der Glaube allein „nach dem purgato-

18 PARACELsus 1929–1933, Bd. II, 198f.

19 Ebenda.

20 Ebenda.

21 Ebenda, Bd. I, S. 228.

rio“ gesund machen, da dieser aber nicht in allen stark genug sei, vollbringe der Arzt jenes Wunder, das Gott „wunderbarlich tet, so der glaub im kranken wer.“²²

PARACELSUS stellte an anderer Stelle dem „tödlichen“, d. h. menschlichen Arzt den Apostel, den Heiligen als Nothelfer, gegenüber. So heißt es in der *Astonomia magna*: „Der tödtlich arzet macht den kranken gesunt, der apostel macht in auch gesunt. [...] der ein teil redet von oben herab, der ander von unden hinaus und seind beide gericht in irem liecht.“²³

AGRIPPA VON NETTESHEIM hatte bei seinem dreibändigen Werk *De occulta philosophia* (Antwerpen 1530) den Begriff der Magie im Titel vermieden, da „geheime Philosophie“ weniger anstößig klinge.²⁴ Auch er ging von einer hierarchischen Weltordnung aus:

„Da die Welt dreifach ist, elementisch, himmlisch und geistig, und da immer die niedrigere von der höheren regiert wird und den Einfluß ihrer Kräfte aufnimmt, so dass das Vorbild des Weltalls (Archtypus) selbst und der Schöpfer aller Dingen durch die Engel, die Himmel, die Gestirne, die Elemente, die Tiere, die Pflanzen, die Metalle und die Steine die Kräfte seiner Allmacht auf uns Menschen ausströmt, [...] so halten die Magier es für keine unvernünftige Sache, dass wir auf denselben Stufen, durch die einzelnen Welten, zu der urbildlichen Welt selbst, dem Schöpfer aller Dinge und der ersten Ursache, [...] hinaufsteigen, und dass wir nicht nur die in den edleren Naturgegenständen schon vorhandenen Kräfte benützen, sondern noch überdies von oben herab neue an uns ziehen können.“²⁵

Auch bei AGRIPPA taucht, wie bei anderen Naturphilosophen jener Zeit, die Idee der Jakobsleiter auf, die den Menschen auf der Erde mit Gott im Himmel verbinde. Er spricht von einer Leiter der Einheit, die von der teuflischen Unterwelt (*lucifer*) über den Mikrokosmos (*cor*), die elementarische (*lapis philosophorum*), himmlische (*sol*) und geistige Welt (*anima mundi*) bis zur göttlichen Urbildwelt (*Jod = ♀*) reiche. Im Hinblick auf die Sonne spricht AGRIPPA von geistigem *versus* sichtbarem Licht und kommt zu folgender Analogie: Man solle „mit geistigem Auge ihr geistiges Licht“ auffassen, „wie mit dem leiblichen Auge ihr sichtbares Licht. Ein solcher wird von ihrem Glanze erfüllt werden und ihr geistiges Licht in sich aufnehmen. Mit solcher Erleuchtung begabt, wird er ihr wirklich gleich werden und gleichsam dadurch gekräftigt jene höchste Klarheit [...] erlangen.“²⁶

Die Heilkraft der Natur wird in Analogie zur Heilkraft des Arztes gesetzt. Sie hätten eine gemeinsame Quelle: die Religion, Gott. Die Religion unterstütze „auch die Natur und stärkt die natürlichen Kräfte, wie der leibliche Arzt der Gesundheit aufhilft und der Landmann die Kraft des Bodens vermehrt. Wer aber die Religion verläßt und nur auf Natürliches vertraut, der pflegt sehr häufig von bösen Geistern betrogen zu werden.“²⁷ AGRIPPA spekuliert darüber, wie die menschliche Seele „unter diesen drei Führerinnen [der Religion: Liebe, Hoffnung, Glaube]“ zur göttlichen Natur emporsteige und eine Wundertäterin werde.²⁸

22 Ebenda.

23 Ebenda, Bd. 12, S. 11; zitiert nach BIEGGER 1990, S. 231.

24 AGRIPPA VON NETTESHEIM 1987, S. 10.

25 AGRIPPA VON NETTESHEIM 1987, S. 16.

26 Ebenda, S. 358.

27 Ebenda, S. 363.

28 Vgl. die Überschrift zum 3. Buch, 6. Kap. (S. 371) im lat. Original: Quomodo his ducibus anima humana scandit in naturam diuinam, effeciturque; miraculorum effectrix.

5. Die Analogie von Schreiben und Lesen

Das Lesen in der Bibel der Natur wurde, wie gesagt, zu einem wichtigen Topos der Naturforschung in Renaissance und früher Neuzeit. Die Natur erschien in jener Zeit als eine Art Schriftstellerin, deren Sprache sich in den Naturdingen offenbare und die für den Menschen zunächst rätselhaft und unverständlich sei. Die Kunst der Naturforscher bestand darin, diese Geheimsprache, diese Rätselschrift der Natur zu entschlüsseln und die in den Erkenntnis-schatz der Wissenschaft einzuordnen. Der Ausdruck „Bibel der Natur“ zeigte die Wertschätzung der Natur als göttliche Vermittlerin. Es galt, die Zeichen („Signaturen“) der Natur lesen zu lernen und richtig zu deuten. Die Signaturenlehre zeigt diese Auffassung sehr klar: Die Natur zeichnete offenbar die Dinge so, dass man aus ihrer äußeren Gestalt, Farbe oder sonstigen Eigenschaften auf ihren inneren Charakter, insbesondere ihre verborgene Heilkraft – etwa bei Heilkräutern – schließen zu können meinte. Aber auch böse Eigenschaften – insbesondere die des Menschen – konnten angeblich an äußeren Zeichen abgelesen werden. Als Beispiel wäre auf den physiognomischen Code von Giambattista DELLA PORTA (1535–1615; *De humana physiognomonia*, Neapel 1586) im 16. Jahrhundert zu verweisen, dessen Spuren noch heute im Alltagsleben zu erkennen sind (Abb. 13).

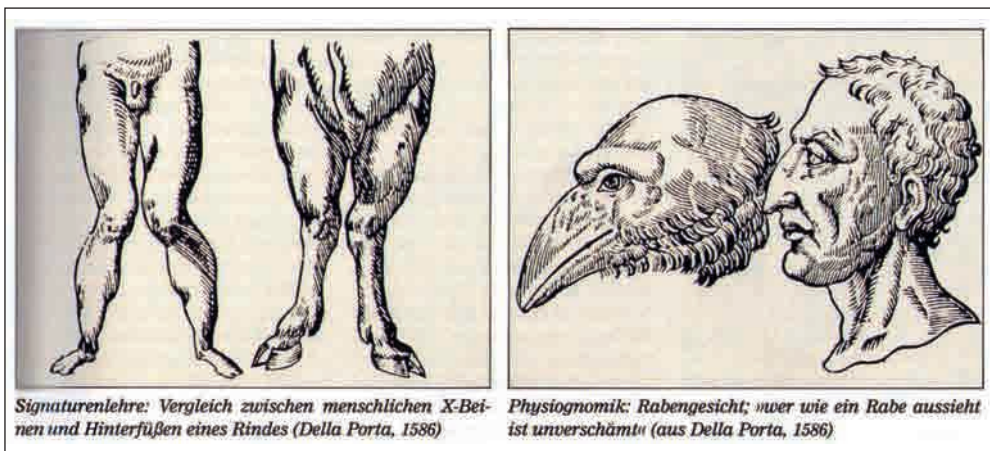


Abb. 13 Giambattista DELLA PORTA: *De humana physiognomonia*, Neapel 1586

Somit wurde eine Analogie von Schreiben und Lesen angenommen: Die Natur entsprach einer Autorin, der Mensch, genauer: der wahre Naturforscher, glich einem spezifisch gebildeten und sich immer weiter bildenden Leser. Naturforschung bedeutete deshalb in erster Linie, die geheime Sprache der verborgenen Natur zu entziffern.

Gerade unter dem Einfluss der romantischen Naturphilosophie hatte diese Metaphorik des Entschlüsselns einer Geheimsprache Konjunktur, nicht nur im Hinblick auf die „Hieroglyphensprache“ im Kontext der aufblühenden Ägyptologie. (1822 erarbeitete der französische Sprachforscher Jean-François CHAMPOLLION [1790–1832] ein vollständiges System zur Entzifferung der Hieroglyphen.) Ich möchte hier abschließend auf die medizinische Psychologie eingehen, wie sie sich im Ausgang vom Mesmerismus entwickelte. Im frühen 19.

Jahrhundert rückte das unbewusste Seelenleben in den Mittelpunkt des Interesses. Die Ärzte und Naturforscher wandten sich vor allem den Phänomenen des Somnambulismus zu. In den Äußerungen der somnambulen Patienten, insbesondere der Seherinnen, erblickten sie geheime Botschaften der Natur, die es zu entschlüsseln gelte. So sprach der Naturphilosoph und Arzt Gotthilf Heinrich SCHUBERT (1780–1860) in seinem Buch *Die Symbolik des Traumes* (1814) von der „Hieroglyphensprache“ der Natur, wie sie sich in Traum, Somnambulismus oder Ekstase zu Wort meldete. Diese Sprache schien von Gott direkt zu stammen und wurde als ursprüngliche Originalsprache aufgefasst. Beispielhaft lässt sich dies bei Justinus KERNER (1786–1862) erkennen, der die arabesken Schriftzeichen der „Seherin von Prevorst“, ihre so genannte „innere Schrift“, dementsprechend als „Ursprache der Natur“ deutete. Diese Analogiebildung von Produktionen der Natur und ihrer Erforschung einerseits und Schreiben und Lesen andererseits lässt sich bis hin zu Sigmund FREUDS (1856–1939) „Traumdeutung“ verfolgen, in welcher hinter dem manifesten Trauminhalt als Produkt der Traumarbeit die latenten Traumgedanken als Resultat der Deutungsarbeit aufgedeckt werden sollen.

Schlussbemerkung

Diese Analogie von Schreiben und Lesen als Dreh- und Angelpunkt wahrer Naturforschung taucht aber auch in den modernen Naturwissenschaften, insbesondere der naturwissenschaftlichen Medizin bzw. der molekularen Biomedizin, bis heute immer wieder auf. Gerade die molekulare Genetik basiert ideologisch auf dieser Analogie, geht es bei der Genomanalyse doch um das „Alphabet des Lebens“, um die Entschlüsselung, Decodierung der verborgenen Erbinformationen.

Nirgends wird die „Lesbarkeit der Welt“, um den bekannten Topos von Hans BLUMENBERG (1981) zu verwenden, so zwingend vorangetrieben, wie in den modernen *life sciences*. Allerdings drängt sich die Frage auf, inwieweit durch deren Forschungsstrategien fundamentale Fragestellungen und Blickrichtungen nicht systematisch verstellt und ausgeblendet werden. Möglicherweise haben wir es mit einem gigantischen Programm der Immunisierung, der Selbst-Immunisierung, zu tun, die gegenüber traditionellen Naturvorstellungen und ihren theologischen Implikationen unempfindlich macht.

Literatur

- AGRIPPA VON NETTESHEIM, Heinrich Cornelius: De occulta philosophia: Drei Bücher über die Magie. Nördlingen: Greno 1987 [nach der deutschen Übersetzung von BARTH, Friedrich: Heinrich Cornelius Agrippa's von Nettesheim: Magische Werke. 5 Bde. Stuttgart 1855]
- BAUSCH, Johann Laurentius: De Unicornu fossili ... Schediasma; angebunden an: FEHR, Johann Michael: Anchora sacra; vel scorzonera, Ad normam et formam ... S. 171–204. Jena 1666,
- BIEGGER, Katharina: „De invocatione beatae Mariae virginia.“ Paracelsus und die Marienverehrung. (Kosmosophie, Bd. 6) Stuttgart: Steiner 1990
- BLUMENBERG, Hans: Die Lesbarkeit der Welt. Frankfurt (Main) 1981
- DELLA PORTA, Giambattista: De humana physiognomoniam. Neapel 1586
- FLUDD, Robert: Utriusque Cosmi. Bd. 1. Oppenheim 1617. In: ROOB, Alexander: Alchemie & Mystik. Das hermetische Museum. Köln: Taschen 1996
- HOMER: Ilias. Neue Übertragung von Wolfgang SCHADEWALDT, Frankfurt (Main) 1975
- KIRCHER, Athanasius: Physiologia Kirchneriana experimentalis. Amsterdam 1680
- MAIER, Michael: Atalanta fugiens, hoc est, Emblemata nova de secretis naturae chymica [...]. Oppenheim de Bry 1618
- MODERSOHN, Mechthild: „Hic loquitur Natura“ – Natur als Künstlerin. Ein „Renaissancemotiv“ im Spätmittelalter? In: Idea. Jahrbuch der Hamburger Kunsthalle. S. 91–102. München: Prestel 1991
- MODERSOHN, Mechthild: Natura als Göttin im Mittelalter. Ikonographische Studien zu Darstellungen der personifizierten Natur. Berlin: Akademie Verlag 1997
- Museum Hermeticum*, Omnes Sopho-Spagyricæ Artis Discipulos Fidelissime Erudiens. Francofurti: Jennisius, 1625
- PARACELUS = Theophrast von HOHENHEIM gen. Paracelsus: Sämtliche Werke. 1. Abteilung: Medizinische, naturwissenschaftliche und philosophische Schriften. 14 Bde. Hrsg. von Karl SUDHOFF. München, Berlin: Oldenbourg 1929–1933
- ROOB, Alexander: Alchemie & Mystik. Das hermetische Museum. Köln: Taschen 1996
- SCHOTT, Heinz: “In the Light of Nature”: The Imagery of Paracelsus. In: ZINGUER, Ilana, et SCHOTT, Heinz (Eds.): Systèmes de pensée précartésien. Etudes d’après le Colloque international organisé en Haifa en 1994; pp. 277–301. Paris: Honoré Champion, 1998
- SCHOTT, Heinz: Magie – Glaube – Aberglaube: Zur „Philosophia magna“ des Paracelsus. In: SCHOTT, Heinz, und ZINGUER, Ilana (Hrsg.): Paracelsus und seine Internationale Rezeption in der Frühen Neuzeit. Beiträge zur Geschichte des Paracelsismus. S. 24–35. Leiden, Boston, Köln: Brill 1998
- SCHOTT, Heinz: Medizin, Naturphilosophie und Magie. Johann Laurentius Bausch aus medizinhistorischer Sicht. In: TOELLNER, Richard, MÜLLER, Uwe, PARTHIER, Benno, und BERG, Wieland: Die Gründung der Leopoldina – Academia Naturae Curiosorum – im historischen Kontext. Johann Laurentius Bausch zum 400. Geburtstag. Acta Historica Leopoldina Bd. 49, 191–214 (2008)
- SCHUBERT, Gotthilf Heinrich: Die Symbolik des Traumes. Bamberg 1814
- SWAMMERDAM, Jan: Bybel der Natuuere. 2 Bde. Leiden 1737/38 (dt. Bibel der Natur, 1752)

Prof. Dr. Heinz SCHOTT
Medizinhistorisches Institut der
Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn
Sigmund-Freud-Straße 25
53105 Bonn
Bundesrepublik Deutschland
Tel.: +49 228 2875000
Fax: +49 228 2875006
E-Mail: heinz.schott@ukb.uni-bonn.de

Vom Segen und Fluch einer Analogie – Johannes Keplers kosmischer Magnetismus

Fritz KRAFFT ML, Weimar (Lahn)

Mit 1 Abbildung

Zusammenfassung

Um die im *Mysterium cosmographicum* (1596) empirisch-geometrisch erschlossene neuartige ‚Physik‘, insbesondere die *anima motrix* der zentralen Sonne, abzusichern, bediente KEPLER sich seit 1601 der Analogie des Magnetismus, wie ihn die dualistische Theorie William GILBERTS (1600) darbot. Voraussetzung war seine Überzeugung, dass der nach mathematischen Vorgaben erschaffene Kosmos Ebenbild (Analogon) des trinitarischen Gottes sei; denn daraufhin können die mathematischen Strukturen des realen Kosmos nicht nur empirisch erschlossen werden, sondern sie müssen auch aus natürlichen Ursachen folgen – für die sich KEPLER GILBERTS magnetische Kräfte anboten. Die anfänglich euphorisch als totale Analogie (Isomorphie) von Himmelskörper und Magnet empfundene ‚Gleichheit‘ betraf allerdings nur die Mitföhrbewegung längs kreisförmiger Magnetfibern (entsprechend der Gilbertschen ‚Richtkraft‘), die als Teile des rotierenden Körpers der Sonne ebenfalls um diesen kreisen – und zu konzentrischen, gleichförmigen Bewegungen der Planeten führen würden. Um die vor allem für die ungleichförmige Bahngeschwindigkeit erforderlichen Abweichungen erklären zu können, griff KEPLER auf GILBERTS zweite, anziehende Magnetkraft zurück, für die er geradlinige radiale Fibern konstruierte. Diese vor allem als Ursache für die Tiefen- und Breitenbewegung erforderliche Fähigkeit lokalisierte er vorerst in den Planeten, bis er schließlich auch hierfür die Sonne selber verantwortlich machte. Dazu musste er ihre beiden Magnetpole in ihr Zentrum und auf ihre Oberfläche (Äquator) legen, sodass die Sonne nach außen einheitlich wirkt und die (passive) Erde, die im Laufe des Jahres jeweils einen ihrer beiden entgegengesetzt wirkenden Pole der Sonne zuwendet, abwechselnd anzieht und abstößt. Mit diesem Konstrukt erreichte KEPLER zwar scheinbar sein Ziel, sämtliche Bewegungen der *machina mundi* auf „nur eine sehr einfache Kraft“ (vergleichbar dem Gewicht einer Uhr) zurückzuführen, verließ jedoch auch die Vergleichbarkeit oder gar Identität mit dem irdischen Magnetismus, wovon er ausgegangen war. Mangelnde Anerkennung der aus derartigen, der irdischen Realität widersprechenden Magnetkräften resultierenden ‚Bahnen‘ der Planeten und deren von KEPLER entdeckten Gesetzmäßigkeiten war für lange Zeit die Folge.

Abstract

Since 1601 KEPLER made use of the analogy of magnetism presented by the dualistic theory of William GILBERT (1600) to substantiate the novel physics geometrically deduced from empirical data in the *Mysterium cosmographicum*, especially the central sun’s *anima motrix*. His starting thoughts were based on the conviction that the cosmos, which had been created according to mathematical guidelines, is in the image of the Holy Trinity, from which he concluded that the mathematical structure of the real cosmos not only can be deduced empirically but also must result from natural causes. The magnetic forces introduced by GILBERT proved to be suitable for these causes. But the similarity that KEPLER at the beginning euphorically felt to be a total analogy (isomorphy) of celestial bodies and magnets only concerned the carrying along of circular magnetic fibres (according to GILBERT’s ‘directing’ force) which also revolve round the sun as a part of its body. Therefore the planet’s resulting motion would be concentric and uniform. To explain the deviations necessary to produce varying orbital velocity, KEPLER fell back on GILBERT’s second magnetic force, the attractive one, for which he constructed straight radiating fibres. KEPLER located this faculty, which causes motions in depth and latitude, to the planets until he held the sun itself responsible for it. For this purpose he had to put one of the two magnetic poles into its centre and the other on its surface (equator), to allow the sun to have an equal effect everywhere and itself attract or repulse the earth (planet) alternately, depending on the

magnetic pole that the earth turns to the sun in the course of the year. Using this construct, KEPLER seemed to achieve his aim to trace all motions within the *machina mundi* back to “only one very simple force” (like the weight of a pendulum clock), but he lost the comparability with earthly magnetism that had been his starting idea. As a result, KEPLER’s laws of planetary motions were not accepted for a long time, because the Keplerian orbits were supposed to result from those incredible magnetic forces.

1. Keplers Vorgaben

Eine der bedeutendsten Gestalten der Geschichte des naturwissenschaftlichen Denkens ist Johannes KEPLER (1571–1630), der Begründer neuzeitlicher Naturforschung und Naturwissenschaft und eigentliche ‚Revolutionär‘ der Astronomie. Gemäß dem Titel seines Hauptwerkes: *Astronomia nova αιτιολόγητος, seu Physica coelestis* versuchte KEPLER die Bewegungen der Himmelskörper (Planeten) als unmittelbar aus den wechselseitigen Wirkungen ihrer ‚Kräfte‘ „ursächlich“ entstanden zu erklären. Auf den allgemeinen und seinen ganz speziellen ‚Historischen Erfahrungsraum‘, aus dem heraus nur seine Absichten und Ansätze zu einer Neuorientierung der Astronomie verständlich werden könnten, kann in diesem Zusammenhang über im Einzelfall für das Verständnis seiner Überlegungen erforderliche Informationen hinaus allerdings nicht eingegangen werden.¹

Astronomie ist für KEPLER Gottesdienst.² Als Astronom nannte er sich „Priester des höchsten Gottes im Bereich des Buches der Natur“, also der Schöpfung. Deshalb sei es von Anfang an sein Ziel gewesen, die Harmonie in Gottes Schöpfungsplan und damit Gottes Absichten in der erschaffenen Welt aufzuweisen. Seit seiner Studienzeit bei Michael MÄSTLIN (1550–1631) in Tübingen fühlte er sich berufen, die Richtigkeit der ihm wegen der größeren ‚mathematischen‘ Ökonomie als Schöpfung plausibler erscheinenden Heliozentrik auch ‚physikalisch‘ zu beweisen³ und die empirisch erschließbaren Quantitäten in der physischen Realität des Kosmos zu bestätigen.

Die Anerkennung der Welt als Gottes Schöpfung, als natürliche Offenbarung im Buche der Natur, war zwar allen Konfessionen gemein geblieben, und damit auch die Möglichkeit, Gott nicht nur aus dem ‚Buch der Offenbarung‘, der Bibel, zu erkennen, sondern auch in und aus dem ‚Buch der Natur‘, der Schöpfung, sodass der Mensch durch das Erkennen der Natur als Gottes Schöpfung die durch den Sündenfall verlorene Gottesebenbildlichkeit zurückgewinnen könne;⁴ für KEPLER war dies jedoch nur durch wissenschaftlich-akribische Naturerkenntnis möglich. Galt ihm doch als Beweis für die Ebenbildlichkeit des Menschen die Gabe seines Intellekts, die geometrisch-harmonikalen Quantitäten, den „Widerschein aus

1 Die maßgebliche Biographie ist immer noch CASPAR 1948/96, dazu vgl. meine Rezension in: *Berichte zur Wissenschaftsgeschichte* 20 (1997), S. 333–335; siehe jetzt auch die ausführlichen Einleitungen zu meinen Neuauflagen von Keplerschriften in deutscher Übersetzung: KRAFFT 2005a und 2005b. – Die ältere Kepler-Literatur ist zusammengefasst in *Bibliographia Kepleriana* (1936/68/98). – KEPLERS Schriften werden im Folgenden unter der Sigle KGW mit folgender römischer Band- und arabischer Seiten- (und Zeilen-)Zählung zitiert aus KEPLER 1937ff., die Briefe nach der Nummerierung in KGW XVI–XVIII, gegebenenfalls mit Angabe der Zeilen in arabischen Ziffern.

2 Siehe KRAFFT 1985, generell zum Verhältnis KEPLERS zur christlichen Religion vor allem HÜBNER 1975, FIELD 1984 und KRAFFT 1988.

3 KEPLER 1596, KGW I, S. 9, 18f.: „[...] ut Copernicus Mathematicis, sic ego Physicis, seu mavis, Metaphysicis rationibus ascriberem.“

4 Siehe etwa KEPLER 1596, KGW I, S. 6 (bes. Zeilen 27–32); KEPLER 1610a, KGW IV, S. 159.

dem Geiste Gottes“⁵ zu erfassen, und zwar ausschließlich diese unzweifelhaft und richtig, also ebenso wie Gott. Die dem Menschen mit der Schöpfung gegebene, ja nicht ‚zwecklose‘ Fähigkeit bezeuge, dass Gott über die mathematischen Inhalte aus dem Buch der Natur erkannt werden *wolle*; dem Menschen habe er den Verstand gegeben, *damit* er nach den Ursachen in der Schöpfung forsche.

Ausgangspunkt war für KEPLER daraufhin eine abbildhafte ‚Analogie‘ zwischen trinitarischem Schöpfer und (ruhender) Schöpfung, die Überzeugung, dass der erschaffene Kosmos ‚Abbild‘ des dreieinigen Gottes sei – oder mit ihm in ‚Harmonie‘/, ‚Gleichklang‘ stehe, wie er es 1596 formulierte: „*illa pulchra quiescentium harmonia, Solis, fixarum et intermedij, cum Deo Patre, et Filio et S. Spiritu*“⁶. Er nannte diese Analogie oder Entsprechung⁷ hier neben *harmonia* auch ‚Ähnlichkeit‘/, ‚Gleichheit‘ (*similitudo*), weiterhin 1604, (Ab-)Bild⁸ (Trinitatis *imago*⁹), 1605 in einem Brief an Hans Georg HERWART VON HOHENBURG (1553–1622) ‚Vergleich‘ (*comparatio*)¹⁰ 1619 in der *Harmonice mundi*¹¹ ‚Symbolisierung‘ (*symbolismus/symbolisatio*¹²) und ‚Umriss(bild)‘/, ‚Schattenbild‘ (*adumbratio*) – dabei ist der Begriff *adumbratio* keineswegs abwertend gemeint, eher im Sinne des Höhlengleichnisses in PLATONS *Politeia*, in dem die Schattenbilder ja auch die analogen Wesenheiten einer anderen, übergeordneten Seinsebene der Wirklichkeit darstellen. In der zweiten Auflage des *Mysterium cosmographicum* von 1621 nimmt KEPLER denn auch diese Analogie in einer darauf bezogenen Note wieder auf und betont ausdrücklich¹³ dass die *similitudo* sich auf die drei primären Glieder der Welt beziehe; man dürfe sie nicht als bloße, „leere“, nichtssagende Ähnlichkeit auffassen, sondern sie sei als *forma*¹⁴ und Archetypus (‚Urbild‘) der Welt unter deren ‚Ursachen‘ zu rechnen.

Drei ruhende Glieder, zentrale Sonne, Fixsternsphäre und der durch sie bestimmte Kugelraum, besitzt der Kosmos aber nur in Nicolaus COPERNICUS’ (1473–1543) heliozentrischem System. Um diese Analogie als Erkenntnisbasis einer Kosmografie anwenden zu können, musste folglich die Richtigkeit des copernicanischen Systems erwiesen werden. Drei Dinge seien es deshalb vornehmlich gewesen, schrieb KEPLER 1596¹⁵ für die er unablässig nach den Ursachen (*causae*) gesucht habe: Zahl, Größe und Bewegungen der Planetensphären

5 KEPLER 1610b, KGW IV, S. 308, 9ff.; Brief Nr. 117, 173ff.

6 KGW I, S. 9, 35f.

7 Siehe auch Brief Nr. 23 (03.10.1595), 72–74: „In globo igitur est trinitas, Sphaericum, Centrum, Capacitas. Sic in mundo quieto: Fixae, Sol, Aura, sive aethra intermedia: Et in trinitate Filius, Pater Spiritus.“ Die Idee der trinitarischen Kugel ist ohne den von KEPLER eingebrachten Bezug zur Schöpfung schon neuplatonisch-plotinisch und findet sich etwa bei Nikolaus VON KUES: *De docta ignorantia* I, 9f.; *Complementum theologicum*, 6.

8 KGW II, S. 19, 12.

9 Siehe auch KEPLER 1618, KGW VII, S. 51, 1ff. („Ostende inesse in Spaerico adorandae Trinitatis imaginem“), und KEPLER 1620, KGW VII, S. 258, 22–26 („Cum enim in sphaerico, Dei creatoris imagine, mundique archetypo [...] tres sint regiones, trium SS, Trinitatis Personarum Symbola, centrum Patris, superficies Filij, et intermedium Spiritus sancti ...“).

10 Brief Nr. 340 (28.03.1605), 321f.: „Et in comparatione ad SS. Trinitatem, centrum refert imaginem Dej Patris.“

11 KEPLER 1619, KGW VI, S. 224, 10ff. (10–14: „Est denique et haec summa et decumana ratio, quod quantitatatum est mirabilis quaedam, et plane divina politia, rerumque divinarum et humanarum communis in ijs symbolisatio. De sacrosanctae Trinitatis adumbratione in sphaerico scripsi passim [...], quae hic repetita volo.“).

12 Siehe auch KEPLER 1620 in Anm. 7 (*symbola*).

13 KGW VIII, S. 28, 33f.: „[...] vbi de tribus primariis Mundi membris disputo. Nec pro similitudine inani est habenda; sed inter causas ascendenda, vt Mundi forma et Archetypus.“

14 *Forma* ist mehr als die äußere ‚Gestalt‘, vielmehr im Sinne der aristotelischen Physik und Philosophie das sich in ihr ausdrückende Wesen eines Dinges.

15 KGW I, S. 9, 33–36 = KGW VIII, S. 23, 33–36.

(*numerus, et quantitas, et motus orbium*). Die Suche fand tatsächlich erst 1619 mit dem Erscheinen seiner *Harmonice mundi* ein Ende, in der die harmonikalen Verhältnisse zwischen den Planetenbahnen abgeleitet werden, aus denen sich die Größe der Bahnen ergäben, was die Planeten-, ‚Sphären‘ zwischen den Polyedern endgültig überwinde. Ein erster Schritt dahin schien ihm ja mit der vermeintlichen Entdeckung des *Mysterium cosmographicum* der Schöpfung bereits 1595 gelungen zu sein.

Diese Entdeckung abzusichern und zu korrigieren, hätten, wie KEPLER 1621 weiterhin ausführte, dann fast alle Bemühungen der folgenden 25 Jahre gedient; und es war ihm auch völlig gleich, ob der krönende Abschluss, die *Harmonice mundi*, „ein Buch für die Gegenwart oder für die Nachwelt sei; es möge hundert Jahre seines Lesers harren, hat doch auch Gott sechs Jahrtausende [seit der Schöpfung nach KEPLERS Berechnung] auf den Beschauer [nämlich KEPLER] gewartet“.¹⁶

Analogien oder Entsprechungen (*analogia/similitudo/harmonia* usw.) zwischen verschiedenen Seinsebenen, die einen unbekanntem oder unerkennbaren Bereich zu einem bekannten in ‚Analogie‘ setzen und so zu erkennen oder aufzuklären helfen, spielten in KEPLERS Denken auf der Grundlage der Ausgangsidee eines durch Gottes Schöpfungsplanung ‚mathematisch‘ gestalteten trinitarischen Kosmos auch innerhalb der ‚physikalischen‘ Erklärung dieser Schöpfung eine sehr große Rolle. Hier soll von seinen zahlreichen Analogien¹⁷ aber nur eine ganz bestimmte interessieren, der kosmische Magnetismus.

2. Keplers ‚physikalische‘ *astronomia sine orbibus*

Die drei Dinge, nach deren Ursachen KEPLER zeit seines Lebens suchte, nannte er: *numerus, quantitas et motus orbium*, von Max CASPAR¹⁸ übersetzt (und seitdem so immer wieder übernommen und zitiert) mit: „Anzahl, Größe und Bewegung der Bahnen“ der Planeten – ohne dass man sich der Unsinnigkeit dieser Übersetzung von *orbis* als ‚Bahn‘ (auch das englische *orbit* entspricht trotz des Gleichklangs ja nur scheinbar dem *orbis*) bislang bewusst geworden zu sein scheint. Sie wird besonders deutlich, wenn KEPLER daraufhin gesagt haben soll, dass Tycho BRAHE (1546–1601) die „festen Bahnen“ beseitigt und er selber „eine Astronomie ohne Bahnen“ angestrebt hätte.¹⁹ Als *astronomia sine orbibus* bezeichnete KEPLER das Ziel

16 KEPLER 1619, KGW VI, S. 290.

17 Sie betreffen teilweise ebenfalls die ‚Physik‘ der Planetenbewegungen, z. B.: Das ‚Schauspiel‘ (*spectaculum*) der Lenkung eines an einem über den Fluss gespannten Seil hängenden Fährkahns quer zur ihn antreibenden Strömung des Flusses (der *species immateriata*) als mögliche Erklärung der Tiefenbewegung eines Planeten (KEPLER 1609, Kap. 38, KGW III, S. 255, 20–30, und 57, KGW III, S. 349 [*exemplum (naturale)*], S. 350, 3ff. [*exemplum*]; „Wird daher nicht auch das Ruder etwas von einem Magneten haben?“); die Wirkung der bewegenden Kraft der Sonne auf die unterschiedlich weit entfernten Planeten „fast“ nach dem Hebelgesetz (KEPLER 1609, KGW III, S. 237, 14–24 [*quod planetae pene ratione statera seu vectis moveantur*], III, S. 244, 25 [*analogia*], III, S. 353f.; 1620, KGW VII, S. 332, 10–45 [*exemplum genuinum*]). Üblich ist auch die analoge Übertragung der Erkenntnisse über Weg und Ursachen der Bewegung eines Planeten auf die nicht näher untersuchten anderen Planeten; siehe etwa (KEPLER 1609, KGW III, S. 244, 25 [*docet hinc analogia*], S. 350, 6f. [Folge nicht aus dem *exemplum* des Ruders in der Strömung der *vis immateriata magnetica*, dass alle Planetenkörper große Magnete sind, wie die Erde, von der es GILBERT bewiesen habe?]); dazu siehe auch KEPLER 1610a, 51, KGW IV, 192f.

18 KEPLER 1923, S. 20.

19 Das ist richtig gestellt in meinen Neuausgaben KEPLER 2005a und 2005b, wo *orbis* den Vorstellungen der Zeit gemäß einheitlich mit ‚Sphäre‘ übersetzt wurde. Siehe jetzt auch KRAFFT 2008.

seiner Bemühungen bereits im *Mysterium cosmographicum*,²⁰ während der Bearbeitung der 1609 erschienenen *Astronomia nova* beispielsweise 1605 in einem Brief an HERWART VON HOHENBURG.²¹ Innerhalb dieser *Astronomia nova* erfolgte aber der eigentliche Paradigmenwechsel der Astronomie: von der Vorstellung, dass die uns ungleichförmig erscheinenden Bewegungen der Planeten aus dem Zusammenwirken von notwendig *gleichförmig* rotierenden materiellen Himmelsphären (ätherischen Hohlkugeln) resultieren, von denen für jedes einzelne Bewegungselement auch jeweils ein eigener *orbis* (eine eigene *sphaera*) erforderlich ist – selbst in der seit PTOLEMAIOS (um 100 bis um 160) reduktionistischen, mathematischen Astronomie, in der die Betrachtung auf die äquatorialen Großkreise solcher Sphären reduziert und daraufhin nur von ‚Kreisen‘ gesprochen wird²² –, hin zu der Vorstellung von einer *astronomia sine orbibus*, in der die Planeten nicht mehr in ein System rotierender Sphären eingebettet sind und von diesen mittelbar bewegt werden, sondern frei im Raum (bei KEPLER stets noch: im Äther) schweben und von äußeren Kräften unmittelbar längs ihrer gleichzeitig durch sie bestimmten ‚Bahn‘ (*orbita* ist der neue *Terminus technicus* dafür bei KEPLER) bewegt werden. Diesen ihren ‚Weg‘ durchlaufen sie, für und seit KEPLER ‚physikalisch‘ bedingt, tatsächlich ungleichförmig, während die wahrgenommene Bewegung eines Planeten nach der dadurch abgelösten Astronomie der Sphären als ‚Resultante‘ des Zusammenwirkens mehrerer tatsächlich gleichförmig rotierender Sphären nur scheinbar *ungleichförmig* hatte erfolgen sollen.

COPERNICUS’ Vorstellungen und jegliche Astronomie, die KEPLER vorfand und nur Schritt für Schritt modifizieren konnte, beruhen auf einer solchen Sphären-Astronomie (und Sphären-Physik). Die einzelnen (partiellen) Sphären sind danach innen und außen sphärisch, wenn auch nicht notwendig konzentrisch begrenzte Hohlkugeln (beim Epizykel auch Vollkugeln) aus dem Element Äther, das nur gleichförmige Rotationsbewegungen auszuführen vermag. Durch die exzentrische Innenbegrenzung der äußersten Sphäre eines Planeten würden die inneren ‚Sphären‘ mit herumgeführt. Das aus derartigen, jeweils aus eigenem Antrieb (seit dem 14. Jahrhundert: *impetus*) rotierenden ‚Teilsphären‘ (*orbis particulares* oder *partiales*) zusammengesetzte Konstrukt eines jeden Planeten bildet seinerseits dessen ‚Gesamtsphäre‘ (*orbis totalis* oder *totus*);²³ und nur diese ‚Gesamtsphären‘ sind außen und innen konzentrisch begrenzt – sodass in geozentrischen Systemen die Sphären aller Planeten und die Fixsternsphäre lückenlos ineinander zu schachteln sind.

Das musste im 16. und frühen 17. Jahrhundert nicht ausdrücklich gesagt werden, das war kanonisch und in ganz Europa jedem Akademiker aus dem Mathematikunterricht bekannt. Hier wurde neben der mathematischen Astronomie nach Johannes’ DE SACROBOSCO

20 KGW I, S. 76, 14f. und S. 77, 24; deutsch von CASPAR (KEPLER 1923, S. 139/140), deutsch von KRAFFT (KEPLER 2005b, S. 103/104). – Da die notwendig gleichförmig rotierenden ätherischen *orbis* in der vorkeplerschen Astronomie die *hypotheses* waren, mit deren Hilfe die Phänomene, nämlich die ungleichförmig erscheinenden Bewegungen der Himmelskörper, ‚bewahrt‘ werden sollten, konnte KEPLER mit seiner *astronomia sine orbibus* durchaus zu Recht die Professur von Petrus RAMUS (1515–1572) für sich beanspruchen (KGW III, S. 6), die dieser jemandem angeboten hatte, der eine *astronomia sine hypothesibus* liefere; siehe KRAFFT 1965.

21 Brief Nr. 325, 65f.: „Tycho negavit orbis: ego jam doceo, quomodo moveantur planetae sine orbibus [...]“; KEPLER 1930, Bd. 1, S. 219: „Tycho hat die festen Bahnen beseitigt; ich zeige nun, wie sich die Planeten ohne [ergänzt: solche] Bahnen bewegen [...]“

22 Entsprechende Vorbehalte schon bei PTOLEMAIOS (Syntaxis mathematica III, 3 und IX, 2) bleiben in der Regel unbeachtet. Siehe insgesamt zu den Grundlagen der vorkeplerschen Astronomie KRAFFT 2008.

23 Bei COPERNICUS wurde diese Sphäre des Mondes um die Erde angeordnet und mit dieser zusammen in deren Gesamtsphäre, deshalb auch ‚Großsphäre‘ genannt, eingebettet.

(1. Hälfte 13. Jahrhundert) *De sphaera* nebst Kommentaren (vor allem Christoph CLAVIUS 1570–1611) auch die ebenfalls aus dem 13. Jahrhundert stammende physikalische Tradition der *Theoricæ planetarum* gelehrt, für Fortgeschrittene nach dem zuerst 1472 erschienenen Lehrbuch *Theoricæ novae planetarum* Georg PEURBACHS (1423–1461). Den abschließenden Höhepunkt vorkeplerscher astronomischer Lehrbuchliteratur, der beide Bereiche der Astronomie abdeckte und nach dem auch KEPLER unterrichtet wurde, bildete dann Michael MÄSTLINS *Epitome Astronomiae* von 1582.²⁴

Natürlich hatte auch COPERNICUS eine solche Physik fester Sphären im Auge, was in dem handschriftlich kursierenden *Commentariolus* von etwa 1510 noch deutlicher wurde als in seinem späteren Hauptwerk *De revolutionibus orbium coelestium* von 1543 – auch hier sind die *orbes* keine ‚Kreise‘ oder gar ‚Himmelskörper‘, sondern ‚Sphären‘ der genannten Art. Ein tiefgreifender Einwand gegen dieses heliozentrische System war so denn auch, dass in ihm die ‚Gesamtsphären‘ nicht lückenlos aneinander stoßen, dass sich vielmehr aufgrund der aus der jährlichen Bewegung der Erde folgenden Möglichkeit einer parallaktischen Bestimmung der Entfernungen zu den Planeten zwischen ihnen riesige leere und nutzlose Räume befinden sollten – Gott schafft aber nichts umsonst, nichts Sinn- und Zweckloses.²⁵

Die Möglichkeit einer solchen Physik war nun aber grundsätzlich stark in Frage gestellt durch neue Erkenntnisse unter anderen von Tycho BRAHE, der durch Parallaxenmessungen an der Nova von 1572 festgestellt hatte, dass die Erscheinung nicht atmosphärisch, sondern innerhalb der Äthersphären neu entstanden war, sich veränderte und wieder verschwand, der Äther also nicht unveränderlich und ewig sein konnte, wie die geltende Physik des ARISTOTELES (384–322 v. Chr.) konstatierte, und dann am Kometen von 1577, dass dieser ungehindert durch die ‚Sphäre‘ der Venus hindurch wanderte. Der Äther, aus dem diese Sphären auch noch seiner Überzeugung nach bestehen sollten, konnte also keine festen oder flüssigen Körper bilden, die einen anderen Körper, etwa einen Planeten, mitzuführen in der Lage wären; er musste vielmehr äußerst subtil sein und durfte keinem Körper einen auch noch so geringen Widerstand entgegensetzen.

Hatte für das heliozentrische System schon eine gegenüber der aristotelischen neue Schweretheorie entwickelt werden müssen, so war jetzt für jemanden, der den von BRAHE erbrachten Messdaten vertraute (und zu denen gehörte vor allem KEPLER), ein Scherbenhaufen der Himmelsphysik entstanden. KEPLER wurde wohl als erstem so recht bewusst, dass insbesondere für die Heliozentrik eine völlig neuartige Himmelsphysik entwickelt werden musste. Und es war ihm auch völlig klar, dass es keine empirischen Kriterien für die Richtigkeit eines der drei aktuell diskutierten Weltsysteme gebe – neben das aristotelisch-ptolemäische geozentrische und das copernicanische heliozentrische hatte BRAHE als Kompromiss ein geo-heliozentrisches gestellt, das zwar die copernicanische Bündelung der Planetenbewegungen um die Sonne beibehielt, ebenso aber auch die Geozentrik, indem er die Sonne mit den Planeten sich um die (außerdem vom Mond umkreiste) im Zentrum ruhende Erde bewegen ließ – und erwies die kinematische Äquivalenz aller drei.²⁶ Nur eines von ihnen konnte aber richtig sein.

Er musste also eine völlig neue physikalische Basis als Realbeschreibung schaffen, die nicht nur die angestrebte ‚metaphysische‘ Begründung enthielt, sondern auch den ‚Halt‘ für die Bewegungen der Planeten lieferte, den bis dahin die materiellen *orbes* eines Planeten

24 Siehe dazu METHUEN 1996 und REX 2002.

25 Dazu KRAFFT 1999a.

26 KEPLER 1609, Kap. 1–6.

geboten hatten. War das heliozentrische Planetensystem real, so musste sich dessen Realität aus anderen Realitäten als Ursachen ableiten lassen, und zwar notwendig aus solchen, die der Realität der göttlichen Schöpfung ontologisch übergeordnet sind und im Sinne PLATONS und der Neuplatoniker Gottes Muster für die Schöpfung gebildet hatten. Mit ihnen sah er auch eine solche, der materiellen Schöpfung übergeordnete Realität in den Quantitäten, und zwar in einer aus der Masse der wiederholbaren Quantitäten herausgehobenen, einmaligen besonderen Quantität, der deshalb gleichzeitig das Attribut ästhetischer Schönheit und Harmonie zukomme. Der Archetypus und der danach von Gott erschaffene Kosmos mussten für KEPLER somit notwendig geometrisch-harmonikal sein und aus wirksamen und verwirklichten quantitativen Verhältnissen, also aus *numeri numerati* (statt aus *numeri numerantes*) bestehen.

Auf der Suche nach den wirklichen ‚Archetypen‘, die diese Forderungen erfüllen könnten, untersuchte KEPLER zunächst, wie er in der Vorrede zum *Mysterium cosmographicum* berichtete, ob die Verhältnisse der Sphärengrößen der Planeten, deren Radien COPERNICUS bestimmt hatte, mit dem Abstand zur Sonne stetig wachsen. Die Abweichungen waren jedoch zu groß, und überhaupt ließe sich dadurch nicht die Anzahl der Planeten begründen. Von ganzzahligen Verhältnissen ging er deshalb zu geometrisch gewonnenen Streckenverhältnissen über, dann zu den Verhältnissen den Sphären eingeschriebener Flächen und schließlich zu den Verhältnissen den Sphären einbeschriebener Körper, da die Sphären ja selbst dreidimensional seien. Und hier, in der dem realen Kosmos entsprechenden Dreidimensionalität, entdeckte er endlich vermeintlich gerade den Grund auch für die Sechszahl der Planeten, der gleichzeitig deren Abstände bestimmte: Hatte es bis dahin sieben Planeten mit sechs Zwischenräumen gegeben, so war im copernicanischen System der Mond in die Sphäre der Erde einbezogen, und es gab nur sechs Planetensphären mit fünf Zwischenräumen – ebenso vielen Zwischenräumen, wie es ausgezeichnete mathematische Körper gibt, nämlich die fünf regulären Polyeder oder Platonischen Körper.

Die Überzeugung von einem *a-priorischen*, geometrisch-harmonikalen Aufbau des Kosmos ließ KEPLER in der Übereinstimmung dieser beiden ausgezeichneten Sachverhalte sogleich einen inneren Bezug erahnen: Mit den von COPERNICUS zur Verfügung gestellten Werten für die größten und kleinsten Abstände des exzentrischen Deferenten eines jeden Planeten ergab sich mit vorerst verblüffender Genauigkeit eine entsprechende Zuordnung von konzentrischen Um- und Inkugeln der Polyeder, wenn man sie ineinander geschachtelt so weit voneinander abstehen ließ, dass die mit den copernicanischen Werten des Exzentrers errechnete Dicke der einzelnen Gesamtsphären in den Zwischenräumen Platz fand. Und es ließ ihm auch keine Zweifel an diesem *a priori* erschlossenen und empirisch scheinbar bestätigten Archetypus aufkommen, dass sich geringe Differenzen auch noch ergaben, nachdem MÄSTLIN ihm alle Abstände neu berechnet hatte – jetzt auf den tatsächlichen Ort der Sonne bezogen und nicht auf die mittlere Sonne wie bei COPERNICUS.. Vielmehr bezweifelte er hier unter Berufung auf Autoritäten grundsätzlich die Möglichkeit, überhaupt exakte Messwerte erhalten zu können.²⁷ – Diese Einstellung sollte sich allerdings bald grundlegend ändern, was ihn dann bei seiner Suche nach der exakten Tiefenbewegung auf die Ellipsenbahn führen konnte, nachdem er in der *Astronomiae pars optica* nachgewiesen hatte, dass die Beobachtungsmethoden Tycho BRAHES, dessen Werte er benutzte, nicht grundsätzlich zu Messfehlern geführt haben können.

27 KEPLER 1596, KGW I, S. 59f.

Auch später, nach der Kenntnis der neuen und viel genaueren Beobachtungsdaten BRAHES, suchte KEPLER nach der exakten Bestätigung dieses Archetypus. Allein diese Versuche veranlassten ihn immer wieder, sich um eine genaue Bestimmung der Tiefenbewegung zu bemühen. Diese dritte Dimension hatte bis dahin die Astronomie überhaupt noch nicht interessiert, weil es ihr nur um die Bestimmung der Längen- und Breitenbewegung der Planeten vor der Fixsternsphäre ging.

Aber für den Epizykel, auf den COPERNICUS die ptolemäische Ausgleichsbewegung transformiert hatte, war neben dem Deferenten in den Polyëderzwischenräumen kein Platz. Eine Erweiterung der Sphären-Dicke hätte das gesamte Konstrukt erschüttert, und ohne sie ragten die Epizykel in die Begrenzungskugeln hinein. Sollte der aufgefundene Archetypus richtig sein, so musste der copernicanische Epizykel eliminiert und die ptolemäische Ausgleichsbewegung und damit die ungleichförmige Bewegung auf dem exzentrischen Deferenten wieder eingeführt werden. Ursprünglich erzwungen durch die Überzeugung von der Richtigkeit des Archetypus, ergab sich dadurch jetzt aber für KEPLER eine zusätzliche Bestätigung seiner neuen physikalischen Idee: Was Georg Joachim RHAETICUS (1514–1574), später auch William GILBERT (1544–1603), aufgrund der wachsenden Umlaufzeiten der Planeten im heliozentrischen System nur geahnt hatten,²⁸ hatte KEPLER nämlich rechnerisch bestätigen können: Die Umlaufzeiten wachsen genau „doppelt“, wie er sich ausdrückte, einmal entsprechend der Länge des vom Planeten in siderischer Periode beschriebenen Kreises, für die bei gleicher Lineargeschwindigkeit proportional zum Radius wachsende Zeiten benötigt würden, und zusätzlich gemäß der größeren Entfernung des Planeten von der Sonne im Zentrum, aus der sich eine kleinere Geschwindigkeit auf längerer Wegstrecke für den jeweiligen Planeten ergab. KEPLER erschloss daraus richtig eine Bewegungsursache im Zentrum als Bestandteil des Zentralkörpers Sonne, deren Wirkung mit der Entfernung abnimmt.

Dieser ‚Motor‘ und seine mit der Entfernung abnehmende Wirkgröße der ‚Bewegungskraft‘ wurden nun durch die Wiedereinführung der Ausgleichsbewegung zusätzlich bestätigt; denn wie die Planeten im Vergleich zueinander, so wird auch jeder einzelne in größerer Nähe zum Motor Sonne, im Perihel, schneller, im Aphel dagegen langsamer bewegt. Bereits 1601 führten KEPLERS neue physikalische Überlegungen zu dem geometrisch keineswegs exakten Nachweis, dass die Geschwindigkeit der einzelnen Planeten sich umgekehrt wie ihre jeweiligen Abstände von der Sonne verhalten, das heißt zum Radiensatz, aus dem später der Flächensatz wurde. Die ptolemäische Kinematik war damit auf neue Art, nämlich ‚physikalisch‘ begründet.

Jede den eigenen Körper direkt bewegendende ‚Kraft‘ sowie jegliche über Distanzen wirkende ‚Kraft‘, und somit auch eine anderes bewegendende ‚Kraft‘, hatte sich vorerst nur als eine ‚seelische‘ verstehen lassen. KEPLER entschied sich dann in der Frage, ob die Planeten jeweils von eigenen Seelen angetrieben würden, die umso schwächer wären, desto weiter sie von der Sonne entfernt wären, oder ob es nur eine einzige Bewegungsquelle, *anima motrix*, im Zentrum aller Planetensphären, also in der Sonne, gebe (*unam esse motricem animam in orbium omnium centro, scilicet in Sole*), für letztere Alternative.²⁹ Sei es doch absurd, der direkt auf ihren Körper einwirkenden Seelenkraft (*vis animalis*) eines Planeten abwechselnd eine Steigerung oder ein Nachlassen zuzuschreiben, während bei einer zentralen Bewegungskraft nur deren Wirkung sich mit der Entfernung abschwäche.

²⁸ KRAFFT 1973, S. 78 und 86.

²⁹ KEPLER 1596, KGW I, S. 70, 18–27.

Die Sonne bildete folglich nicht nur als Zentrum der Welt deren Bewegungsquelle sowie den Ursprung des Lichtes und damit des Lebens, sondern auch die Seele der Welt sei in sie als Zentrum zurückgekehrt.³⁰ – Nur, eine solche in die Ferne bewegend wirkende ‚Kraft‘ war für materielle, von Gott erschaffene Körper bis dato beispiellos!

3. Erneuerung der Physik durch die Analogie zum Magnetismus

3.1 William Gilberts dualistischer Magnetismus

Da erschien im Jahre 1600 in London ein Buch des bis dahin unbekanntes englischen Arztes William GILBERT mit dem Titel *De magnete, magneticisque corporibus et de magno magnete Tellure*, das genau diese Lücke zu schließen schien. Begeistert berichtete KEPLER in Briefen und Büchern von dem wunderbaren Werk, nachdem er es spätestens Anfang 1601 in Prag kennen gelernt hatte.³¹

GILBERT hatte die Vorgaben von Robert NORMAN (geb. um 1500) und Giambattista DELLA PORTA (1534/35–1615), die jeweils nur einen Aspekt des Magnetismus, die Magnethausausrichtung bzw. die magnetische Anziehung, berücksichtigt hatten, nicht vereinen können³² und daraufhin eine dualistische Magnettheorie entwickelt. PORTA hatte 1597 den Begriff der ‚Wirksphäre‘ (*orbis virtutis*) der Magnetpole eingeführt, worin er die Vorstellung vom Strahlungsmittelpunkt magnetischer ‚Ausflüsse‘ (*effluvia*), wie sie schon antike Atomisten vertreten hatten, von denen jeder Magnet jetzt jedoch zwei einander gegenüber liegende aufweisen sollte, mit der Vorstellung von einer Begrenzung des sich abschwächenden Wirkungsbereiches einer Kraft, der *sphaera activitatis*, verbunden. Demgegenüber hatten seine Versuche GILBERT wie NORMAN zu der Überzeugung geführt, dass es nur *ein* Zentrum der Magnetkraft gebe, jetzt aber – anders als bei NORMAN – auch für die anziehende Wirkung des Magneten. Ähnlich wie jener nahm GILBERT als Sitz dieses Zentrums den Schwerpunkt des Magneten an.

Durch die Deutung der Erde als großen Kugelmagneten war GILBERT eine erste sinnvolle Erklärung der Erscheinungen des Erdmagnetismus (einschließlich der Missweisung) gelungen. Er hatte die Erscheinungen natürlich nicht an der Erde selbst untersuchen können. Er hatte nicht die Möglichkeit, die Ausdehnung des *orbis virtutis* zu erkunden, oder dessen Form und Intensität, war vielmehr auf kleinere Maßstäbe angewiesen. Diese hatten ihm die Überzeugung, dass die Erde ein großer Magnet sei, geliefert; denn daraufhin hatten sich die Erscheinungen an einem kleinen Kugelmagneten als Äquivalent untersuchen lassen. Er nannte einen solchen deshalb „kleine Erde“ (*terrella*), und die war für ihn keine Analogie zur Erde, sondern „die Sache selbst“: Die Erde war für ihn ein Magnet.

30 Denselben Schritt mit derselben Entscheidung für die Alternative einer Weltseele in der Sonne hatte schon PLATON in seinen *Nomoi* (X, 8–9, vor allem 897 CD und 898 E bis 899 D) vollzogen und damit eine Tradition innerhalb des Neuplatonismus und seiner Lichtmetaphysik begründet. Die Sonne befand sich in dieser Tradition allerdings nicht in der Mitte der Welt, sondern in der Mitte der Planetensphären, oberhalb von Mond, Merkur und Venus und unterhalb von Mars, Jupiter und Saturn.

31 Siehe dazu KRAFFT 1973, S. 104–106. – Die Etappen der Entstehung und Drucklegung keplerscher Schriften behandelt übersichtlich SECK 1970. Aus KEPLERS Brief Nr. 242, 219–221 bzw. 156 und 207ff., vom 12.01.1603 an HERWART VON HOHENBURG geht hervor, dass er GILBERTS Buch „zwei Jahre zuvor“ kennen gelernt hatte und DELLA PORTAS Buch in der Ausgabe von 1597 studiert und die Experimente mit dem Magneten teilweise nachgemacht hatte; siehe auch Anm. 52 weiter unten.

32 Für Einzelheiten siehe KRAFFT 1970 und 1973, S. 82–87.

GILBERT hatte aus seinen experimentellen Beobachtungen an dieser *terrella* gefolgert, dass auch bei der Erde Anziehung nicht nur zu den Polen hin geschieht, wie PORTA angenommen hatte, vielmehr mit Ausnahme des Äquators zu allen Punkten der Kugeloberfläche, und dass diese Anziehung gegenseitig erfolgt. Er wandelte auch die Begriffe PORTAS ab und sprach bei dessen *orbis virtutis* als der Kugel, innerhalb der gegenseitige Anziehung erfolgt, vom „*orbis coitionis*“ (nämlich: „*magneticae*“), von der „Kugel des gegenseitigen magnetischen Zusammenstrebens“. Daneben stellte er fest, dass die „Richtkraft“ (*vis dirigens*) des Magneten viel weiter reicht und noch dort eine Magnetnadel ‚ausrichtet‘, wo der Magnet nicht mehr ‚anzieht‘. Diesen Bereich nannte er „*orbis virtutis*“. Er konstruierte also zwei unterschiedliche ‚Wirksphären‘.

GILBERT hatte bei seinen experimentellen Untersuchungen weiterhin entdeckt, dass die magnetischen ‚Kräfte‘ von festen Körpern nicht an ihrer Ausbreitung gehindert werden und folglich selbst etwas Unkörperhaftes sein müssten, das unmittelbar (und instantan) in die Ferne wirke – anders als bei PORTA, der an eine Nahwirkung mittels materieller Ausflüsse gedacht hatte –, und hatte die ‚magnetischen‘ Kräfte daraufhin der aristotelischen *forma* und *anima* zugewiesen, die ‚elektrischen‘ dagegen, die auf ‚körperhaften‘/materiellen Ausflüssen beruhten, dem Körper und der Materie, sodass sie auch andere Körper nicht zu durchdringen vermögen. Bei GILBERT verdichtete sich so der Begriff *orbis virtutis* zu der Vorstellung von einer zentralen, sich kugelförmig ausbreitenden, in ihrer Wirkung kugelförmig begrenzten, über den leeren Raum hin und durch andere Körper hindurch in die Ferne wirkenden unkörperhaften (seelischen) Kraft magnetischer Art, mittels welcher auch die Weltkörper aufeinander einwirken.

3.2 Die Analogie zwischen erklärender ‚*vis magnetica*‘ und zu erklärender ‚*species immaterialia* (promotoria)‘: kreisförmige Magnetfibern

KEPLER hatte sich auch deshalb bei der ersten Begegnung mit GILBERTS Werk so sehr von dessen Magnetismustheorie begeistern lassen können, weil sie genau seine Vorstellung von einer *anima motrix* der Sonne zu bestätigen schien, die jetzt offenbar als einem Magneten entsprechend oder gar als magnetisch erkannt worden zu sein schien. Die Grundlagen, die zu dieser Zentralkraft der Sonne geführt hatten, mussten offenbar nur den neuen Erkenntnissen angepasst werden, wie er Anfang 1601 annahm: „woran es meinen Argumenten pro COPERNICUS noch fehlte, das scheint mit bewunderungswürdigem Geschick und experimentellem Fleiß der Engländer William GILBERT im Bereich des Magnetismus nachgeliefert zu haben“.³³

Dazu kam KEPLER allerdings wegen Verpflichtungen gegenüber Tycho BRAHE und einer langwierigen Krankheit erst zu Beginn des Jahres 1603,³⁴ im Vorfeld der Arbeiten an der *Astronomia nova*. Doch hatte er im Oktober 1602 David FABRICIUS (1564–1617) gegenüber schon von einer Korrektur Gilbertscher Vorstellungen gesprochen, als er ihm von seiner *motrix virtus ex Sole egrediens*, der ehemaligen *anima motrix*, berichtete³⁵: Es sei sinnvoller, sie statt nur aus dem Zentrum aus dem gesamten Körper der Sonne austreten zu lassen; „denn es

33 Siehe KEPLERS erstmalige Erwähnung in der *Apologia Tychonis contra Ursum* (entstanden 1600/1601), KGW XX/1, S. 24, 44–47: „Mihi sane nihil falsum Copernicus dixisse videtur: quodque meis pro Copernico defuit argumentis, id admirabili sollertia, experiundique industria supplesse videtur Gilbertus Guilielmus Anglus, in re magnetica.“ Siehe auch KEPLERS Brief Nr. 242, 358ff. (besonders 391f. zu *De magnete* VI 6) vom 12.01.1603 an HERWART VON HOHENBURG: „Plane iisdem ego principijs omnes planetarum motus demonstrarj posse puto.“

34 Siehe KRAFFT 1973, S. 105f., 110–112.

35 Brief Nr. 226, 649ff.

besteht sehr deutlich ein identisches Verhalten des Lichtes und der aus der Sonne austretenden Kraft“ (*eadem ratio lucis et virtutis ex Sole egredientis*). Im November 1602 hatte ihn dann HERWART VON HOHENBURG erneut auf das Buch GILBERTS aufmerksam gemacht, und KEPLER erinnerte sich sofort an Berührungspunkte mit eigenen Überlegungen, insbesondere an *De magnete* VI 6³⁶. Dort hatte GILBERT³⁷ von ‚interplanetarischen‘ magnetischen Kontakten zwischen Erde und Mond (*confoederatio magnetica*) gesprochen und die Rotationsbewegung der Erde ihrer magnetischen ‚Energie‘ zugewiesen, die ‚teleologisch‘ vom Licht der Sonne verursacht werde, insofern sie ihm ihren Körper (die Erdkugel) gleichmäßig aussetzen wolle: „*Diurni motus causae a magnetico vigore, & confoederatis corporibus petendae sint*“³⁸ – GILBERT blieb noch deutlich im Umfeld aristotelischer Vorstellungswelt und Begrifflichkeit. Hinsichtlich der durch ihre ‚Seele‘ verursachten ‚natürlichen‘ rotierenden Eigenbewegung der Planeten und der Sonne schloss KEPLER³⁹ sich ihm jedoch bedenkenlos an.

KEPLER hatte dann mit der ungewohnten Unterscheidung zwischen ‚Seelen-‘ und ‚Körperkräften‘ eine wesentliche Neuerung gegenüber GILBERT und anderen Autoren des 17. Jahrhunderts eingeleitet, indem er die ursprünglich die Art der ‚Kräfte‘ charakterisierenden Begriffe auf die Kraftquelle bezog und von Seelen- oder Körperkräften als Kräften der Seele bzw. des Körpers sprach. Eine solche Kraft eines Körpers, eine *vis* (oder *facultas*) *corporea*, sei ebenfalls ‚immateriell‘, eine in der aristotelischen Physik als *causa movens* unbekannt *vis immateriata*, eine ohne materielles Medium über die Ferne wirkende Kraft – eine körperliche, keine körperhafte oder materielle ‚Kraft‘. Damit verließ KEPLER allerdings nicht die Vorstellung, dass die Planeten ‚Lebewesen‘ (*animal*) seien, mit Körper und Seele, welche letztere für ihn noch 1604/05 auch einen die Bewegung steuernden ‚Geist‘ enthielt.

Während des Jahres 1604 bearbeitete KEPLER die Kapitel 33 bis 39 der *Astronomia nova*, die seine Physik erstmals zusammenhängend enthalten, nachdem er sie schon zuvor immer

36 KEPLERS Antwort auf Brief Nr. 235, 36ff., vom 12.01.1603 (Brief Nr. 242, 207ff.): Er werde GILBERTS Werk, das er vor zwei Jahren während seiner Krankheit gelesen habe, woran er sich aber nur noch schwach erinnere, bei nächster Gelegenheit und Muße erneut lesen. Er führte dann aber, durchaus kritisch, die wichtigsten Punkte auf, zu denen eine Berührung mit eigenen Rechnungen bestanden.

37 GILBERT 1600, VI 6, S. 231f.

38 Siehe auch GILBERT 1600, II 14, VI 2 (S. 212–214) und VI 4.

39 KEPLER 1609, Kap. 34 konstatiert, dass und wie seine Rotation eine Folge der Magneteigenschaft des Sonnenkörpers ist; sie regle durch eine „gewisse magnetische Kraft“ auch die Rotationsdauer des Erdkörpers (KGW III, S. 245, 3–6: „ut diurna telluris conversio vi quadam magnetica dispensetur a diurna globi Solaris conversione“). Da die Äthersphären als mittelbare Bewegter der Himmelskörper für KEPLER wegfallen, kann deren Seele ja nur auf der Stelle rotierende, nicht aber translatorische Bewegungen ihres Körpers erzeugen (was bei ARISTOTELES für die Sphären ja ebenfalls gegolten hatte). KEPLER 1609, Kap. 39, leugnete so auch jegliche translatorische Eigenbewegung eines Himmelskörpers. Die Parallelstellung der Erdachse als Ersatz für die noch im *Mysterium cosmographicum* (KEPLER 1596, Kap. 1, KGW I, S. 19, 32ff.) vertretene fiktive Sphäre, durch die COPERNICUS die Erdachse ‚parallel‘ bleiben ließ (wogegen Tycho BRAHE Einwände erhob; siehe KEPLER 1621, Nota 16 zu Kapitel 1, KGW VIII, 43, 18–22), wird im Anschluss an GILBERT als ‚magnetisch‘ bedingt konstatiert beispielsweise immer wieder in der *Astronomia nova*; siehe etwa KGW III, S. 350, 38f.; S. 351, 19f. („... vim, quae retinet axem magneticam in situ parallelo, derogans directioni axis in Solem“); S. 352, 17 (das geschehe allerdings nicht dadurch, dass die Pole sich nach irgendwelchen Fixsternen ausrichteten, sondern nach dem jeweiligen Ort, Aphel oder Perihel, auf ihrer Bahn); S. 360, 18ff. (im Widerstreit von seelischem Ruhestreben und Beharrungsvermögen der magnetischen Achse und Einfluss der magnetischen Sonne auf den Körper der Erde entscheide der ‚Geist‘ und steuere die Achse der Erde zu dem ihr schon von COPERNICUS zugewiesenen Effekt der Präzession). In der zweiten Auflage (1621, Notae 16 und 18 zu Kap. I, KGW VIII, S. 43) führt er die Konstanz der Richtung der Erdachse zwar weiterhin auf eine den Magnetfibern von Natur zukommende magnetische Neigung zur Ruhe (*propter fibrarum naturalem et magneticam inclinationem ad quiescendum*) zurück, erwägt aber auch schon einmal die Erhaltung der Achsenrichtung analog einem rotierenden Kreisel (*vt fit in turbine incitato et discursitante*).

wieder einmal in Briefen skizziert hatte.⁴⁰ Am 10. Februar 1605 schrieb er überschwenglich HERWART VON HOHENBURG,⁴¹ es sei das Ziel seiner physikalischen Untersuchungen, „sagen zu können, die Himmelsmaschine ist nicht so etwas wie ein göttliches Lebewesen (*divinum animal*), sondern wie eine [...] (Gewichts-)Uhr, so dass in ihr fast jede Bewegungsveränderung (*pene omnis motuum varietas*) von einer einzigen ganz einfachen körperlichen magnetischen Kraft herrührt, wie bei der Uhr sämtliche Bewegungen von einem ganz einfachen Gewicht“. Er unterwerfe diese physikalische Theorie (*ratio physica*) auch den Zahlen und der Geometrie und könne schon jetzt zeigen, auf welche Weise die Planeten auch ohne Äthersphären (*sine orbibus*) ihre Bewegungen auszuführen vermögen.

Diese *una simplicissima vis magnetica corporalis* war allerdings etwas voreilig avisiert. Im Text des 34. Kapitels heißt es so auch zunächst zurückhaltend,⁴² dass man sich hinsichtlich seiner Vorstellungen vom Sonnenkörper und dessen die Planeten bewegenden *species immateriata*⁴³ „nur weiterhin von der ‚Analogie‘ leiten lassen und das Beispiel des Magneten näher betrachten solle“. Der Magnet war ihm vorerst auch nur wie das ebenfalls als Analogie herangezogene Licht ein „Beispiel“ (*exemplum*), um die zum Körper der Sonne gehörige, die Planeten mitreißende *species immateriata* (sc. *magnetica*) zu veranschaulichen und deren Wirkweise zu verdeutlichen. Diese hatte ja inzwischen als ‚Kraft‘ des Sonnenkörpers (*vis corporalis*)⁴⁴ die *Bewegungsseele anima motrix* (als *vis animalis*) aus dem *Mysterium cosmographicum* ersetzt. Vom analogen Magneten sagte KEPLER dann, dass er ein sehr schönes, mit der Sache völlig übereinstimmendes Beispiel sei (*perbellum [...] exemplum magnetis et omnino rei conveniens*) und nur wenig fehle, es die Sache selbst (*res ipsa*) nennen zu können – um abzuschließen: „doch was rede ich von einem bloßen Beispiel, hat der große Engländer GILBERT doch aufgewiesen, dass die Erde tatsächlich ein großer Magnet ist (*cum ipsa tellus [...] Gilberto] demonstrante magnus quidam est magnes*)“.

Diese die Analogie totalisierende Isomorphie gilt dann aber lediglich hinsichtlich des Teilaspekts der translatorischen Bewegung der Planeten durch die magnetische *species immateriata* der Sonne, die sich kugelförmig (später: kreisförmig) ausbreite und als Teil des rotierenden Sonnenkörpers von diesem in derselben (Winkel-)Geschwindigkeit mit herumgeführt werde.

Seinem Lehrer MÄSTLIN hatte KEPLER schon am 5. März 1605 über seine zehn Jahre zuvor als zentral erschlossene, jetzt als ‚magnetisch‘ gedeutete Bewegungskraft des Sonnenkörpers berichtet⁴⁵: „Der Sonnenkörper ist ringsum magnetisch und rotiert an seinem Ort, wobei er die Sphäre seiner Kraft, die nicht anziehend, sondern translatorisch bewegend ist (*quae non est attractoria sed promotoria*),⁴⁶ mit sich herumführt.“

40 Belege bei KRAFFT 1973, S. 113–123.

41 Brief Nr. 325, 57–61.

42 KEPLER 1609, Kapitel 34, KGW III, S. 245, 33ff., S. 246, 19–39.

43 Eine zusammenfassende Darstellung der verschiedenartigen *species immateriatae* gibt KEPLER 1610a, § 26, KGW IV, 169–171.

44 Zu unterscheiden ist zwischen einer ‚körperhaften‘ (*vis materiata*) und einer ‚körperlichen‘ Kraft, das ist der Kraft eines Körpers, die wiederum ‚körperhaft‘ (aus materiellen Partikeln bestehend) oder ‚unkörperhaft‘ (*vis immatriata*) sein kann, wie es auch jegliche Kraft einer Seele ist.

45 Brief Nr. 335, 93ff.

46 KEPLER hatte sich zwar die Terminologie GILBERTS und PORTAS angeeignet, meinte aber gegenüber seinem Lehrer darauf hinweisen zu müssen, dass es sich nicht um die übliche Magneteigenschaft der Anziehung handle.

Zu dieser magnetischen ‚Mitföhrbewegung‘ formte KEPLER GILBERTS ‚Richtkraft‘ des Magneten um. Föür ihre Wirkweise konstruierte er als „Sitz der Bewegungskraft“ (*motoriae virtutis sedes*) oder der *species immateriata magnetica* kreisförmige, zum Sonnenkörper konzentrische Magnetföibern, was hier schon in der Umschreibung „*corpus circulariter magneticum*“ anklingt.

Wahrscheinlich im Anschluss daran sollte KEPLER dann die Wirkung der zweiten Magnetkraft, der anziehenden – aus der auch die gegenseitige Schwere (von Himmelskörpern) resultieren soll –, mittels geradliniger, radialer Magnetföibern mit entgegengesetzten Polen erklären.

Föür beide Arten von Magnetföibern gibt es allerdings kein Pendant in der älteren und der zeitgenössischen Magnetismustheorie GILBERTS oder PORTAS. Zur Zeit der Abfassung von Kapitel 34 der *Astronomia nova* scheinen diese Vorstellungen auch für KEPLER noch neu gewesen zu sein; denn er sprach hier von „*filamenta (ut ita dicam) seu fibras*“, von Föibern, wie er sie nenne,⁴⁷ welcher Zusatz an anderen Stellen fehlt.

Hier wird also gleichsam das zur Erklärung herangezogene Analogon selber im Hinblick auf das, was erklärt werden soll, erweitert – ohne dass es dafür eine empirisch-experimentelle Vorgabe gegeben hätte.

Da die kreisförmigen Föibern zur Mitföührung der Planeten um die Sonne herum sich ebenfalls um diese herum bewegen müssen, gleichzeitig aber zum Körper der Sonne gehören, muss der Sonnenkörper selber aufgrund einer ‚seelischen‘ Fähigkeit rotieren (die einzig mögliche Eigenbewegung eines runden Kugelkörpers). Das durch das eigene Konstrukt der kreisförmigen Magnetföibern erweiterte Analogon Magnet ließ so KEPLER⁴⁸ eine Rotation des Sonnenkörpers um eine senkrecht zur Ekliptikebene stehende Achse als notwendig erschließen, die erst Jahre später aus Beobachtungen der Bewegung von Sonnenflecken durch Galileo GALILEI (1564–1642) und Christoph SCHEINER (1575–1650) abgeleitet werden sollte – wodurch KEPLER natürlich seine Schlussfolgerung bestätigt fand.⁴⁹

Der analoge erklärende Bereich fördert also nicht nur das Verständnis des zu erklärenden Bereichs, er föührt auch zu Erkenntnissen (‚Entdeckungen‘), die in dem zu erklärenden realen Bereich allein nicht (oder noch nicht) zu erbringen gewesen wären, sich aber ihrerseits in diesem bestens bewähren können.

3.3 Keplers ‚inertia‘ und die Abschwächung der Bewegungskraft

Aus der Rotation dieser Kreisföibern würde sich allerdings jeweils nur eine zur Sonne konzentrische gleichförmige Kreisbewegung der Planeten ergeben, zudem müsste jeder Planet sowie die Oberfläche des Sonnenkörpers mit derselben Winkelgeschwindigkeit um das Zentrum der Sonne herumgeföührt werden. In Brief Nr. 340 vom März 1605⁵⁰ föührte KEPLER als Antwort auf eine entsprechende Anfrage dazu aus, dass die Erde für sich weder schwer noch leicht sei. Jeglicher Materie Eigenschaft sei vielmehr die absolute Ruhe, sodass jeder materielle Kör-

47 KEPLER 1609, KGW III, S. 246, 4–12.

48 KEPLER 1609, Kap. 34.

49 Siehe etwa KEPLER 1620, S. 290, 16ff.; S. 298, 20–26; aber auch schon Brief Nr. 658 vom 18.07.1613. Zu seinen Spekulationen über die Rotationsdauer, die (KEPLER 1609, Kap. 34) aufgrund der als analog postulierten Verhältnisse Mondumlauf zu Geschwindigkeit des Erdäquators wie Merkurumlauf zu Geschwindigkeit des Sonnenäquators drei Tage, möglicherweise einen Tag ergeben, später von ihm aber natürlich den empirisch aus den Bewegungen der Sonnenflecken erschlossenern Werten angepasst wurde, siehe KRAFFT 1973, S. 118f.

50 Brief Nr. 340, 104ff.

per auch nur durch äußere Kräfte aus dieser Ruhe zu bringen sei. Er nannte dieses jegliches Bewegtwerden ver- oder behindernde Streben nach Ruhe *inertia* („Streben nach Untätigkeit“, was trotz Übernahme des Begriffs noch nicht die newtonsche ‚Trägheit‘ ist).⁵¹ Was in der aristotelischen Physik für gewaltsam und gegen ihre Natur ‚künstlich‘ bewegte Dinge galt, wurde von KEPLER also auf ‚natürliche‘ Bewegungen übertragen; und das war möglich, sobald er auch diese, anders als ARISTOTELES, durch *äußere* ‚Kräfte‘ verursacht sein ließ. Die Folge dieser ‚Trägheit‘ sei dann ein größeres Zurückbleiben weiter entfernter Planeten gegenüber der Drehgeschwindigkeit der kreisförmigen Fibern; denn deren Wirkung schwäche sich entsprechend der Länge des Kreisumfangs ab, über die sich dieselbe Menge ‚Kraft‘ jeweils verteile, sodass die ‚trägen‘ Körper sich ihr leichter widersetzen könnten. Die Abschwächung erfolge also linear, d. h. proportional im Verhältnis der Radien (Entfernungen).

Hierher begründet sich dann auch KEPLERS Festhalten an der im 20. Kapitel des *Mysterium cosmographicum* aus den Umlaufzeiten und den Bahnlängen der Planeten numerisch erschlossenen linearen Abschwächung der *vis promotoria* oder *virtus motrix ex Sole egredientis*. Er hatte dort diese später als *species immateriata magnetica* bezeichnete ‚Kraft‘ hinsichtlich ihrer Ausbreitung und Abschwächung, deren Maß direkt dem Verhältnis der Kreise zu entnehmen sei (*mensura [...] ex ipsa circulorum proportione petenda erit*), in Analogie zum Licht gesetzt. Sie erfolge „tam in luce, quam in motrice virtute“: „valde verisimile est, eadem ratione mutum a Sole dispensari, qua lucem“; wieviel Licht in einem kleinen Kreis sei, soviel Licht oder Sonnenstrahlung sei auch in einem großen, über den sich dieselbe ‚Lichtmenge‘ verteile.⁵² Das sollte KEPLER dann in der *Astronomiae pars optica* bezüglich des Lichtes korrigieren⁵³: Dessen Abschwächung erfolge nicht linear (entsprechend dem Kreisumfang), sondern, da es sich kugelförmig ausbreite, entsprechend der Kugeloberfläche (*sphaerica superficies*) mit dem Quadrat der Entfernung (Radius). Diese Korrektur des Analogon hatte nun aber bei KEPLER keine Folgen für das zu erklärende Ausbreitungsverhalten der *species immateriata magnetica*. Sie sollte sich weiterhin linear mit der Entfernung abschwächen, und KEPLER gab sich große (vergebliche) Mühe, mit *Ad-hoc*-Argumenten⁵⁴ die lineare Abschwächung dieser für vieles verantwortlichen Bewegungskraft ‚physikalisch‘ zu erklären – um schließlich fast zu resignieren:

Man dürfe die Analogie (hier zwischen Licht und bewegender Kraft) nicht dadurch trüben, dass man die Eigenschaften beider Analoga blindlings vermenge.

51 Zur *inertia* als ‚*vis materialis*‘ siehe KEPLER 1609, Kap. 34, KGW III, S. 244, 7–27; KEPLER 1610a, These LI, KGW IV, S. 192, 38–42 („Für mein Person sage ich, daß die Sternkugeln diese Art haben, daß sie an einem jeden Ort deß Himmels, da sie jedesmals angetroffen werden, stillstehen würden, wann sie nicht getrieben werden sollten. Sie werden aber getrieben per speciem immateriatam Solis, in gyrum rapidissime circumactam.“); vgl. weiterhin KEPLER 1620, KGW VII, S. 296f., wo er die ‚Trägheit‘ „naturalis ἀδυναμία transeundi de loco in locum, naturalis inertia seu quies“ nennt; ihre Wirkgröße stehe im Verhältnis zu seiner *materia* (KGW VII, S. 296, 32f.). Die Impetus-Theorie (beim Wurf) lehnt KEPLER in diesem Zusammenhang zur Erklärung jedenfalls ebenso strikt ab (KEPLER 1609, Kap. 34, KGW III, S. 242, 13–18) wie eine Gleichsetzung der *inertia* mit Gewicht (*pondus*) (KEPLER 1609, Kap. 33; KGW III, S. 242, 2f.).

52 KEPLER 1596, Kap. 20, KGW I, S. 71, 1–16; siehe auch Brief Nr. 226, 649ff. vom 01.10.1602.

53 KEPLER 1604, Kap. 1, Propositiones 7–9, KGW II, S. 21f.

54 Vor allem KEPLER 1609, Kap. 33 und 36; siehe im Einzelnen KRAFFT 1973, S. 113–119; STEPHENSON 1987, S. 71–75.

Der anfängliche Ausgangspunkt, die „innigste Verwandtschaft“ von Licht und Magnetkraft, die „in allen Eigenschaften übereinstimmen“,⁵⁵ war folglich zu relativieren: Die strikte Analogie gelte nur für die Ausbreitung und Abschwächung einer *species immateriata*, nicht für deren Art und Maß. Während nämlich Licht auf die Oberfläche eines Körpers wirke und Schatten bilde, weil es den beleuchteten Körper nicht durchdringe, wirke die magnetische Bewegungskraft auf einen Körper und werde durch einen dazwischen tretenden Körper, etwa einen näheren Planeten bei Bedeckungen, in seiner Ausbreitung nicht behindert (sodass der Planet im ‚Schatten‘ eines anderen trotz seiner ‚Trägheit‘ weiter bewegt werde, aber auch das Licht nicht als Träger der Magnetkraft in Frage komme).

KEPLER löste das Problem letztlich dann dadurch, dass er die magnetische Bewegungskraft sich nur in der Äquatorebene des Sonnenkörpers als mit ihm rotierender Kreisfläche ausbreiten ließ,⁵⁶ und das ist die Ekliptikebene, in der sich die von ihr bewegten Planeten sowieso ausschließlich befinden. Diese empirische Tatsache ließ sich für ihn nun aber wieder durch die Heranziehung der Analogie zum Magneten unter Berufung auf GILBERT ‚physikalisch‘ begründen: GILBERTS Versuche zur anziehenden Wirkung eines Magneten hätten ja ergeben, dass ein Kugelmagnet (und die Erde) überall und besonders an den Polen Eisen anziehe, nicht aber an seinem Äquator, wo er nur eine Magnetnadel parallel zu seinen Magnetfibern ausrichte.⁵⁷ „So kann man annehmen“, schlussfolgerte KEPLER,⁵⁸ indem er gemäß seiner analogen Gleichsetzung sämtlicher Himmelskörper auch die Sonne zu einem solchen Kugelmagneten machte, „dass in der Sonne wie im Magneten überhaupt keine die Planeten anziehende Kraft vorhanden ist“ – somit auch keine geradlinigen Fibern (das heißt vorerst lediglich: in der Äquatorebene, in der ausschließlich sich die Planeten befinden) –, „sondern nur eine Richtkraft und dass sie demgemäß nur in der vom Tierkreis angewiesenen Ebene kreisförmige Fibern besitzt, die von ihr mit herumgeführt werden.“

Hier sieht KEPLER also aufgrund der auf die Sonne übertragenen Analogie zu einem Magneten in einer experimentellen Erkenntnis GILBERTS eine Bestätigung seiner auch *a posteriori* kaum stringent zu beweisenden Annahme, dass die bewegende Sonnenkraft sich ausschließlich in der Ebene der Ekliptik (und ihres Äquators) ausdehne.

Die Analogie ersetzt, auch wenn sie hier zu diesem Zweck gegenüber dem ursprünglichen Analogon erweitert wird, eine innerhalb des zu erklärenden Zusammenhangs fehlende Beweisführung.

Vorurteil und Fehlschluss schienen damit durch diese Analogie zu einer vermeintlich experimentell gestützten ‚Entdeckung‘ am Magneten abgesichert. Sie blieben selbst nach der Entdeckung des dritten Bewegungsgesetzes bestehen; denn in der *Epitome* führte KEPLER⁵⁹ die Abweichungen von der linearen Abschwächung der Bewegungskraft dann einfach auf eine entsprechend unterschiedliche *inertia* der Planetenkörper zurück.

55 KEPLER 1609, Kap. 35, KGW III, S. 247, 19f.

56 Siehe etwa KEPLER 1609, Kap. 36, KGW III, S. 250, 37ff.: „[...] eo quod virtus consideratur non in sphaera orbiculariter [kugelförmig] ut lux, sed in illo circulo in quo incedit Planeta. Nam et filamenta magnetica Solis supra ponebantur in longum tantummodo porrigi, non etiam versus polos aut aliorum.“

57 GILBERT 1600, V 11, S. 205–207.

58 KEPLER 1609, Kap. 34, KGW III, S. 246, 4–12.

59 KEPLER 1620, Pars II, S. 4; KGW VII, S. 306f.

Eine Analogie kann nicht nur zu richtigen Erkenntnissen im zu erklärenden Bereich führen, sondern auch Fehlschlüsse innerhalb dieses Bereichs zementieren oder richtige Erkenntnisse in Zweifel⁶⁰ ziehen.

3.4 Die ‚physikalische‘ Ableitung der Abweichungen von den konzentrischen Kreisbewegungen der Planeten: radiale geradlinige Magnetfibern

1604 wird mit Recht das Jahr der Ovalbahn in KEPLERS Bemühungen um die wahre Form der Planetenbahn und deren physikalische Erzeugung bezeichnet. Die im *Mysterium cosmographicum* gegen COPERNICUS wieder eingeführte ptolemäische Ausgleichsbewegung, die COPERNICUS durch einen Epizykel beschrieben hatte, erforderte im Rahmen des erarbeiteten physikalischen Konstrukts eine Annäherung des Planeten zur und Entfernung von der Sonne, woraus sich aufgrund seiner eigenen *inertia* und der entfernungsabhängigen Wirkgröße der zentralen Bewegungskraft der Sonne notwendig und unmittelbar eine tatsächliche Zunahme bzw. Abnahme seiner Bahngeschwindigkeit gemäß der ptolemäischen Ausgleichsbewegung ergäbe. Nur ist über die Ursache einer solchen radialen Librationsbewegung der Planeten damit nichts gesagt. KEPLER betonte immer wieder die Absurdität der Annahme, dass ein Planet zusätzlich zu seiner von der Sonne verursachten Umlaufbewegung wirklich auf einem Epizykel herumgeführt werde; selbst in der „geometrischen Hypothese“ des *Mysterium cosmographicum* hätte er die ‚Libration‘ in die Tiefe vielmehr auf dem Epizykeldurchmesser (*libratur in ejus diametro*) erfolgen lassen.⁶¹ 1604, in Kapitel 39 der *Astronomia nova*, schrieb er diese ‚Schwankung‘ längs des Epizykeldurchmessers vorerst dem intellektuellen Vermögen der eigenen Planetenseele zu,⁶² die diese Tiefenbewegung steuere. Das sei zwar nicht absurd, doch war er damit höchst unzufrieden, obgleich er die Ideen im 57. Kapitel wieder aufnahm – ebenso wie aus Kapitel 38 das zur Erklärung herangezogene Bild (Analogie) eines Fährkahns, der mittels eines Ruders (das etwas von einem Magneten an sich habe) quer zur Strömungsrichtung eines Flusses (hier der *vis motrix magnetica* der Sonne) gelenkt wird.⁶³ Numerisch werde diese Bewegung allerdings bestens durch den copernicanischen Epizykel beschrieben, und KEPLER verwendete für seine Rechnungen lange diese von ihm so genannte „stellvertretende Hypothese“.

Am 5. März 1605 berichtete KEPLER seinem Lehrer MÄSTLIN, dass er nach langen Mühen gefunden habe, dass die Planetenbahn ein Oval sei und der Planet nicht auf einem Epizykel herumgeführt werde, „sed libratur in ejus diametro“.⁶⁴ Inzwischen sei ihm allerdings auch klar geworden, dass jeder Planetenkörper als „magnetisch oder quasi-magnetisch“ angesehen werden müsse (*globus planetarum rursus statuendus est magneticus vel quasi*), versehen mit geradlinigen (radialen) Magnetfibern als Kraftlinien (*linea virtutis*), die zwei Pole besitzen,

60 So sollte KEPLERS Vertrauen in GILBERTS Ergebnisse sogar so weit gehen, dass er daraufhin die ihm zuvor empirisch begründete Annahme aufgab, die Magnetpole der Erde stimmten nicht mit den geographischen Polen überein – seine Planetenphysik erforderte dies und fand durch die Theorie, die auch GILBERT selbst aufgrund seiner Gleichsetzung der Erde mit einem Kugelmagneten nicht unvoreingenommen gegen die Beobachtungen gewonnen hatte, eine scheinbare Bestätigung; siehe GILBERT 1600, I 1 und IV 13, S. 5 und 177; KEPLER Brief Nr. 242, 210ff., und KEPLER 1634, Nota 134, dazu ROSEN 1967, S. 101, Fn. 247.

61 Siehe etwa Brief Nr. 335, 54ff., hier Zeile 79.

62 KEPLER 1609, Kap. 39, besonders KGW III, S. 260f. Siehe auch schon Brief Nr. 183 (08.02.1601), 55–77 („Motum in longum infert Sol Planetis“, „Motum in latum [und Tiefe] Planeta ipsa conficit“); Nr. 226, 618–625; Nr. 239, 434ff.

63 Siehe die Belegstellen in Anm. 17, zum Analogon Fährkahn auch STEPHENSON 1987, S. 110–118.

64 Brief Nr. 335, 90–121.

von denen der eine sich von der Sonne abstoße, der andere sich an sie heranziehe, je nachdem welcher Pol zur Sonne weise. Das sei möglich, weil die zur Bahnebene schräge Achse der Planeten mit den Polen von ihrer „seelischen Kraft“ (*vi animalis*),⁶⁵ und das ist bei einem Magneten eben eine ‚magnetische‘, stets parallel gehalten werde.⁶⁶

Auch 1604, im 57. Kapitel der *Astronomia nova*, führte er die Librationsbewegung auf eine entsprechende Fähigkeit des Planeten selbst zurück, auf seine eigene *facultas* (*facultas illa aut animalis erit, aut naturalis et magnetica*), wobei er allerdings eine ‚seelische‘ Kraft ausschloss, weil eine solche nicht zu translatorischen Bewegungen ihres Körpers fähig sei.⁶⁷ Seinem Lehrer gegenüber sprach er dagegen noch zurückhaltend von „quasi-magnetisch“: Der Planet verhalte sich hinsichtlich der Librationsbewegung (Tiefenbewegung) ähnlich oder analog einem Magneten, sei aber keineswegs selber ein Magnet, nicht die *res ipsa* (*similitudinem enim volo, non pertinaciter rem ipsam*). – KEPLER hat diese Theorie auch nicht weiter verfolgt; wenige Tage später sollte er vielmehr gerade diese geradlinig zwischen den Polen zweier Planeten- ‚Magnetkörper‘ wechselseitig anziehend wirkenden Magnetkräfte zur Erklärung der ‚Schwere‘ heranziehen.

3.5 Keplers magnetische Schweretheorie

Erst auf eine Anfrage HERWARTS VON HOHENBURG vom 8. März 1605 hin hatte KEPLER, wieder im Anschluss an GILBERT, die Analogie zum Magnetismus auch auf die wechselseitige Anziehung verwandter Körper bezogen und seine Vorstellungen in mehreren Briefen entwickelt, die dann als *Doctrina de gravitate* Eingang in die Einleitung zur *Astronomia nova* fanden, die Mitte des Jahres 1605 verfasst wurde.⁶⁸ Diese ‚Lehre von der Schwere‘ entwickelt William GILBERTS magnetische Ideen zum System Erde/Mond weiter, setzt sie gegen die allgemein gültige aristotelische ‚Physik‘ der Schwere ab und präzisiert sie vor allem numerisch durch die Bestimmung der Größen und Dichten sowie des gemeinsamen Schwerpunktes dieser ‚ähnlichen‘ Körper, an dem sie zusammenträfen, wenn sie frei beweglich wären.

Deshalb streben ‚schwere‘ Dinge (*gravia*) auch nicht zur Erde bzw. zu ihrem Zentrum; vielmehr ziehe die größere Erde durch ihren „immateriellen Ausfluss“ (*effluxus immateriatus*) Schweres an sich heran, wie ein Magnet (*ut Magnes*), der ja auch nur selektiv auf andere Magnete oder Eisen anziehend wirke. Und diesen *effluxus tractorius* führe die bewegte Erde als eigenen Bestandteil ihres Körpers mit sich.⁶⁹ Anfangs hatte KEPLER noch die große Erde den kleinen Stein anziehen lassen, die Bewegung des fallenden Steines also als eine rein passive aufgefasst. Der in den folgenden Wochen ausgearbeiteten Theorie⁷⁰ in der Einleitung der

65 In diesem Zusammenhang wird *animalis* in der Regel Sinn-entstellend mit „animalisch“ (= „tierisch“, Adjektiv zu *animal*) statt „animistisch“ (= „seelisch“, Adjektiv zu *anima*) übersetzt; siehe zu dieser Stelle KEPLER 1930, Bd. 1, S. 222.

66 Siehe oben Anm. 44.

67 KEPLER 1609, Kap. 57; KGW III, S. 361, 18–23.

68 KGW III, S. 25, 18 bis 28, 5. Zur Chronologie des Entstehens der *Astronomia nova* siehe SECK 1970, Sp. 643–647.

69 Brief Nr. 340, 145.

70 Die ausgearbeitete Form findet sich erstmals in Brief Nr. 358 vom 11.10.1605 an David FABRICIUS (Abschnitt 4, Zeilen 37ff.). Hier wird besonders deutlich, wie der in einem Gedankenexperiment mit aristotelischen Vorstellungen eingeführte Begriff der *inertia* der von Natur aus ruhenden Materie (als *privatio*, ‚analog‘ der Finsternis beim Licht), welcher ideale Zustand allerdings nirgends bestehe, die von GILBERT experimentell im Rahmen des Magnetismus nachgewiesene und dann auf die ‚ähnlichen‘ Himmelskörper Mond und Erde übertragene gegenseitige Anziehung, weil sie dem anderen Körper aufgezwungen wird, auch im Sinne des ARISTOTELES zu einer quantitativ bestimmbar Größe macht.

Astronomia nova legte er dann GILBERTS gegenseitige magnetische Anziehung als Analogon zugrunde;⁷¹ und er kann daraufhin berechnen, an welcher Stelle auf der Verbindungslinie zwischen beiden Himmelskörpern diese sich aufgrund ihrer von der Dichte (*moles*) und Größe der Körper abhängigen unterschiedlich großen Anziehungskraft treffen würden, wenn sie frei beweglich wären⁷² – frei beweglich wie ihre nicht festen Teile, etwa das Wasser auf der Erde, sodass durch die gegenseitige ‚Schwere‘ die Gezeiten entstünden. Diese ‚Anziehungskraft‘ wird von ihm bezeichnenderweise entweder ‚Vereinigungskraft‘ (*vis coitionis*) genannt, dann wird auf die Gegenseitigkeit hingewiesen, oder einfach ‚Anziehungskraft‘ (*vis tractoria*), häufig unter Hinzufügung von *magnetica*; sie breite sich entsprechend im *orbis coitionis* bzw. *orbis tractorius magneticus* aus. Die Rechnung führt KEPLER dann trotz der fälschlichen Annahme einer linearen Abnahme auch dieser magnetischen Kräfte auf ein erstaunlich genaues Resultat als Wirkung der gegenseitigen ‚Gravitation‘: Der Treffpunkt würde die Verbindungslinie von Erde und Mond im Verhältnis von $58/59 : 58 \frac{1}{59}$ teilen.

Es war dieses Ergebnis, dass Helmut PAPE (2006) zu der Feststellung veranlasst haben wird: „Die Leistung Keplers können wir daran ermessen, daß er auch bereits eine allgemeine Fassung eines Gesetzes für die Kraft erwägt, die zwischen den Planeten wirksam ist (dann allerdings wieder verwirft).“ KEPLER hat seine Gravitationslehre allerdings nie verworfen, vielmehr immer wieder überprüft; und noch im postum erschienenen *Somnium* führte er neue Betrachtungen über die Dichte des Mondes an, aus denen Korrekturen seiner früheren Ergebnisse folgten.⁷³

In der Himmelsphysik, die KEPLER innerhalb der *Astronomia nova* Stück für Stück entwickelte, ohne die Umwege zu verschweigen, kann er aber gar nicht diese Erkenntnisse verworfen haben. Zum einen sind deren wegweisende Ursprünge bereits im zehn Jahre vorher entstandenen *Mysterium cosmographicum* dargelegt, und ihre Entwicklung lässt sich bis zu den Arbeiten an der *Astronomia nova* 1604 und 1605 in zahlreichen Briefen verfolgen;⁷⁴ zum anderen aber lassen sich diese beiden Theorien gar nicht vereinen. Die ja nachträglich Mitte 1605 nur für die Einleitung entwickelte Gravitationstheorie spielte deshalb auch in seiner gesamten Planetenphysik keinerlei Rolle, und KEPLER ist nie auf die Idee gekommen, Anleihen aus einer von ihnen für die andere zu nehmen; denn ihnen liegt ein jeweils anderer Aspekt der dualistischen Magnetismustheorie GILBERTS zugrunde.

4. Die Grenzen des ‚irdischen‘ Magnetismus zur Darstellung ‚himmlischer‘ Ereignisse

Aber der Teufel steckt im Detail. Nach der anfänglichen Euphorie hinsichtlich der Analogie zum (Gilbertschen) Magnetismus war KEPLER nicht nur immer wieder zu letztlich durch den zu erklärenden Bereich veranlassten Veränderungen und Ergänzungen der Magnetismustheo-

71 KGW III, S. 25, 33f.: „illi lapides ad *similitudinem* duorum Magneticorum corporum coirent“.

72 KGW III, S. 25, 37f.: „Si Luna et Terra non retinerentur vi animali, aut alia aliqua aequipollenti, quaelibet in suo circuitu [...]“

73 KEPLER 1634, Notae 62, 66f., 74–77 und 202; siehe auch ROSEN 1967. Nur hier erwog er übrigens in Nota 202 auch einmal einen zusätzlichen Einfluss der Sonne bei Springfluten, wiewohl die Sonnenkräfte ganz anderer Art sein sollten wie die zwischen Mond und Erde wirkenden. Siehe weiterhin KEPLERS Notae 25f. und 33 zu seiner Übersetzung von ARISTOTELES’ *De caelo* II 13 und 14, wo er auch ein Experiment mit schwimmenden Magneten heranzieht; vgl. insgesamt KRAFFT 1973, S. 87–95.

74 KRAFFT 1973, S. 101–124.

rie als dem erklärenden Bereich (damit die Analogie erhalten bleiben kann) gezwungen gewesen, sondern es stellte sich auch wachsende Skepsis gegenüber einer uneingeschränkten Anwendbarkeit der Analogie zum Magneten ein. Bezogen auf die für die Präzession erforderlichen leichten Abweichungen der Stellung der Erdachse sagt er in der *Astronomia nova* dann auch ausdrücklich: „Es genügt mir, an diesem Beispiel (*exemplum*) vom Magneten gezeigt zu haben, wie sich die Sache im allgemeinen verhalten kann“;⁷⁵ im Einzelnen und Konkreten habe er große Bedenken, da die Ursachen für beide Effekte zwar notwendig körperliche, magnetische Kräfte seien, aber solche mit unterschiedlichen Magnetfibern,⁷⁶ und die passten nicht als gleichzeitige Wirkungen nur eines Körpers zusammen. Die Sonne besitze auch keine anziehende und abstoßende Kraft in Bezug auf die Planeten.⁷⁷ Da diese Kraft aber, wenn sie dem Planeten bzw. seinen Polen zugeschrieben werde, nicht von den weit entfernten Planeten bis zur Sonne reichen könne, verwirft er die Idee wieder.

Das leidige Problem der physikalischen Erklärung des Zustandekommens des Effektes der stellvertretenden Hypothese einschließlich der Präzession blieb also vorerst offen. Erst in der *Epitome* suchte KEPLER erneut nach einem Ausweg und fasste dazu die Einwände dagegen zusammen,⁷⁸ darunter vor allem:

- Wenn mehrere Planeten in Konjunktion stehen, müssten sie als anziehende Magnete gemeinsam die Sonne aus ihrer Lage ziehen können.
- Die *orbes virtutis* der kleinen Planeten können nicht bis zur Sonne reichen, zumal sie dann auf die (näheren) anderen Planeten einwirken müssten, und zwar hier sich wechselseitig potenzierend.

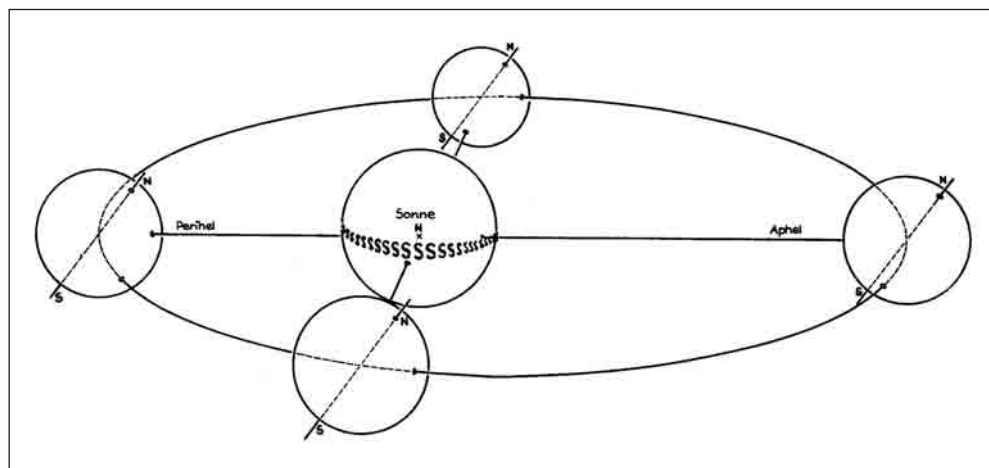


Abb. 1 KEPLERS endgültiges Konstrukt des die Planeten bewegenden Magneten Sonne (Grafik F. KRAFFT)

⁷⁵ KEPLER 1609, Kap. 57, KGW III, S. 355, 31f.

⁷⁶ KGW III, S. 351, 28–30: „In eo [sc. Magnete] manifestissime permixtae sunt duae virtutes, altera directionis ad polum, altera ferri appetens“.

⁷⁷ KGW III, S. 348–355. Siehe dazu auch KRAFFT 1973, S. 122–124.

⁷⁸ KEPLER 1620, KGW VII, S. 300f. und 336f. Siehe dazu auch KRAFFT 1973, S. 124f.; STEPHENSON 1987, S. 141f.

Folglich müsse auch die Tiefenbewegung aller Planeten von der unverhältnismäßig größeren Sonne bewirkt werden. Aus den aktiven Eigenschaften der Planetenpole müssten passive werden; und das könnten sie nur, wenn die Wirkung des Magneten Sonne gegenüber den unterschiedlichen Polen der Planeten einheitlich bleibt. KEPLER löste dieses Problem, indem er die Sonne oder vielmehr ihren Äquator zu einem nach außen einheitlich wirkenden Magneten machte. Dazu legte er den einen Pol des Magneten in das Zentrum der Sonne und fasste die gesamte Oberfläche als den zweiten Pol auf⁷⁹: „*Sol enim non, vt Magnes, una plaga, sed omnibus sui corporis partibus, facultatem hanc activam et energeticam possidet attrahendi vel repellendi vel retinendi planetam. Itaque credibile est, centrum corporis Solaris respondere vni extremitati vel plagae magnetis, superficiem vero totam alteri magnetis plagae.*“ – Eigentlich wäre allerdings nur ihr Äquator, die Ebene der Planetenbahnen, als nach außen wirkender Pol nötig; und so sprach KEPLER im Folgenden auch von der „*circumferentia Solaris*“ als Aktionsfeld der *species corporis Solaris rotati*.

Dieses magnetische Konstrukt hatte allerdings keinerlei Entsprechung zum realen Magnetismus mehr.⁸⁰

KEPLER passte vielmehr das Analogon des Magnetismus wieder den Bedürfnissen innerhalb des eigentlich zu erklärenden Bereichs der Planetenphysik an – und zog zur Rechtfertigung ein uraltes Prinzip hinzu, das er eigentlich mit der Gleichsetzung von irdischem und himmlischem natürlichem Geschehen überwunden hatte: „*In coelo res paulo aliter est comparata.*“⁸¹ – Schon im April 1607 hatte KEPLER einmal HERWART VON HOHENBURG geschrieben,⁸² dass er die ‚Kraft‘, die er wegen der Analogie ‚magnetisch‘ nenne, eigentlich ‚himmlisch‘ nennen müsse („*is virtus, quam intelligentiae et similitudinis causa dico magneticam, debui caelestem dicere*“).

KEPLERS Handhabung der Analogie zwischen Magnet und Himmelsmaschine, die ihn auf rechte Wege und Irrwege, aber auch in dauerhafte Sackgassen lenken sollte, hatte nach anfänglichen Vorbehalten eines nur teilweise vergleichbaren Quasi-Magnetismus zwar rasch zur totalen Identität der in beiden wirkenden Kräfte, zur Isomorphie (*res ipsa*) geführt, musste nun aber im Zusammenhang mit dem ihn fast 25 Jahre beschäftigenden Problem der Verursachung der Tiefenbewegung der Planeten für die Himmelsphysik von einem etwas anderen als dem terrestrischen Magnetismus ausgehen. Damit bewirkte zwar die von ihrer Seele in Rotation versetzte Sonne mittels ihrer beiden körperlichen magnetischen Kräfte sämtliche Bewegungen der Planeten, und KEPLERS Suche nach der „*vis una et simplicissima*“ der ‚Himmelsmaschine‘, nach der einzigen einfachen Kraft in der Sonne, die das gesamte Getriebe bewege wie das Gewicht eine Uhr, schien an ihr Ziel gekommen zu sein. Dieses Ziel benötigte jedoch eine andere, auf der Erde nicht nachvollziehbare, ja dem irdischen widersprechende Art von Magnetismus. Es zeigt aber auch gleichzeitig, dass die Idee einer allgemeinen, wechselseitigen Gravitation (neben seiner *inertia*, die aber vom Ansatz her die Erhaltung der

79 KEPLER 1620, KGW VII, S. 300, 30–36.

80 Ähnliches galt allerdings auch schon für den Magnetismus, den er im 37. Kapitel der *Astronomia nova* für die Bewegungskraft (*vis motrix*) konstruierte, die den Mond um die um die Sonne kreisende Erde führt: Sonne und Mond seien beide ‚Quelle der Bewegung‘ des Mondes, und so habe die *vis motrix* nicht im Zentrum der Erde ihren Platz, sondern in der Verbindungslinie beider als *linea virtuosa*. Von dieser Idee hatte KEPLER schon vor der ‚magnetischen‘ Deutung der Kräfte in Brief Nr. 183 (55–62 und 72–77) vom 08.02.1601 seinem Lehrer MÄSTLIN berichtet; siehe generell KRAFFT 1973, S. 107f. und 121.

81 KGW VII, S. 300, 30.

82 Brief Nr. 424, 161f.

Bewegung noch nicht einschließen konnte) oder eines entsprechenden Kraftbegriffes KEPLER noch nicht in den Sinn gekommen war – zumal die Schwere von ihm gemäß der zeitgenössischen Magnetismustheorie völlig getrennt von diesen Magnetkräften betrachtet wurde. Die *vis una* der Sonne war zwar der Magnetismus, aber ein dualistischer. Der Weg zur Vorstellung einer Allgemeinen Gravitation war jedenfalls noch weit und steinig.⁸³

Zudem haben seine Versuche, sämtliche Abweichungen von der konzentrischen und gleichförmigen Bewegung der Planeten um die Sonne durch eine immer wieder andere Art von dem irdischen vermeintlich analogen Magnetismus und schließlich durch eine ‚himmlischen‘ Art zu erklären, dazu geführt, dass die daraus resultierende Bahnform und die Bewegungsgesetze KEPLERS lange Zeit nicht anerkannt wurden, weil die vorausgesetzten Formen des Magnetismus experimentell nicht nachvollziehbar waren.⁸⁴

Literatur

- Bibliographia Kepleriana*: Bibliographia Kepleriana. Ein Führer durch das gedruckte Schrifttum von Johannes Kepler. Hrsg. von Max CASPAR. München 1936; 2. Auflage, besorgt von Martha LIST. München 1968; Ergänzungsband zur zweiten Auflage, besorgt von Jürgen HAMEL. München 1998
- CASPAR, Max: Johannes Kepler. Stuttgart 1948 (ursprünglich ohne alle Belege); Nachdruck mit den Ergänzungen und Belegen der englischen Ausgabe von 1993: Stuttgart 1996
- CLAVIUS, Christoph: In Sphaeram Ioannis de Sacro Bosco Commentarius. Rom 1570, ²1581, ⁴1602, ⁵1606. Die im Rahmen der Gesamtausgabe der Clavius-Schriften im Mainzer Jesuitenkollegium noch zu Lebzeiten erschienene, von ihm autorisierte Ausgabe (CLAVIUS' 1611) liegt jetzt als Nachdruck vor; siehe CLAVIUS, Christoph: In Sphaeram Ioannis de Sacro Bosco Commentarius. Mit einem Vorwort hrsg. von Eberhard KNOBLOCH. Hildesheim usw. 1999
- FIELD, Judith V.: A Lutheran astrologer: Johannes Kepler. *Archiv for History of Exact Sciences* 31, 189–272 (1984)
- GILBERT, William: De magnete, magneticisque corporibus et de magno magnete Tellure physiologia nova. London 1600
- HÜBNER, Jürgen: Die Theologie Johannes Keplers zwischen Orthodoxie und Naturwissenschaft. (Beiträge zur Historischen Theologie, 50) Tübingen 1975
- IOHANNES DE SACROBOSCO: De sphaera. In: THORNDIKE, Lynn: The Sphere of Sacrobosco and its Commentators. Chicago 1949
- KEPLER, Johannes: Prodomus Dissertationum cosmographicarum, continens Mysterium Cosmographicum. Tübingen 1596
- KEPLER, Johannes: Ad Vitellionem Paralipomena, quibus Astronomiae Pars Optica traditur. Frankfurt (Main) 1604
- KEPLER, Johannes: Astronomia Nova αἰτιολόγητος, seu Physica Coelestis, tradita commentariis de Motibus Stellae Martis. (Heidelberg) 1609
- KEPLER, Johannes: Tertius Interveniens, das ist, Warnung an etliche Theologos, Medicos vnd Philosophos. Frankfurt (Main) 1610a
- KEPLER, Johannes: Dissertatio cum Nuncio Sidereo nuper ad mortales misso a Galileo Galilei. Prag 1610b
- KEPLER, Johannes: Epitome Astronomiae Copernicanae, Lib. I., II., III., de Doctrina Sphaerica. Linz 1618
- KEPLER, Johannes: Harmonices Mundi Libri V. Linz 1619
- KEPLER, Johannes: Epitome Astronomiae Copernicanae, Lib. IV., Physica Coelestis. Linz 1620
- KEPLER, Johannes: Epitome Astronomiae Copernicanae, Lib. V., VI., VII., Doctrina Theorica. Frankfurt (Main) 1621
- KEPLER, Johannes: Prodomus Dissertationum cosmographicarum, continens Mysterium Cosmographicum. [Zweite, erweiterte Ausgabe] Frankfurt (Main) 1621
- KEPLER, Johannes: Somnium seu Opus posthumum de Astronomia Lunari. Diulgatum a M. Ludovico Keplero Filio. Frankfurt (Main) 1634
- KEPLER, Johannes: Das Weltgeheimnis (Mysterium Cosmographicum). Übersetzt und eingeleitet von Max CASPAR. Augsburg 1923 (mehrfach nachgedruckt)

⁸³ Siehe KRAFFT 1999b.

⁸⁴ Siehe KRAFFT 1982.

- KEPLER, Johannes: *Neue Astronomie*. Übersetzt und eingeleitet von Max CASPAR. München, Berlin 1929 (mehrfach nachgedruckt)
- [KEPLER, Johannes]: *Johannes KEPLER in seinen Briefen*. Hrsg. von Max CASPAR und Walther VON DYCK. 2 Bde. München, Berlin 1930
- KEPLER, Johannes: *Gesammelte Werke* [zitiert als KGW]. Hrsg. im Auftrag der Deutschen Forschungsgemeinschaft und der Bayerischen Akademie der Wissenschaften. München 1937ff.
- KEPLER, Johannes: *Astronomia Nova – Neue, ursächlich begründete Astronomie*. Übersetzt von Max CASPAR. Durchgesehen und ergänzt sowie mit Glossar und einer Einleitung versehen von Fritz KRAFFT. Wiesbaden 2005a
- [KEPLER, Johannes]: *Johannes Kepler – Was die Welt im Innersten zusammenhält*. Antworten aus Schriften von Johannes Kepler (*Mysterium cosmographicum, Tertius interveniens, Harmonice mundi*) in deutscher Übersetzung mit einer Einleitung, Erläuterungen und Glossar hrsg. von Fritz KRAFFT. Wiesbaden 2005b
- KGW = KEPLER 1937ff.
- KRAFFT, Fritz: *Der Mathematiker und der Physiker. Bemerkungen zu der angeblichen Platonischen Aufgabe, die Phänomene zu retten*. In: *Alte Probleme – Neue Ansätze. Drei Vorträge von Fritz KRAFFT, Kurt GOLDAMMER und Annemarie WETTLEY, Würzburg 1964*. (Beiträge zur Geschichte der Wissenschaft und Technik 5) S. 5–24. Wiesbaden (jetzt: Stuttgart) 1965
- KRAFFT, Fritz: *Sphaera activitatis – orbis virtutis*. Das Entstehen der Vorstellung von Zentralkräften. *Sudhoffs Archiv* 54, 113–140 (1970)
- KRAFFT, Fritz: *Johannes Keplers Beitrag zur Himmelsphysik*. In: *Internationales Kepler-Symposium Weil der Stadt 1971. Referate und Diskussionen*. Hrsg. von Fritz KRAFFT, Karl MEYER, Bernhard STICKER. (arbor scientiarum, Reihe A, 1) S. 55–139. Hildesheim 1973
- KRAFFT, Fritz: *Die Keplerschen Gesetze im Urteil des 17. Jahrhunderts*. In: HAASE, Rudolf (Hrsg.): *Kepler Symposium. Zu Johannes Keplers 350. Todestag, 25.–28. September 1980 im Rahmen des Internationalen Brucknerfestes '80 Linz*. Bericht. S. 75–98. Linz 1982
- KRAFFT, Fritz: *Johannes Kepler: Astronomy as a way of worship*. *Annali dell'Istituto storico italo-germanico in Trento* 11, 9–17 (1985); deutsch: *Astronomie als Gottesdienst. Die Erneuerung der Astronomie durch Johannes Kepler*. In: HAMANN, Günther, und GRÖSSING, Helmut (Hrsg.): *Der Weg der Naturwissenschaften von Johannes von Gmunden zu Johannes Kepler*. (Veröffentlichungen der Kommission für Geschichte der Mathematik, Naturwissenschaften und Medizin, Bd 46 / Österreichische Akademie der Wissenschaften, Philosophisch-Historische Klasse, Sitzungsberichte 497) S. 182–196. Wien 1988
- KRAFFT, Fritz: *Kepler, Johannes (1571–1630)*. In: *Theologische Realenzyklopädie*. Bd. 18, Lfg. 1/2, S. 97–109. Berlin, New York 1988
- KRAFFT, Fritz: „... denn Gott schafft nichts umsonst!“ *Das Bild der Naturwissenschaft vom Kosmos im historischen Kontext des Spannungsfeldes Gott–Mensch–Natur*. (Natur–Wissenschaft –Theologie. Kontexte in Geschichte und Gegenwart 1) Münster 1999a
- KRAFFT, Fritz: *Zwischen Aristoteles und Isaac Newton: Auf dem Wege zum Konzept einer Allgemeinen Gravitation*. (Monumenta Guericiana 50). *Monumenta Guericiana – Zeitschrift der Otto-von-Guericke-Gesellschaft* 6, 3–20 (1999b)
- KRAFFT, Fritz: *Einleitung. Johannes Kepler – Die neue, ursächlich begründete Astronomie*. In: KEPLER, Johannes: *Astronomia Nova – Neue, ursächlich begründete Astronomie*. Übersetzt von Max CASPAR. Durchgesehen und ergänzt sowie mit Glossar und einer Einleitung versehen von Fritz KRAFFT. S. V–LIX. Wiesbaden 2005a
- KRAFFT, Fritz: *Einleitung. Johannes Keplers Antworten auf die Frage, was die Welt im Innersten zusammenhält*. In: [KEPLER, Johannes]: *Johannes Kepler – Was die Welt im Innersten zusammenhält*. Antworten aus Schriften von Johannes Kepler (*Mysterium cosmographicum, Tertius interveniens, Harmonice mundi*) in deutscher Übersetzung mit einer Einleitung, Erläuterungen und Glossar hrsg. von Fritz KRAFFT. S. V–LXI. Wiesbaden 2005b
- KRAFFT, Fritz: *sphaera sive orbis coelestis*. Von den Grundlagen der Astronomie bis Johannes Kepler. In: DAUBEN, Joseph W., KIRSCHNER, Stefan, KÜHNE, Andreas, KUNITZSCH, Paul, und LORCH Richard P. (Hrsg.): *Mathematics Celestial and Terrestrial – Festschrift für Menso FOLKERTS zum 65. Geburtstag*. *Acta Historica Leopoldina* Nr. 54, 487–504 (2008)
- MÄSTLIN, Michael: *Epitome Astronomiae, qua brevi explicatione omnia, tam ad Sphaericam quam Theoricam eius partem pertinentia, ex ipsius scientiae fontibus deducta, perspicue per quaestiones traduntur*. Heidelberg 1582 (Tübingen 21588, 61610).
- METHUEN, Charlotte: *Mästlin's teaching of Copernicus. The evidence of his university textbook and disputations*. *Isis* 87, 230–247 (1996)
- [NICOLAUS VON KUES]: *Nicolai de Cusa opera omnia iussu et auctoritate Academiae Litterarum Heidelbergensis ad codicum fidem edita*. Leipzig (ab 1945: Hamburg) 1932ff.

- NIKOLAUS VON KUES: Die belehrte Unwissenheit. Buch I. Übersetzt und mit Vorwort und Anmerkungen hrsg. von Paul WILPERT. Lateinisch-deutsch. Zweite, verbesserte Auflage von Hans Gerhard SENGER. Hamburg 1970
- PAPE, Helmut: Vorlesung WS 2006/07, TU Darmstadt: Alltägliche Erfahrung und wissenschaftliche Erklärung. II. Teil: Die Entstehung der Naturwissenschaften und die Veränderung alltäglicher Erfahrung und Verstehen. 6. Vorlesung (21. 11. 2006). In: <[http://www.ifs.tu-darmstadt.de/fileadmin/phil\(Prof_Mitarb/Pape/skript_WS_06_07/6-Vorlesung.rtf](http://www.ifs.tu-darmstadt.de/fileadmin/phil(Prof_Mitarb/Pape/skript_WS_06_07/6-Vorlesung.rtf)> (2008)
- PEURBACH, Georg: Theoricae novae planetarum. 1452. Nürnberg 1482
- PORTA, Giambattista DELLA: Magiae naturalis libri viginti, in quibus Scientiarum Naturalium divitiae, & deliciae demonstrantur. Frankfurt (Main) 1597 (die von KEPLER benutzte Ausgabe)
- REX, Friedemann: Keplers Lehrer Michael Mästlin und sein Lehrbuch der Astronomie (1582). In: BETSCH, Gerhard, und HAMEL, Jürgen (Hrsg.): Zwischen Copernicus und Kepler – M. Michael Maestlinus Mathematicus Goepplingensis 1550–1631. (Acta Historica Astronomiae 17) S. 11–32. Frankfurt (Main) 2002
- ROSEN, Edward: Kepler's *Somnium*: The Dream, or Posthumous Work on Lunar Astronomy. Translated with a Commentary. Madison, London 1967
- SECK, Friedrich: Johannes Kepler und der Buchdruck. Zur äußeren Entstehungsgeschichte seiner Werke. Archiv für Geschichte des Buchwesens 9, Sp. 610–726 (1970)
- STEPHENSON, Bruce: Kepler's Physical Astronomy. New York usw. 1987

Prof. Dr. Fritz KRAFFT
Schützenstraße 18
35096 Weimar (Lahn)
Bundesrepublik Deutschland
Tel.: +49 6421 77592
Fax: +49 6421 794725
E-Mail: krafft@staff.uni-marburg.de

Christian Gottfried Nees von Esenbeck

Amtliche Korrespondenz mit Karl Sigmund Freiherr von Altenstein

Herausgegeben von Irmgard MÜLLER (Bochum)

Die Korrespondenz der Jahre 1827 – 1832

Bearbeitet von Uta MONECKE und Bastian RÖTHER (Halle/Saale)

Acta Historica Leopoldina Nr. 52

(2008, 428 Seiten, 4 Abbildungen, 19,95 Euro, ISBN 978-3-8047-2522-5)

Der Schriftwechsel zwischen Christian Gottfried NEES VON ESENBECK, dem XI. Präsidenten der Kaiserlich Leopoldinisch-Carolinischen Akademie der Naturforscher, und dem ersten preußischen Kultusminister Karl Sigmund Freiherr VON ALTENSTEIN reicht von 1817 bis zum Todesjahr des Ministers 1840 und umfasst weit mehr als 600 Schreiben. ALTENSTEIN war an verwaltungstechnischen und philosophischen, aber auch an naturwissenschaftlichen Fragestellungen interessiert und bezeichnete die Botanik als seine „Lieblingswissenschaft“.

Die Schwerpunkte im Teilband 3 liegen auf der Etablierung der Botanik als Lehrfach an den Universitäten und der Förderung des naturwissenschaftlichen Unterrichts an Gymnasien und Bürgerschulen. Diese Bemühungen stehen in engem Zusammenhang mit dem von NEES VON ESENBECK geleiteten *Seminar für die gesamten Naturwissenschaften* und dem Auf- und Ausbau der Botanischen Gärten in Poppelsdorf bei Bonn und in Breslau. Somit wird diese Korrespondenz zu einer wichtigen Quelle für die Geschichte der Botanik und der Naturwissenschaften sowie der Bildungsgeschichte in der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts. Des Weiteren ist aus akademiegeschichtlicher Perspektive sowohl die weitere Zusicherung staatlicher Subventionierung zur Herausgabe der Akademiezeitschrift als auch die Übernahme des Protektorats durch den preußischen König FRIEDRICH WILHELM III. (1827) von besonderer Bedeutung.

Wie ermittelt man die Zerstörungskraft einer Kanone? Eine Analogiebetrachtung bei Niccolò Tartaglia

Andreas KLEINERT ML, Halle (Saale)

Mit 5 Abbildungen

Zusammenfassung

Niccolò TARTAGLIA behauptet in seiner Schrift *Quesiti et inventioni diverse* von 1546, beim Beschuss eines auf einem Hügel gelegenen Ziels sei die Zerstörungskraft einer Kanone größer, wenn sie unterhalb des Zieles aufgestellt sei, und geringer, wenn der Schuss in derselben Höhe abgefeuert werde, auf der sich das Ziel befinde. Zum Beweis dieser offensichtlich falschen Aussage bedient sich TARTAGLIA einer Analogie zwischen Dynamik und Statik. Die Kraft, die einen an einem geneigten Hebelarm befestigten Körper im Gleichgewicht hält, sei geringer als die entsprechende Kraft bei einem waagerechten Hebelarm; folglich sei das Gewicht des Körpers an dem geneigten Hebelarm geringer. Ebenso sei eine Kanonenkugel, die sich auf einer geneigten Bahn aufwärts bewegt, leichter als eine waagrecht fliegende Kugel. Wegen ihres geringeren Gewichts könne die aufwärts fliegende Kugel länger geradeaus fliegen und habe deswegen auch eine größere Zerstörungskraft.

Abstract

In his treatise *Quesiti et inventioni diverse* of 1546, Niccolò TARTAGLIA claims that the destructive power of a cannon-ball will increase with the angle of elevation of the gun. Consequently bombing a castle situated on the top of a hill would be more efficient when the gun is located below its target, compared to a position on the top of another hill of the same height. TARTAGLIA'S reasoning is based on a false analogy between dynamics and statics. He identifies a body that is fixed on an inclined lever arm with a projectile moving along an inclined path. He argues that just as the torque of the body on the lever depends on the lever's angle, so the weight of the cannon-ball, during the first part of the trajectory, depends on the angle of inclination of the gun tube. The lesser the weight of the projectile, the longer the rectilinear part of its trajectory, which is an index for its destructive power. Hence, according to TARTAGLIA, firing from below will be more efficacious than positioning the gun at the height of the target.

Die 1546 erschienenen *Quesiti et inventioni diverse*¹ des italienischen Mathematikers Niccolò TARTAGLIA (ca. 1500–1557) enthalten ein Gespräch des Verfassers mit dem Herzog von Urbino Francesco Maria DELLA ROVERE (1490–1538), einem Feldherrn in venezianischen Diensten. Darin bittet der Herzog seinen Gesprächspartner um Rat bei der Lösung des folgenden Problems: Eine auf einer Anhöhe gebaute Festung soll beschossen werden, und der Schütze hat die Möglichkeit, seine Kanone entweder auf einem benachbarten Hügel aufzu-

1 Die erste Ausgabe erschien 1546 in Venedig. Hier wird nach der zweiten Auflage von 1554 zitiert. Die wichtigsten Publikationen zu TARTAGLIAS Ballistik sind KOYRÉ 1960 und AREND 1998, sowie die Kommentare von François RIEFFEL (1790–?) in TARTAGLIA 1845. Ich danke Werner KÜMMEL (*1936) für seine Hilfe bei der Beschaffung von Kopien aus diesem Buch, das in Deutschland nur in der Stadtbibliothek Mainz vorhanden ist.

stellen, der genau so hoch ist wie der Hügel, auf dem die Festung steht, oder aber am Fuß des Hügel. Wo soll er die Kanone in Stellung bringen, damit das Geschoss, wenn es die Festung trifft, die größere Zerstörungskraft besitzt? (Abb. 1)

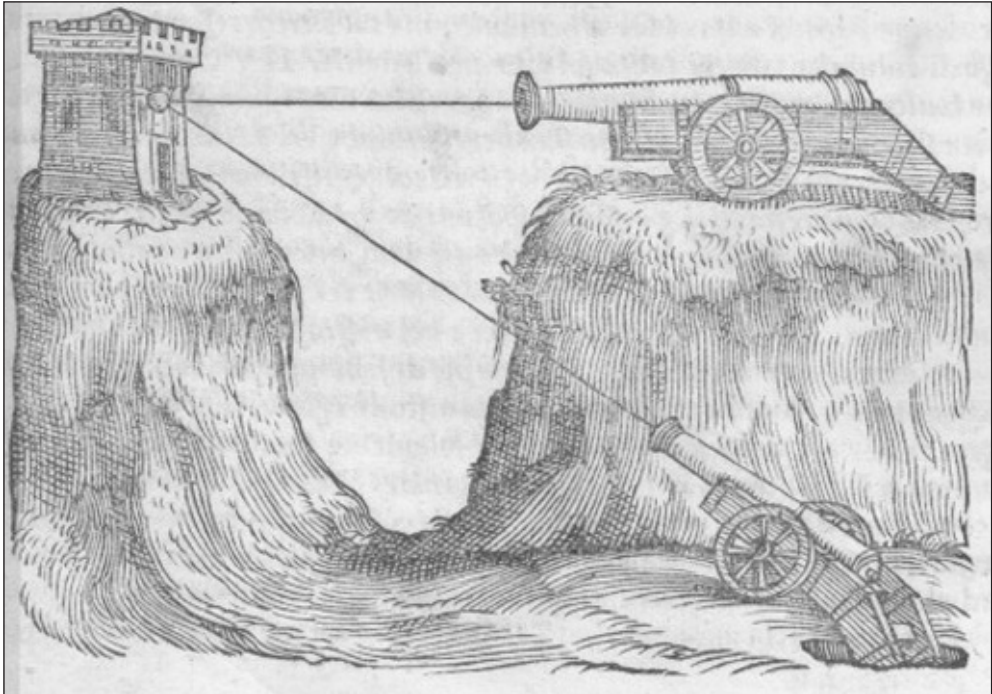


Abb. 1 Das Problem des Feldherrn DELLA ROVERE. Aus TARTAGLIA 1554, S. 7v

Der Mathematiker TARTAGLIA antwortet zunächst etwas zurückhaltend, das komme ganz auf die Entfernungen und auf die Feuerkraft der Kanone an; der Herzog möge ihm doch bitte ein konkretes Beispiel geben. Darauf erwidert der Herzog, man solle annehmen, die beiden Hügel seien jeweils 60 Schritt hoch und 100 Schritt voneinander entfernt, und die Kanone sei so stark, dass sie das Gebäude trifft, wenn man es direkt anvisiert. Wo soll die Kanone stehen?

„Herzog: ‚Jetzt frage ich Sie, was denken Sie, an welcher Stelle wird das Geschütz die größere Wirkung haben und stärker in die Festung einschlagen – wenn es oben auf dem Hügel steht, oder an dessen Fuß?‘

TARTAGLIA: ‚Es gibt keinen Zweifel, dass ein Geschütz, das unten, also am Fuß des Hügel steht, eine größere Wirkung haben und stärker in die Festung einschlagen wird als ein Geschütz, das oben auf dem Hügel steht.‘“²

2 TARTAGLIA 1554, S. 7v–8r. Da es keine moderne deutsche Übersetzung der Werke von TARTAGLIA gibt, gebe ich die Zitate im Interesse einer besseren Lesbarkeit in freier und zum Teil leicht gekürzter eigener Übersetzung wieder. Von den *Questii* gibt es eine englische (TARTAGLIA 1588) und eine französische Übersetzung (TARTAGLIA 1845); Auszüge aus der *Nova scientia* in englischer Übersetzung sind in DRAKE und DRABKIN 1969 enthalten. Die

Über diese Antwort des Theoretikers ist der Herzog als Praktiker der Kriegskunst hochgradig verblüfft und erwidert:

„Ich halte genau das Gegenteil für richtig, denn diejenigen, die vom Gipfel des Hügels aus schießen, sind viel näher an den Mauern der Festung als diejenigen, die vom Fuß des Hügels aus schießen, und je näher am Geschütz ein Ziel ist, das man beschießt, um so größer ist aus natürlichen Ursachen die dort auftretende Wirkung des Geschosses.“³

Wie kommt TARTAGLIA darauf, dass der Schütze, entgegen dem gesunden Menschenverstand des Praktikers, seine Kanone besser unten und damit in größerer Entfernung vom Ziel aufstellen soll? Ein und dasselbe Geschütz, so seine Argumentation, könne bei geneigter Ausrichtung über eine längere Strecke hinweg geradeaus schießen als bei waagerechter Ausrichtung, und je tiefer das Geschütz aufgestellt sei, um so länger sei die gerade Anfangsstrecke der Bahn. Als auch das dem Herzog nicht einleuchtet, holt TARTAGLIA noch weiter aus und erklärt, das alles habe er schon im letzten Satz des zweiten Buches seiner *Nova Scientia* (TARTAGLIA 1550) bewiesen.

Er verweist damit auf ein früheres Werk, nämlich die erstmals 1537 erschienene *Nova Scientia* (Abb. 2), der wir uns jetzt zuwenden müssen. Wie die *Quesiti* enthält auch die *Nova Scientia* Ausführungen zur Ballistik, in denen vor allem Überlegungen über die Gestalt der Geschossbahn angestellt werden. TARTAGLIA erklärt dort einerseits, dass die Geschossbahn streng genommen keine geraden Strecken aufweist, sondern durchgehend gekrümmt ist.

Dieser Sachverhalt wird auch auf dem Titelblatt dargestellt (Abb. 2), auf dem zwei unterschiedlich geneigte Kanonen die *Neue Wissenschaft* darstellen, die den klassischen Disziplinen des antiken und mittelalterlichen Bildungskanon hinzugefügt wird. In scheinbarem Gegensatz dazu argumentiert er im weiteren Text jedoch nur noch mit geometrischen Modellen einer aus geraden und kreisförmigen Teilen zusammengesetzten Geschossbahn (Abb. 3).

Bei diesen geometrischen Modellen ist in unserem Zusammenhang vor allem das erste, als gerade Linie gezeichnete Stück von Interesse. TARTAGLIA sagt zwar ausdrücklich, dass streng genommen kein Teil der Geschossbahn vollkommen geradlinig sei, da die Schwerkraft den Körper beständig zum Weltmittelpunkt ziehe. Dann fügt er jedoch hinzu, die Krümmung des ersten Abschnitts der Bahn sei so gering, dass ein Beobachter sie kaum bemerken werde; diesen Teil der Bahn bezeichnet er dementsprechend als *parte insensibilmente curva* (unmerklich gekrümmten Abschnitt) und tut im folgenden so, als lasse er sich wie eine gerade Linie behandeln.⁴ Das erleichtert ihm nicht nur die Beschreibung der Bahn mit den Figuren der Euklidischen Geometrie, sondern hat auch physikalische Konsequenzen. Der erste, geradlinig dargestellte Teil der Geschossbahn soll nämlich ein reiner *motus violentus* im Sinne der aristotelischen Bewegungslehre sein, d. h. eine gewaltsame Bewegung, die im Laufe der Zeit durch das Medium abgebremst wird. Eine Überlagerung von gewaltsamer Bewegung und natürlicher Fallbewegung lehnt TARTAGLIA ausdrücklich ab.⁵

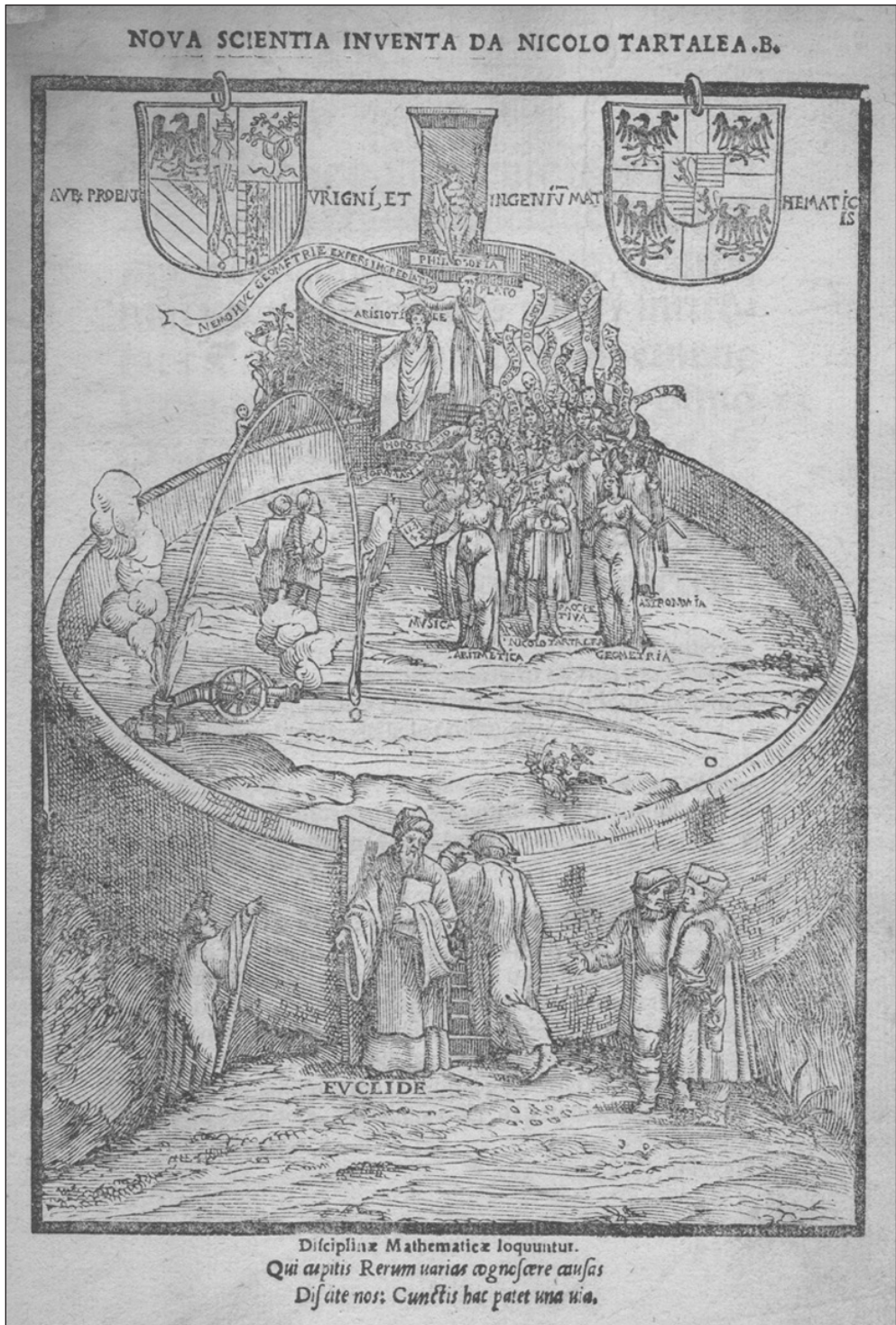
Es folgen Betrachtungen über den ersten, „unmerklich gekrümmten“ und von TARTAGLIA als geradlinig angesehenen Bahnabschnitt (AB in Abb. 3). Dessen Länge sei vom Neigungs-

Originaltexte der *Nova Scientia* und der *Quesiti* sind leicht zugänglich, da beide Werke als Faksimile nachgedruckt worden sind. Eine digitalisierte Edition der *Quesiti* findet man in der Datenbank „The Archimedes Project“ (<http://archimedes.mpiwg-berlin.mpg.de>).

3 TARTAGLIA 1554, S. 8r.

4 TARTAGLIA 1550, S. 11r.

5 TARTAGLIA 1550, S. 7r.



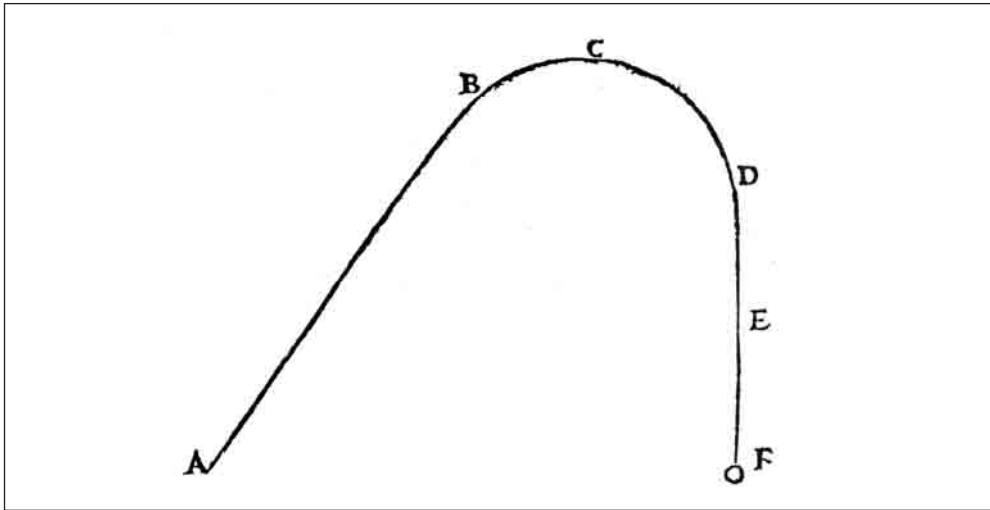


Abb. 3 Die Geschossbahn. Aus: TARTAGLIA 1550, S. 7v

winkel des Geschützes abhängig, und wenn man unter sonst gleichen Bedingungen ein Geschoss einmal waagrecht und einmal unter einem Neigungswinkel von 45° abschießt, dann sei das gerade Stück bei der um 45° geneigten Kanone viermal so lang wie bei waagrechtem Abschuss.⁶ Illustriert wird das in Abb. 4: Die Strecke AH ist viermal so lang wie die Strecke AE (A ist der Standort des Geschützes).

Wir kehren jetzt zurück zu den *Quesiti* von 1746. Hier konstruiert TARTAGLIA im Gespräch mit dem Herzog einen Zusammenhang zwischen der Länge des ersten, d. h. des „unmerklich gekrümmten“ und im Folgenden als geradlinig angesehenen Abschnitts der Geschossbahn (AB in Abb. 3) und der Wirkung des Geschosses beim Auftreffen auf das anvisierte Ziel, d. h. ihrer Zerstörungskraft. Für jeden Neigungswinkel gilt: Je länger diese Strecke ist, umso mehr Zerstörungskraft (*effetto*) hat die Kugel, wenn sie das Geschütz verlässt. Im Laufe der Bewegung wird dieser *effetto* infolge des Luftwiderstands immer geringer; am geringsten ist er dort, wo die Kugel die geringste Geschwindigkeit hat, nämlich im Punkt D, d. h. beim Übergang in die beschleunigte Fallbewegung.

Und jetzt kommt TARTAGLIAS entscheidendes Argument: Wenn die Kugel während des ersten, praktisch geradlinigen Abschnitts ihrer Bewegung auf ein Hindernis auftrifft, dann ist die Länge der restlichen geradlinigen Strecke, die sie ohne das Hindernis zurückgelegt hätte, ein Maß für ihre Zerstörungskraft in diesem Punkt.

Auf der Grundlage dieser Voraussetzungen löst TARTAGLIA jetzt das Problem des Herzogs. Er nimmt an, dass seine Kanone mit einem 20 Pfund schweren Geschoss geladen ist, das bei waagrechtem Abschuss 200 Schritt geradeaus fliegen würde. Wenn die Kanone auf dem Hügel steht, trifft sie nach 100 Schritt auf ihr Ziel, hat also eine Zerstörungskraft, die

⁶ TARTAGLIA 1550, S. 7r.

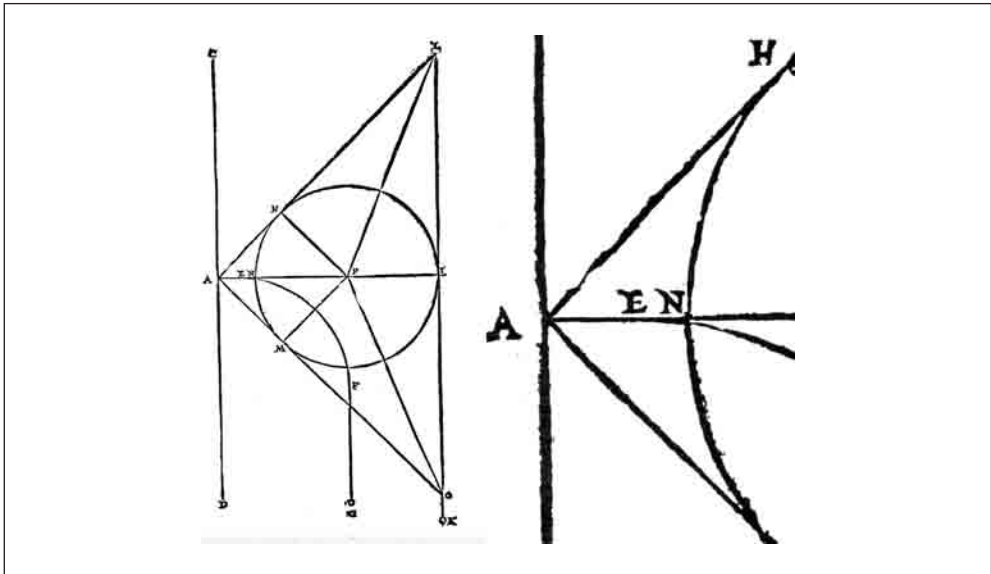


Abb. 4 Berechnung des geradlinigen Teils der Geschossbahn. Aus: TARTAGLIA 1550, S. 19r; links die gesamte Abb., rechts Ausschnitt

einer Strecke von weiteren 100 Schritt entspricht, die sie noch geradeaus fliegen würde, wenn es das Hindernis nicht gäbe.

Wenn die Kanone am Fuß des Hügels steht, wäre die gerade Strecke bei einem Neigungswinkel von 45° viermal so lang wie im ersten Fall, d.h. 800 Schritt. Die Entfernung bis zum Ziel beträgt dann ca. 116 Schritt, d.h. ohne das Hindernis würde die Kugel noch 684 Schritt weiter geradeaus fliegen. Das ist erheblich mehr als im ersten Fall, wo sie nur 100 Schritt in gerader Linie weiterfliegen würde, und entsprechend größer ist ihre Zerstörungskraft.

Natürlich weiß TARTAGLIA, dass in seinem Beispiel der Neigungswinkel der Kanone kleiner als 45° ist, aber er ist der Meinung, dass er das vernachlässigen kann. Seine Winkeleinteilung ist ohnehin ziemlich grob; er teilt den rechten Winkel in 12 Einheiten (*ponti*) ein und schreibt, wenn der Winkel statt 6 nur 5 *ponti* beträgt, mache das keinen großen Unterschied (der tatsächliche Wert liegt irgendwo zwischen 4 und 5 *ponti*).

Jetzt sind noch zwei Fragen offen, und eine davon hat mit dem Thema Analogien zu tun:

- (1.) Woher kommt beim Vergleich der beiden Neigungswinkel von 0° und 45° für die Länge des geraden Abschnitts der Faktor 4?
- (2.) Warum hängt die Länge des geraden Bahnabschnitts – und damit die Zerstörungskraft – vom Neigungswinkel ab?

Auf die erste Frage gibt TARTAGLIA keine eindeutige Antwort; aus dem Kontext wird jedoch deutlich, dass es sich hier um einen reinen Erfahrungswert handelt. AREND vermutet, dass diese Angabe aus den im Vorwort zur *Nova Scientia* erwähnten Reichweitemessungen hervorgegangen ist, die ein mit TARTAGLIA befreundeter Artillerist in Verona angestellt hatte.⁷ Dabei,

⁷ AREND 1998, S. 191–194.

deren geneigten Stellung, d.h. einer, die von der Waagerechten abweicht (aus den oben angeführten Gründen). Bei einer solchen [waagerechten] Anordnung bewegt sich die Kugel mit größerer Schwierigkeit, und [ihre Bahn] beginnt viel eher, sich nach unten, d.h. gegen die Erde, zu neigen, und die Neigung erfolgt in höherem Maße als bei jeder anderen Neigung des Geschützes, [...] und daher werden die Wirkungen der Schüsse bei einer solchen Ausrichtung weniger heftig, oder weniger wirksam sein, als bei jeder anderen Neigung.“⁹

TARTAGLIA setzt also das Gewicht einer sich frei bewegenden Kugel gleich mit dem Drehmoment einer Kugel, die an einem Hebelarm befestigt ist. Obwohl diese Argumentation zu Folgerungen führt, die für den Praktiker wenig hilfreich waren, lässt TARTAGLIA den Herzog das Gespräch mit den Worten beenden: „Sie haben dieses Problem recht gut gelöst.“¹⁰

Die Passagen aus TARTAGLIAS Werken zur Ballistik sind nicht nur ein lehrreiches Beispiel dafür, welche begrifflichen Schwierigkeiten auf dem Weg von der mittelalterlichen zur neuzeitlichen Dynamik überwunden werden mussten, sondern sie zeigen auch, wie Analogien in die Irre führen können. Auch HENNINGER-VOSS versteht TARTAGLIAS Vorgehen als Analogie und spricht von „analogy of projectile motion to motion around the center of a balance“ bzw. „analogy between free weights and weights on a balance“.¹¹

Versucht man, die hier vorgestellte Fallstudie mit der von Klaus HENTSCHEL (*1961) vorgeschlagenen Klassifizierung von Analogien zu verbinden, so ergibt sich zunächst, dass es sich nicht um eine physische, sondern um eine formale Analogie handelt: Dynamik und Statik sind so unterschiedlich wie Schallwellen und Lichtwellen.¹² Während sich jedoch beide Formen von Wellentypen mit demselben mathematischen Formalismus beschreiben lassen, ist das bei TARTAGLIAS Analogie nicht der Fall. Die Relationen des Basisbereichs (Hebel) lassen sich trotz gewisser formaler Ähnlichkeiten nicht auf den Zielbereich (Geschossbahn) übertragen. Folglich haben wir es nicht mit einer tiefen, sondern mit einer extrem flachen Analogie zu tun. Diese Erkenntnis konnte allerdings erst aus der Praxis gewonnen werden.

Alexandre KOYRÉ (1892–1964) hat am Beispiel von TARTAGLIAS Ballistik zu Recht darauf hingewiesen, dass auch eine missglückte Analogie ein „Vehikel des Neuen in den Wissenschaften“ ist: « La possession d’une théorie même fausse constitue un progrès énorme par rapport à l’état préthorique. »¹³ Und ebenso berechtigt ist seine Warnung an die Nachgeborenen, sie sollten nicht mit Hochmut über TARTAGLIAS aus späterer Sicht absurden Überlegungen spotten: « Ne nous moquons pas de ces raisonnements absurdes : appliquer les mathématiques à la science du mouvement est une chose très difficile. »¹⁴

9 TARTAGLIA 1554, S. 9v.

10 TARTAGLIA 1554, S. 10v.

11 HENNINGER-VOSS 2002, S. 394–395.

12 HENTSCHEL 2007, S. 275.

13 KOYRÉ 1960, S. 93.

14 KOYRÉ 1960, S. 93.

Literatur

- AREND, Gerhard: Die Mechanik des Niccolò Tartaglia im Kontext der zeitgenössischen Erkenntnis- und Wissenschaftstheorie. München 1998
- DRAKE, Stillman, and DRABKIN, Israel Edward (Eds.): *Mechanics in Sixteenth-Century Italy: Selections from Tartaglia, Benedetti, Guido Ubaldo and Galileo*. Translated and annotated by Stillman DRAKE and Israel Edward DRABKIN. Madison 1969
- HENNINGER-VOSS, Mary J.: How the „new science“ of cannons shook up the Aristotelian cosmos. *Journal of the History of Ideas* 63, 371–397 (2002)
- HENTSCHEL, Klaus: Zur Bedeutung von Analogien in den Naturwissenschaften. *Scientia Poetica* 11, 241–275 (2007)
- KOYRÉ, Alexandre: La dynamique de Nicolo Tartaglia. In: *La science au seizième siècle*. Colloque international de Royaumont. 1 – 4 juillet 1957; pp. 93–116. Paris 1960
- TARTAGLIA, Niccolò: *La nova scientia*. Venetia 1550 [Photomechanischer Nachdruck. Sala Bolognese: Arnaldo Forni, 1984]
- TARTAGLIA, Niccolò: *Quesiti et inventioni diverse*. Venetia 1554 [Photomechanischer Nachdruck mit einer Einleitung von Arnaldo MASOTTI. Brescia: Astolfi 1959 (Commentari dell' Ateneo di Brescia, Supplemento 1959)]
- TARTAGLIA, Niccolò: *Three Bookes of Colloquies Concerning the Arte of Shooting* [...] Translated into English by Cyprian Lucar. London 1588
- TARTAGLIA, Niccolò: *La balistique de Nicolas Tartaglia*. Traduit de l'italien, avec quelques annotations, par [Francois] Rieffel. Paris 1845

Prof. Dr. Andreas KLEINERT
Richard-Wagner-Straße 25
06114 Halle (Saale)
Bundesrepublik Deutschland
Tel.: +49 345 5528642
Fax: +49 345 5527126
E-Mail: kleinert@physik.uni-halle.de

Christian Gottfried Nees von Esenbeck

Amtliche Korrespondenz mit Karl Sigmund Freiherr von Altenstein

Herausgegeben von Irmgard MÜLLER (Bochum)

Die Korrespondenz der Jahre 1833 – 1840

Bearbeitet von Uta MONECKE (Halle/Saale)

Acta Historica Leopoldina Nr. 53

(2009, 332 Seiten, 3 Abbildungen, 20,95 Euro, ISBN 978-3-8047-2690-1)

Der Schriftwechsel zwischen Christian Gottfried NEES VON ESENBECK, dem XI. Präsidenten der Kaiserlich Leopoldinisch-Carolinischen Akademie der Naturforscher, und dem ersten preußischen Kultusminister Karl Sigmund Freiherr VON ALTENSTEIN reicht von 1817 bis zum Todesjahr des Ministers 1840 und umfasst weit mehr als 600 Schreiben. ALTENSTEIN war an verwaltungstechnischen und philosophischen, aber auch an naturwissenschaftlichen Fragestellungen interessiert und bezeichnete die Botanik als seine „Lieblingswissenschaft“.

Zentraler Stellenwert im Teilband 4 kommt der Herausgabe der *Nova Acta* zu, die zum überwiegenden Teil auf den Unterstützungszahlungen des preußischen Staats beruhte. Inhaltliche Aspekte der Akademiezeitschrift und redaktionelle Fragen im Vorfeld der Drucklegung einzelner Bände kommen ebenso zum Tragen wie eine detaillierte Rechenschaft über die akademische Haushaltung mit dem Nachweis über die Verwendung staatlicher Gelder.

Im Botanischen Garten der Breslauer Universität zeigen die Anstrengungen NEES VON ESENBECKS um dessen weitere Ausgestaltung und verbesserte Arbeitsbedingungen durch die Ausstattung mit wesentlichen Arbeitsmitteln wie Mikroskop und Bibliothek ihren Erfolg. Beachtenswert ist auch in den letzten Jahren der Korrespondenz das Engagement des Hochschullehrers für die Etablierung des naturwissenschaftlichen Unterrichts an Gymnasien und die Ausarbeitung von Prüfungsvorschriften für entsprechende Lehramtskandidaten.

Mechanistische Analogien bei Robert Boyle, Daniel Bernoulli u. a. frühen Vertretern der kinetischen Theorie der Wärme

Peter FRIEBE, Neckarwestheim

Mit 7 Abbildungen

Zusammenfassung

Im vorliegenden Aufsatz werden die in den Anfängen der Erforschung der Struktur der Materie, insbesondere der Struktur der Gase, verwendeten Analogien kritisch betrachtet. Es wird besonders auf die grundlegenden Analogien von Robert BOYLE 1660 sowie auf die 1738 von Daniel BERNOULLI erstmals postulierte Billardkugelanalogie eingegangen. Dabei wird im Wesentlichen die Theorie von Dedre GENTNER zugrundegelegt.

Abstract

Analogies used by early researchers of the structure of matter, particularly of gases, are here critically assessed. Robert BOYLE's fundamental analogies from 1660 as well as Daniel BERNOULLI's billiard-ball analogy first postulated in 1738 are specifically addressed. Dedre GENTNER's theory is essentially used as a basis.

1. Einleitung

Analogien waren zu allen Zeiten der Entwicklung der Wissenschaft und Technik ein wichtiges Element der Wissenserweiterung und eine Quelle neuer Erkenntnisse. Der dänische Philosoph Harald HØFFDING zeigte in seiner frühen Monographie zum Thema auf, dass die Analogie ihre „größte Bedeutung [...] gewiß dadurch [gewinnt], daß sie spähend, vorgreifend und anspornend wirkt“.¹ Ob eine Analogie im Einzelfall besteht oder richtig ist, ist dabei irrelevant, denn „Analogie kann der faktische Weg zu neuer Erkenntnis sein, selbst wenn die Gültigkeit der Analogie nachher verworfen werden muß“.² Der Medizinhistoriker Werner KÜMMEL behauptete sogar, dass die „Wissenschaften allesamt Analogien schon immer [lieben] und lieben sie auch heute noch – aus dem elementaren Grund, weil wissenschaftliches Denken ohne Vergleichen, ohne Unterscheiden von Ähnlichkeit und Unähnlichkeit, ohne den Schluss von Bekanntem auf ein als ähnlich und in bestimmter Hinsicht als vergleichbar angenommenes Unbekanntes kaum auskommt.“³ Auch wenn die moderne Wissenschaft sich

1 HØFFDING 1924/1967, S. 3. Als Professor an der Universität von Kopenhagen war HØFFDING übrigens auch der Lehrer des dänischen Atomphysikers Niels BOHR.

2 HØFFDING 1924/1967, S. 3.

3 KÜMMEL 1989.

darüber hinweggetäuscht habe, sei festzustellen, dass „sie sich noch in erheblichem Maße von Analogien leiten läßt, ja auf sie gar nicht verzichten kann“.⁴

In vorliegender Arbeit werden die in den Anfängen der Erforschung der Struktur der Materie, insbesondere der Struktur der Gase, sowie einige der dabei verwendeten Analogien kritisch betrachtet. Zur Beurteilung der Analogien wird im Wesentlichen die Theorie von Dedre GENTNER⁵ zugrunde gelegt. Insbesondere wird auf die grundlegenden Analogien in der Veröffentlichung von Robert BOYLE 1660 sowie auf die 1738 von Daniel BERNOULLI erstmals postulierte Billardkugelanalogie eingegangen. Diese Billardkugel-Analogie der kinetischen Theorie der Gase erscheint zunächst als eine von vielen Analogien in der Wissenschaft. Sie unterstellt, dass Gase sich verhalten wie frei im Raum bewegliche Billardkugeln. Es stellt sich die Frage ob, und inwiefern diese Analogie eine „gute“ Analogie ist, d. h. eine, die das Wissen über die Gase und deren Verhalten verbessert hat. Außerdem kann man die Frage stellen, inwiefern sich die mechanistische Ausrichtung dieser und einiger weiterer hier ebenfalls diskutierter Analogien (etwa zur Erklärung von Gasdruck in Analogie zum Gegendruck eines komprimierten Wollbündels) auf andere Bereiche der Wissenschaft ausgewirkt haben.

2. Beginn der Geschichte der modernen Theorie der Gase

Die Vorstellung, dass die Materie aus kleinsten Partikeln besteht, geht bis auf die Atomisten der Antike zurück. Der Atomismus war zu dieser Zeit lediglich eine theoretische Spekulation. Die kleinsten Teile der Materie konnte man nicht sehen. Die Eigenschaften der Materie in der sichtbaren, makroskopischen Welt leitete man mithilfe diverser animistischer Theorien oder spekulativer Naturphilosophie von den postulierten Eigenschaften der Materieteilchen ab.⁶ Die allgemein anerkannte Theorie über die Bestandteile der Materie (Feuer, Luft, Wasser, Erde) ließ seit der Zeit des ARISTOTELES kein Vakuum zu, was mit der Unterstellung eines *horror vacui* in der Natur begründet wurde. Jene Hypothese des *horror vacui* besagte, dass die Natur vor der Leere zurückschrecke, weswegen etwaige (z. B. durch schnelle Bewegung etwa von Zylindern in Kolben entstehende) leere Räume bestrebt seien, Gase oder Flüssigkeiten anzusaugen und sich dabei füllen. Die Ideen von TORRICELLI, PASCAL und schließlich BOYLE führen erst im 17. Jahrhundert zum Beginn der Geschichte der modernen Theorie der Gase, weil zunehmende Luftpumpen- und Vakuumexperimente zu einer Deutung der Komprimierbarkeit der Luft zwangen. BOYLE, MARIOTTE, GUERICKE u. a. Protagonisten wendeten dabei mehrere Analogien zwischen der mikroskopischen Welt der kleinsten, für den Menschen mit dem bloßen Auge unsichtbaren Luftteilchen und der makroskopischen, mechanischen Welt an. Aufgrund ihrer Experimente und theoretischer Überlegungen postulierten sie, dass wir uns auf dem Grund eines Ozeans aus Luft befinden und dass, genauso wie das Wasser des Meeres einen Druck auf die in der Tiefe liegenden Wasserschichten ausübt, auch die Luft der Atmosphäre einen Druck auf uns und alles was uns umgibt, ausübt. Dieser Luftdruck sollte für viele Phänomene verantwortlich sein, die man in der Atmosphäre und bei den durchgeführten Experimenten beobachtete und die von den Aristotelikern bisher dem *horror vacui* zugeschrieben worden waren.⁷

4 Ebenda, S. 1.

5 GENTNER 1983, S. 155–170.

6 Vgl. MANSFELD 1987, S. 556–672, bzw. CAPELLE 1968, Kap. 9 und 12 (nur deutsch); STÜCKELBERGER 1984.

7 Siehe z. B. GRANT 1981 sowie THORP 1990.

3. Robert Boyle

Der wohlhabende englische Adelige Robert BOYLE (1626–1691) war Gründungsmitglied der *Royal Society* in London. Sein Reichtum stammte von seinen Ländereien in Irland. BOYLE leistete einen wesentlichen Beitrag zur Entwicklung der Pneumatik.⁸ Er konnte es sich leisten, teure Geräte bauen zu lassen⁹ und zahlreiche Gehilfen zur Durchführung von Experimenten zu bezahlen.¹⁰ BOYLE traf sich regelmäßig in Oxford mit einer Gruppe von Forschern, unter ihnen Robert HOOKE (1635–1703), der für ihn eine der größten und besten Vakuumpumpen der damaligen Zeit baute.¹¹ Mit dieser Maschine führte BOYLE Versuche durch, die er in seinem Buch *New Experiments Physico-Mechanical, touching the Spring of the Air, and its Effects* beschrieb, das er im Gründungsjahr der *Royal Society* 1660 veröffentlichte.¹² An den Experimenten waren auch andere Gründungsmitglieder der *Royal Society* wie Christopher WREN (1632–1723), Architekt der Londoner St.-Pauls-Kathedrale, und John WALLIS (1616–1703), Mathematiker und Geistlicher, beteiligt. WALLIS, WREN und Christiaan HUYGENS (1629–1695) formulierten auf Ersuchen der *Royal Society* unabhängig voneinander im Jahre 1668 die Stoßgesetze. Diese Gesetze bildeten in der analogen Übertragung des Stoßverhaltens von Billardkugeln auf den Bereich des submikroskopisch kleinen auch die Grundlage der kinetischen Theorie von Atomen in Gasen, die durch elastische Kugeln repräsentiert werden.¹³

Robert BOYLES Vorgehensweise war dadurch gekennzeichnet, dass er versuchte, alle Naturphänomene mit mechanistischen Prinzipien zu erklären. Seine Forschungsmaxime war „alles auf Materieteilchen, deren Konstellation zueinander und ihre Bewegungen zurück[zu] führen“.¹⁴ Bezüglich der Luftbeschaffenheit war es BOYLES Anliegen darzulegen, dass Luft eine Elastizität aufweist, die er „Federkraft der Luft“ (*spring of the air*) genannt hat. Die Federkraft der Luft musste ausreichen, um einen Druck zu erzeugen, der eine Wasser- oder Quecksilbersäule anheben kann, wie dies in TORRICELLIS Experimenten gezeigt worden war.¹⁵ Als entscheidend bezeichnete BOYLE selbst sein Experiment Nr. 17. In diesem Experiment hat er das Torricellische Barometer in einen Behälter gestellt. Wenn der Behälter mithilfe einer Pumpe evakuiert wurde, fiel die Quecksilbersäule nahezu auf das Niveau des Quecksilberreservoirs. Dieses Experiment wurde als Widerlegung der Theorie verwendet, das Vakuum habe eine eigene positive Kraft, welche die Quecksilbersäule ansaugt.

8 Vgl. Zur Biographie BOYLES z. B. MADDISON 1969, HUNTER 1994 und den Eintrag zu Robert BOYLE in der *Stanford Encyclopedia of Philosophy*, online verfügbar unter <http://plato.stanford.edu/entries/boyle> (letzter Zugriff 6.2.2009).

9 Zur Entwicklung der Vakuumpumpen in der frühen Neuzeit siehe z. B. BRACHNER 2002, SCHNEIDER 1986 und WIMMERSTEDT 1989.

10 Zur Experimentalkultur BOYLES siehe z. B. SARGENT 1995; zur Sprache und Rhetorik, in der BOYLE über seine Experimente berichtet, siehe z. B. SHAPIN 1984 und KRIPS 1994.

11 Zu der sehr asymmetrischen Zusammenarbeit von BOYLE mit HOOKE siehe u. a. SHAPIN 1989 (dt. Übers. 2008).

12 BOYLE 1660a. Als Reprint in BOYLES Werke, hrsg. von BIRCH 1772/1965, Bd. 1, S. 1–117, bzw. in HUNTERS neuer Ausgabe der *Works of Robert Boyle* 2000, Bd. 1. Über BOYLES Beziehungen zur *Royal Society* vgl. HUNTER 1995, 2007.

13 BRUSH 1970, S. 17.

14 HENTSCHEL 2007, S. 156. Zur Diskussion über den Grad der Anlehnung BOYLES an diese mechanistische Naturphilosophie siehe hier Abschnitt 3.4 sowie die dort genannte Forschungsliteratur zum Thema, insbesondere CHALMERS 1993, 2002, PYLE 2002, ANSTEY 2002 und KIM 1991.

15 BRUSH 1970, S. 19.

Nach der Veröffentlichung seiner Experimente hat Franciscus LINUS¹⁶ (1595–1675) eine alternative Theorie zur Erklärung der Experimente von BOYLE vorgeschlagen. Diese Theorie postulierte die Existenz einer feinen unsichtbaren Saite oder Membran, einen *funiculus* (lat. *funis*: Tau, Seil), das das Quecksilber nach oben zieht und somit verhindert, dass es nach unten fällt. Franciscus LINUS formulierte es sogar recht anschaulich: „Wenn du deinen Finger auf das Ansaugrohr einer Saugpumpe legst, dann kannst du in der Tat den Zug des *funiculus* unmittelbar am Fleische deines Fingers spüren!“¹⁷

BOYLE veröffentlichte daraufhin 1662 eine *Defence* gegen die Kritik von LINUS und anderen, zusammen mit weiteren Erkenntnissen, u. a. zur Abhängigkeit des Volumens V einer Gasmenge bei unterschiedlichen Drücken P .¹⁸ Er bestätigte das heute nach ihm benannte Gasgesetz, nach welchem das Produkt $P \times V$ konstant ist. BOYLE stellte dieses Gasgesetz als Untermauerung der Theorie von Richard TOWNLEY (1628–1707) vor, welcher die Experimente hierzu bereits 1653, also lange vor BOYLE, zusammen mit Henry POWER (1623–1668) durchgeführt hatte. Aller Wahrscheinlichkeit nach stammt die Anregung dazu, diese Abhängigkeit quantitativ zu ermitteln, sowie die Idee, das Verhalten von Luft dadurch zu deuten, dass Luftpartikel sich analog zu Federn verhalten, von Robert HOOKE, der damals als Laborassistent von BOYLE tätig war. HOOKE hatte sich zuvor intensiv und ausführlich mit dem Verhalten von Federn beschäftigt.

Auf dem Kontinent wurde das Gesetz nach dem französischen Priester Edmé MARIOTTE (1620–1684) benannt, der es 1676 veröffentlicht hatte.¹⁹ Es gilt als sicher, dass er die Werke BOYLES kannte und somit nicht als Erstentdecker in Frage kommt. Nach Stephen BRUSH müsste das Gasgesetz $P \times V = \text{konstant}$ konsequentermaßen eigentlich Power-Townley- oder gar Power-Townley-Hooke-Boyle-Gesetz heißen.

“It now appears that the equation $PV = \text{constant}$ should be called the ‘Power-Townley’ law, but it has also been argued that Robert Hooke, and perhaps others, probably discovered it independently,²⁰ and in any case Boyle helped to establish it in the scientific community, so some clumsy combination like ‘Power-Townley-Hooke-Boyle Law’ seems inevitable if we are going to be fair to everyone.”²¹

Die quantitative Aussage $P \times V = \text{konstant}$ wurde von BOYLE so nicht getroffen; man kann diese jedoch seinen in der Replik auf LINUS tabellarisch wiedergegebenen Meßwerten entnehmen. Für BOYLE selbst war seine wichtigste Leistung die qualitative Erkenntnis, dass die Luft eine Art Rückstellkraft gegen Kompressionen besitzt, seine *spring of the air*. Jene Rückstellkraft der Luft sowohl gegen Verdichtung wie auch gegen Verdünnung erzeugt in Pumpen u. a. Gerätschaften einen mechanischen Druck, der stark genug ist, um das Phänomen der Saugkraft des Vakuums zu erklären und z. B. eine Wasser- oder Quecksilbersäule anheben

16 Franciscus LINUS bzw. Francis LINE, auch Francis HALL, genannt. Jesuitischer Gelehrter und Professor für Hebräisch und Mathematik in Liège.

17 BRUSH 1970, S. 21.

18 BOYLE 1661, nachgedruckt in BIRCH 1965, S. 118–242, insbesondere S. 158, bzw. HUNTER 2000, Bd. I.

19 Zum historischen Kontext der Arbeiten MARIOTTES siehe die Beiträge von Marie BOAS-HALL und dem Herausgeber in COSTABEL 1986.

20 WEBSTER 1965, Anm. 169, sowie COHEN et al. 1963, 1964.

21 BRUSH 1976, S. 12.

kann, so dass die Aristotelische Vorstellung eines *horror vacui* zugunsten einer mechanistischen Erklärung verworfen werden konnte.²²

“Boyle probably did not realize that he was losing his grip on such an important possession when he gave Townley the credit for this hypothesis. It was only much later that the quantitative law of gas pressure was considered the most significant discovery to emerge from the work of Torricelli, Pascal, Boyle, Hooke, Power, and Townley. At the time it must have seemed far more crucial to establish the qualitative fact that air pressure exists and is strong enough to account for the phenomena of suction, thereby enabling the Aristotelian *horror vacui* to be replaced by a mechanistic explanation more plausible to 17th-century scientists. But afterwards it was largely forgotten that any other explanation had ever been seriously contemplated, and so the qualitative achievement was not properly appreciated. We may conclude that Boyle does deserve full credit for his work on air pressure but usually gets it for the wrong reason.”²³

Später wurde die quantitative Aussage „ $P \times V = \text{konstant}$ “ als die wesentliche Erkenntnis von TORRICELLI, PASCAL, BOYLE, HOOKE, POWER und TOWNLEY angesehen, wobei wahrscheinlich HOOKE derjenige war, der eine Tabelle mit Ergebnissen der von ihm durchgeführten Messungen anfertigte, in die er das auf einem gasgefüllten Hohlraum lastende Gewicht (entspricht dem Druck), die sich zunehmendem Druck immer weiter reduzierende Höhe jenes Hohlraums sowie das in sehr guter Näherung konstante Produkt dieser beiden Werte eingetragen hat. Die quantitative Aussage „ $P \times V = \text{konstant}$ “ ist, in Form dieser in BOYLES Arbeit enthaltenen Tabellen, nur implizit enthalten. Dass das Gasgesetz trotzdem nach BOYLE benannt wird, ist sicher unter Berücksichtigung seiner umfassenden Arbeiten über Luftdruck und Vakua dennoch gerechtfertigt.

3.1 Boyles Wollvlies-Analogie

In seinem Text von 1660²⁴ erklärt BOYLE den Begriff der Spannkraft der Luft zunächst dadurch, dass die kleinsten Luftteilchen so beschaffen sind, dass sie sich, wenn sie einem Druck unterliegen, biegen oder zusammendrücken lassen. Die Teilchen sind bestrebt, ihre ursprüngliche Form wieder einzunehmen, indem sie auf den Körper, der sie gebogen hält, Gegendruck ausüben. Sobald aber der Körper, der den Druck ausübt, entfernt wird, streben die Luftteile wieder ihre ursprüngliche Form an.

„Euer Lordschaft werden leicht erraten, daß der Begriff, von dem ich spreche, die Spannkraft oder die elastische Kraft der Luft ist, in welcher wir leben. Unter dem, was [...] Spannkraft der Luft genannt wird, verstehe ich folgendes: daß unsere Luft entweder aus Teilchen besteht oder zumindest solche in großer Anzahl enthält, die so beschaffen sind, daß sie beim Biegen oder Zusammendrücken durch das Gewicht des aufliegenden Teils der Atmosphäre oder durch irgendeinen anderen Körper bestrebt sind, sich selbst von diesem Druck zu befreien, so gut sie es vermögen, indem sie auf die angrenzenden Körper drücken, die sie gebogen halten, daß sich aber, sobald jene Körper entfernt werden oder ihr Druck so verringert wird, daß den Teilchen Platz gegeben wird, die ganze Luftmenge,

²² Vgl. BRUSH 1970, Bd. 1, S. 19.

²³ BRUSH 1976, S. 12.

²⁴ BOYLE, 1660b, in deutscher Übersetzung wiedergegeben in BRUSH 1970, Bd. 1, S. 75–86.

die aus diesen elastischen Teilchen zusammengesetzt ist, durch augenblickliches Aufbiegen und Ausdehnen entweder vollständig oder zumindest so weit ausdehnt, wie die der Ausdehnung widerstehenden angrenzenden Körper das zulassen.“²⁵

Um die Elastizität der Luft weiter zu erläutern, verglich BOYLE Luft mit kreuz und quer, über-, unter- und nebeneinander liegenden Wollfasern.

„Dieser Begriff mag vielleicht noch deutlicher erklärt werden, indem man die Luft nahe der Erde als einen Haufen von solchen kleinen aufeinanderliegenden Körpern begreift, die etwa mit den Fasern in einem Vlies von Wolle verglichen werden können. In der Tat besteht dasselbe (wir übergehen eine Reihe anderer Ähnlichkeiten zwischen der Wolle und der Luft,) aus vielen schlanken und biegsamen Haaren, von denen tatsächlich jedes wie eine kleine Feder leicht gebogen oder aufgerollt werden kann, dabei jedoch stets bestrebt sein wird (ähnlich einer Feder), sich wieder auszustrecken.“²⁶

Die Wollfasern könnten laut BOYLE wie Federn aussehen. Drückt man diese zusammen, verbiegen und verformen sich die Fasern, so dass das Volumen, das sie im Raum einnehmen, kleiner wird. Das Volumen des Wollvlieshaufens ist desto kleiner, desto stärker die ausgeübte Kraft ist. Wird die auf das Wollvlies ausgeübte Kraft wieder verringert oder gar vollkommen zurückgenommen, dehnt sich der Vlieshaufen wieder aus bzw. erreicht wieder nahezu seine ursprüngliche Größe. Damit besteht in der Tat eine Analogie zwischen dem Verhalten eines solchen Wollvlieshaufens und dem einer Gassäule unter äußerem Druck; die Schwäche jener Analogie ruht darin, daß die ursprüngliche Ausdehnung des Wollknäuels nach seiner Komprimierung nicht wieder in Gänze erreicht wird, da die Rückstellkräfte dafür, anders als bei der Gaskomprimierung, nicht ausreichen. Darum ist es vielleicht auch nicht allzu überraschend, dass BOYLE nach weiteren mechanistischen Analogien suchte, um jene merkwürdige Federkraft der Luft zu begreifen.

3.2 *Boyles Teilchenanalogie*

BOYLE beschreibt in seinem Text von 1660 noch eine zweite Erklärung für die Spannkraft der Luft, die sich an der damals gültigen, von DESCARTES postulierten Äthertheorie orientiert, derzufolge der Raum dicht erfüllt ist mit feinsten, dem menschlichen Auge nicht sichtbaren Ätherteilchen, die als himmlische Materie noch zwischen den ebenfalls nicht sichtbaren, aber dennoch bereits sehr viel größeren Luftteilchen und den noch größeren und deshalb für uns bereits wahrnehmbaren festen und flüssigen Materieteilchen umherschwirren:

„Es gibt jedoch noch eine andere Erklärungsmöglichkeit für die Spannkraft der Luft: indem wir nämlich mit dem äußerst geistreichen ehrenwerten Monsieur Descartes annehmen, daß die Luft nichts weiter als ein Gemengsel oder Haufen von kleinen und (in der Mehrzahl) biegsamen Teilchen ist, die verschiedene Größe haben und von beliebiger Gestalt sein können, die durch die Wärme (speziell durch die der Sonne) in jenen flüssigen und feinen ätherischen Körper gehoben werden, der unsere Erde umgibt. Und durch die ruhelose Wärmebewegung dieses himmlischen Materials, in dem jene Teilchen schwimmen, werden sie so herumgewirbelt, daß jedes Teilchen bestrebt ist, alle anderen

²⁵ BOYLE 1660b in BRUSH 1970, S. 76.

²⁶ Ebenda.

am Eindringen in die kleine Kugel zu hindern, die es für seine Bewegung um sein eigenes Zentrum benötigt. Falls aber irgendein Teilchen durch das Eindringen in diese Kugel dessen freie Rotation behindern würde, so würde es hinausgestoßen und zurückgetrieben. Es ist somit nach dieser Lehre von geringer Bedeutung, ob die Luftteilchen die für eine Feder charakteristische Struktur besitzen oder ob sie von irgendeiner anderen Form sind (wie ungleichmäßig diese auch immer sei), weil ihre Elastizität nicht von ihrer Gestalt oder Struktur, sondern von der raschen Wärmebewegung und (sofern vorhanden) der Schwingungsbewegung abhängen soll, die sie vom flüssigen Äther bekommen“.²⁷

Demnach besteht die Luft ebenfalls aus biegsamen Teilchen, in diesem Fall beliebiger Gestalt und Größe, die durch die Ätherbewegung verwirbelt werden. Die Teilchen werden durch Wärme in den Äther gehoben. Jedes dieser Teilchen ist bestrebt, andere Teilchen nicht in den für seine eigene Bewegung nötigen Bereich eindringen zu lassen; ein eindringendes Teilchen würde es sofort wieder herausstoßen. Diese zweite Erklärung der Federkraft der Luft hält BOYLE zwar für möglich, bevorzugt aber die erste Erklärung aufgrund ihrer Einfachheit.

3.3 Robert Boyles “mechanical philosophy”

Eine Einsicht in BOYLES Verständnis der Struktur der Materie sowie der Art und Weise, wie seiner Auffassung nach Kräfte von Teilchen zu Teilchen übertragen werden, kann in seinem *Essay of the Great Effects of Even Languid and Unheeded Motion*²⁸ gewonnen werden. BOYLE stellt darin zahlreiche Versuche vor, mit denen er beweisen will, dass im Inneren der Materie unbeachtete und kaum wahrgenommene Bewegungen der kleinsten Teilchen der Materie stattfinden, deren Auswirkungen auf die makroskopische Welt sehr groß sind.

Dabei verwendet BOYLE zahlreiche Analogien, von denen hier nur einige genannt werden können. So verdeutlicht er z. B. die Wirkung der Geschwindigkeit (*celerity*) durch den Vergleich von Kanonenkugeln mit den Rammböcken der Antike. Die Kanonenkugeln sind ungleich wirksamer als die Rammböcke, obwohl sie wesentlich kleiner sind, da sie eine wesentliche höhere Geschwindigkeit haben.²⁹ Andere Beispiele stammen aus dem Bereich des Drehens von Metall oder anderen Materialien, deren Späne zwar aus sehr kleinen Teilchen bestehen, aufgrund ihrer hohen Geschwindigkeit aber eine große Wirkung haben können, was man z. B. mit der eigenen, auf eine geeignete Entfernung gehaltenen Hand spüren kann. Auch die Sonnenstrahlen zieht BOYLE zur Erläuterung der Wirkung der Geschwindigkeit heran. Dabei sei es unbedeutend, ob die Sonnenstrahlen, wie die Atomisten meinen, aus kleinsten Korpuskeln bestehen, die von der Sonne ausgesendet werden, oder ob sie, wie die Cartesianer meinen, durch die Wirkung der Sonne auf den an sie angrenzenden Äther entstehen. In beiden Fällen können die entstandenen Sonnenstrahlen aufgrund ihrer extrem schnellen Bewegung, durch Brechung in einem Brennglas sogar grünes Holz entzünden und Metalle zum Schmelzen bringen. Auch Fluida wie die Luft können, wenn ihre Teilchen in eine ausreichende Bewegung versetzt wurden, eine erhebliche Bewegung auf feste Körper übertragen.

“And even a small parcel of Air, if put into a sufficiently-brisk motion, may communicate a considerable motion to a solid body; whereof a notable Instance (which depends chiefly

27 BOYLE 1660b in BRUSH 1970, S. 78.

28 BOYLE, 1685. In HUNTER 2000, Bd. 10, S. 251–350.

29 BOYLE 1685 in HUNTER 2000, Bd. 10, S. 256.

upon the Celerity of the springy corpuscles of the Air) is afforded by the violent motion communicated to a bullet shot out of a good windgun.”³⁰

BOYLE versucht mit vielen Beispielen zu zeigen, dass die Wirkung der Bewegung der unsichtbaren Teilchen der Materie aus diversen Gründen im Allgemeinen unterschätzt wird. Die Gründe dafür sind im wesentlichen, dass, wie oben erwähnt, sowohl die Geschwindigkeit der Teilchen als auch ihre Anzahl, die es ihnen erlaubt, wie Schwärme zu wirken (“which enables them to act in swarms”³¹), unterschätzt wird. Außerdem ist die Größe der Teilchen dieser Fluida so klein, dass diese entgegen den normalen Ansichten der Menschen in der Lage sind, aufgrund ihrer Winzigkeit und oft aufgrund ihrer Form in feste Körper zu einzudringen.

“[...] that the Corpuscles we speak of, are, by their minuteness, assisted, and oftentimes by their figure inabled, to pierce into the innermost recesses of the body they invade, and distribute themselves to an, or at least to multitudes of the minute parts where of that body consists.”³²

Auch hier gebraucht BOYLE eine weitere Analogie. Er vergleicht die in einen festen Körper eindringenden Teilchen eines Fluidums mit einem Ameisenhaufen, den die Ameisen durch die lose Erde durchdringen. Aufgrund ihrer großen Anzahl sind die Ameisen zu großer Wirkung fähig; z. B. können sie sehr schnell alle Eier einsammeln, wenn der Ameisenhaufen zerstört wurde.

Zur weiteren Erläuterung der Durchdringung benutzt BOYLE die Analogie eines Zuckerkwürfels, in den Wasserpartikel eindringen.

“[...] a figure that fits them to insinuate themselves every way into the pores of the Sugar, though the lump consisted of very numerous Saccharine Corpuscles, yet the multitude of the aqueous particles, to which they are accessible, is able in no long time to disperse them all, and carrying them along with themselves, make the whole lump of Sugar in a short time quite disappear“.³³

BOYLE geht in dem *Essay* auch an mehreren Stellen auf die Übertragung der *languid and unheeded motion* ein. Diese erfolgt, so argumentiert BOYLE, durch unterschiedliche Medien, d. h. sowohl durch feste Körper als auch durch Fluida wie Wasser oder Luft. Dabei geht er häufig auf Schallphänomene ein wie Glocken, die noch lange nach dem Schlag des Schlegels einen Klang erzeugen, oder Kanonenschüsse, die auf große Entfernung Fensterscheiben zum Bersten bringen können, obwohl der Impuls nicht über den Boden oder sonstige feste Körper übertragen wird, oder Saiten einer Bassgeige, die über die Schwingung einer anderen Schallquelle über die Luft angeregt werden können.³⁴ Ein weiteres Beispiel der Wirkung dieser Kräfte erläutert BOYLE bei der Betrachtung der Spannungen in einem festen Körper, z. B. in Glas, das unter gegebenen Umständen durch geringe Wirkungen plötzlich springen kann und dessen Teile dann weit und mit einer großen Kraft fliegen können. Die Spannung im Material vergleicht BOYLE in diesem Fall mit einem gespannten Bogen, dessen Saite plötzlich

30 HUNTER 2000, S. 259. Zur genauen Bedeutung von BOYLES *corpuscles* und ihrer Beziehung zum Atomismus siehe etwa KUHN 1952 und CLERICUZIO 1990.

31 BOYLE 1685 in HUNTER 2000, Bd. 10, S. 263.

32 Ebenda.

33 Ebenda, S. 264.

34 Ebenda, S. 280.

durchtrennt wird, wobei beide Enden der Saite sowie der Bogen mit großer Kraft auseinander getrieben werden.

All diese Phänomene beruhen nach BOYLE zu einem großen Teil auf der Wirkung der schwachen und unbeachteten Bewegungen (*languid and unheeded motion*) der Materieteilchen. Ihre Bewegung übertragen die Materieteilchen durch eine Vielzahl von Stößen. Die Wirkung eines einzelnen Stoßes ist so gering, dass sie nicht wahrnehmbar ist. Aufgrund der hohen Anzahl und der hohen Geschwindigkeit der Teilchen ist ihre Wirkung aber insgesamt sehr groß.

“For, though each of these single [strikes] would perhaps be too languid to have any sensible effect at all, it being opportunely and frequently repeated by the Successive parts of the fluid, as by so many little swimming hammers or flying bullets, they may well have a notable effect upon the parts of a body exposed to their action.”³⁵

Dabei vergleicht er die einzelnen Stöße der Teilchen mit kleinen schwimmenden Hämmern oder fliegenden Geschossen, die zwar sehr klein sind, in großer Anzahl aber sehr wohl in kurzer Zeit einen deutlichen Effekt erreichen können.

BOYLE erläutert seine Ansichten über die innere Bewegung der kleinsten Teilchen der Materie anhand einer Vielzahl von weiteren Beispielen und Beobachtungen und benutzt dabei eine Vielzahl von Analogien. In seinem Schlusssatz schreibt er: “I shall put an end to this Rhapsody of Observations”³⁶ und hofft, dass vielleicht das ein oder andere der vielen Beispiele den Leser, wenn schon nicht überzeugen, so doch wenigstens dafür empfänglich machen, es wenigstens für möglich zu halten, dass diese kleinen lokalen Bewegungen einen beträchtlichen Beitrag zur Erklärung vieler Naturphänomene haben können. Er selbst sagt es wie folgt:

“that such Local motions, as are wont either to be past-by unobserved, or be thought not worth the observing, may have a notable operation, though not upon the generality of bodies, yet upon such as are peculiarly disposed to admit it, and so may have a considerable share in the production of divers difficult Phaenomena of Nature, that are wont to be referred to less genuine, as well as less intelligible, Causes.”³⁷

BOYLE argumentiert somit, dass die mechanistische Deutung der Phänomene der Natur richtig sein muss, da sie wesentlich besser ist als viele andere weniger plausible und weniger verständliche Erklärungen. Viele seiner Erklärungen haben sich jedoch im Nachhinein nicht als richtig erwiesen. Einige grundlegende Naturphänomene, wie z. B. die Wirkung der Schwerkraft, konnte BOYLE, wie bereits erwähnt, nicht mit seiner *mechanical philosophy* in Einklang bringen.

Betrachtet man BOYLES zahlreiche Beispiele und Analogien, die er in seinem *An Essay of the Great Effects of Even Languid and Unheeded Motion* erläutert, wie z. B. Geschosse, kleine Hämmerchen, Ameisenhaufen oder Spannungen im Material, kann man erkennen, dass in all diesen Beispielen die Existenz von Kräften, die in den Materieteilchen enthalten sind, unterstellt wird. Die Kraft (Energie) dieser *languid and unheeded motion* geht nicht verloren, sondern wird übertragen und hat in der Summe von vielen Teilchen, aus denen die Materie besteht, eine sehr große Wirkung. Obwohl BOYLE es nicht explizit gesagt hat, kann man daraus

35 Ebenda, S. 276.

36 Ebenda, S. 292.

37 Ebenda.

schließen, dass BOYLES Gaspartikel durchaus hart waren und Kollisionen zwischen ihnen voll elastisch sein müssen, da sonst ein Teil der Kraft bei jeder Kollision verloren gehen würde.

3.4 Kontroverse Debatten zu Boyles Naturphilosophie

Der britische Wissenschaftshistoriker Alan CHALMERS³⁸ befasste sich mit der *mechanical philosophy* von BOYLE und ihrem Verhältnis zu seinen wissenschaftlichen Arbeiten. CHALMERS fasst zunächst die wichtigsten Merkmale von BOYLES mechanistischer Naturphilosophie zusammen. BOYLE zufolge weisen die kleinsten Teilchen der Materie, die er auch *minima naturalia* oder *prima naturalia*³⁹ nennt, eine bestimmte Größe, Form und einen Bewegungsgrad auf. Außerdem sind die Teilchen undurchdringlich. Diese Eigenschaften der Teilchen oder *corpuscles*, wie er sie auch nennt, bezeichnet BOYLE als ihre primären Eigenschaften, die er auch als “inseparable accidents”, “primary affections” und “essential properties”⁴⁰ bezeichnet. Die Körper und die gesamte materielle Welt besteht nach BOYLE aus Kombinationen dieser Korpuskel. Die Eigenschaften der so entstandenen makroskopischen Körper und Stoffe sind Sekundäreigenschaften der Materie, wobei BOYLE postuliert, dass diese sich von den Primäreigenschaften der *corpuscles*, d. h. von der Form, Größe und dem Bewegungsgrad sowie von der Anordnung der Teilchen zueinander, ableiten lassen müssen.⁴¹ Sein Hauptargument für die *mechanical philosophy* war die Anwendung von Analogien, durch die das im beobachtbaren Bereich gültige in den korpuskularen Bereich übertragen wurde.⁴² Die Zulässigkeit dieser analogischen Ausweitung begründet BOYLE selbst in seinem Essay *About the Excellency and Grounds for the Mechanical Hypothesis* wie folgt:

“And therefore to say that, though in natural bodies whose bulk is manifest and their structure visible the Mechanical principles may be usefully admitted, they are not to be extended to such portions of matter whose parts and texture are invisible, may perhaps look to some as if a man should allow that the laws of mechanism may take place in a town clock, but cannot in a pocket watch.”⁴³

BOYLE postuliert einfach, dass wenn sowohl die makroskopisch mit dem bloßen Auge beobachtbaren Teile sowie die mit Hilfe eines Mikroskops beobachtbaren Teile eine Form, Größe und Bewegung haben, dies auch für die kleinsten Teilchen der Materie gelten müsse. Auch hier verwendet er eine Analogie (Kirchturmuhre bzw. Taschenuhr). Die Relationsstruktur dieser Analogie ist aber ebenso wenig in die mikroskopische Welt übertragbar wie die Gesetze des freien Falls. Als Beweis der Richtigkeit der *mechanical philosophy* bis in den Bereich der kleinsten Partikel der Materie waren sie nicht geeignet.

Der Grund dafür, dass diese Analogien nicht zur Fundierung der mechanistischen Naturphilosophie geeignet sind, liegt nach Alan CHALMERS⁴⁴ darin, dass das sogenannte „Gefühls-

38 CHALMERS 1993.

39 Ebenda, S. 543.

40 Ebenda, S. 544.

41 Ebenda. Jene Unterscheidung von Primär- und Sekundärqualitäten ist typisch für die atomistische Tradition seit der Antike.

42 Ebenda, S. 548.

43 BOYLE in BIRCH, 1744, Bd. 3, S. 450–457, hier S. 452, bzw. STEWART 1979, S. 138–154, hier S. 143 (zitiert nach CHALMERS 1993, S. 541, 548).

44 CHALMERS 1993.

wissen“ (*the extension of sense knowledge*⁴⁵) nicht geeignet ist, die *mechanical philosophy* von BOYLE zu begründen, da die Extrapolation von der makroskopischen in die mikroskopische Welt nicht beliebig fortgesetzt werden kann. CHALMERS behauptet, dass schließlich ein fundamentaler qualitativer Unterschied besteht, zwischen der durch Primär- und Sekundäreigenschaften der Materie gekennzeichneten makroskopischen Welt und einer korpuskularen Welt, die aus individuellen Korpuskeln mit Form, Größe, Bewegung, Undurchdringbarkeit und den Beziehungen und Kollisionen zwischen diesen Korpuskeln besteht.⁴⁶ CHALMERS kommt somit zu dem Schluss, dass die Übertragung der Gesetze der makroskopischen Welt in die unsichtbare mikroskopische Welt durch BOYLE nicht zum Beweis seiner mechanistischen Hypothesen beigetragen hat. Wenn seine mechanische Theorie im Einzelfall nicht alles erklären konnte, zog sich BOYLE in der Regel auf die experimentelle Ebene zurück. Aber auch eine experimentelle Untermauerung für die mechanistische Naturphilosophie war unmöglich, da die Annahmen der letzteren weit über das hinausgingen, was experimentell beweisbar sei. BOYLES Erfolg habe somit nicht auf der Anwendung der *mechanical philosophy* beruht, sondern eher ganz im Gegenteil. BOYLE erreichte seinen wissenschaftlichen Erfolge *trots*, und *nicht weil* er an seiner *mechanical philosophy* festhielt. Im Ergebnis war demnach BOYLES wissenschaftliche Arbeit laut CHALMERS weitestgehend unabhängig von seiner *mechanical philosophy*.

Zwei andere Kenner des Boyleschen Oeuvres, Peter R. ANSTEY und Andrew PYLE, versuchten 2002, diese seiner Meinung nach weit überzogene Darstellung von CHALMERS zu widerlegen.⁴⁷ ANSTEY zufolge sind trotz zahlreicher Unstimmigkeiten und trotz der Tatsache, dass BOYLES Theorien über die Zusammensetzung der Materie heute vollständig widerlegt und überholt sind, BOYLES wissenschaftliche Leistungen *nicht* unabhängig von der *mechanical philosophy*. Am Beispiel der Theorie der *spring of the air* und anderer Beispiele versucht ANSTEY zu beweisen, dass die von BOYLE bevorzugte Theorie der Elastizität der Luft die Anforderungen der *mechanical philosophy* erfüllt, da jede Faser eine Form, Größe und Bewegung aufweist und undurchdringlich ist. Letztendlich ist für ANSTEY die Erklärung von BOYLE wesentlich besser als alle anderen Alternativen, die zu seiner Zeit bekannt waren, da BOYLE weder einen *horror vacui*, noch Anziehungskräfte, noch ein *funiculus* zur Erklärung der Elastizität der Luft benötigte.⁴⁸ Damit wäre dann auch verständlich, warum BOYLES Analogien noch viele Generationen lang die Grundlage für eine Konzeptualisierung des Verhaltens von Gasen abgegeben haben, während LINUS' *funiculus* u. a. konkurrierende Analogien sehr schnell wieder vergessen waren. In seiner Antwort auf ANSTEYS Kritik hat CHALMERS denn auch zugestanden, dass BOYLES Forschungspraxis von seinen mechanischen Analogien heuristisch gesehen erheblich profitierte.⁴⁹ Im Folgenden sollen BOYLES zwei wirkungsmächtigste Analogien einer von Dedre GENTNERS Theorie der Analogien informierten Analyse unterzogen werden.

3.5 Analyse der Wollvlies Analogie

Betrachtet man diese von BOYLE verwendete Analogie, so kann man sich fragen, ob dies eine „gute“ Analogie ist, d. h., ob sie den Wissenstand über die Struktur der gasförmigen Materie

45 Vgl. MANDELBAUM 1964, S. 107 (zitiert nach CHALMERS 1993, S. 548).

46 Vgl. CHALMERS 1993, S. 549.

47 ANSTEY 2002.

48 Vgl. ebenda, S. 170, sowie in ähnlicher Tonlage auch PYLE 2002. Eine weitere, eher soziale Perspektive bietet Yung Sik KIM 1991.

49 Siehe CHALMERS 2002.

weiter gebracht hat oder nicht. Der Basisbereich der Analogie ist nach GENTNER in diesem Fall das Wollvlies, der Zielbereich ist der unbekannte oder weniger bekannte Bereich des Verhaltens realer Gase.

In dieser ersten Analogie wird angenommen, dass die Gasteilchen sich wie Wollfasern verhalten. Um die Qualität dieser Analogie besser erkennen zu können, kann nach GENTNER ein Diagramm gezeichnet werden, in dem die Eigenschaften oder Attribute und die möglichen Relationen von Fasern untereinander oder mit anderen Objekten eingetragen werden (siehe Abb. 1).

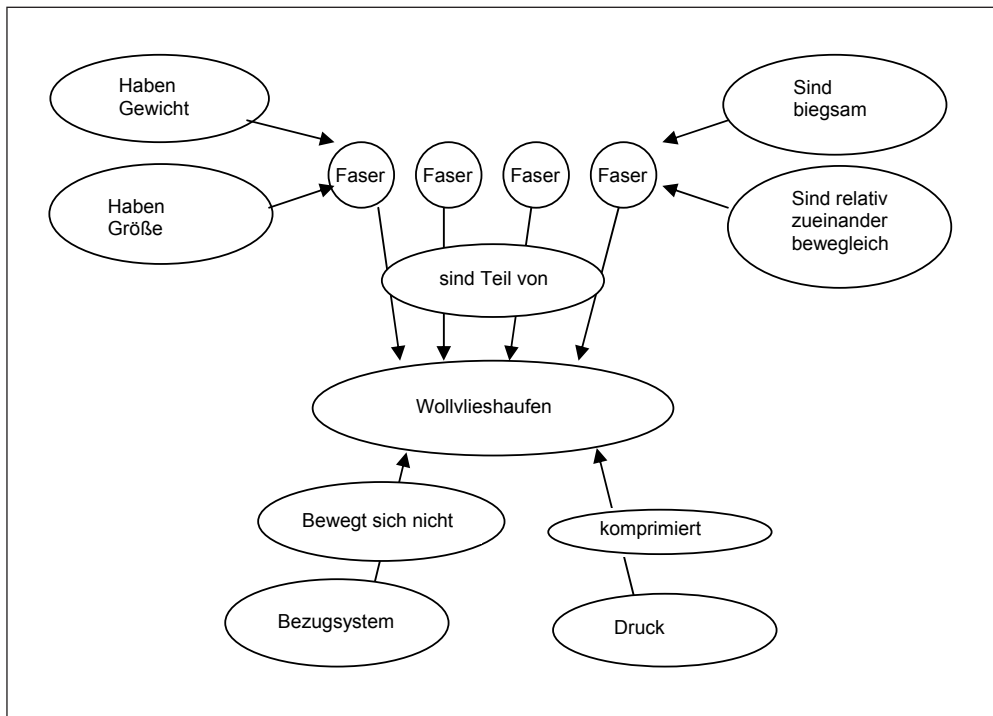


Abb. 1 Attribute und Relationen im Basisbereich Wollfasern/Wollvlieshaufen

Zeichnet man ein ähnliches Diagramm für den betrachteten Zielbereich (Abb. 2), kann man prüfen, ob und in wie fern die eingetragenen Attribute und Relationen in beiden Bereichen zutreffen oder nicht. Durch Vergleich der beiden Diagramme kann gut erkannt werden, ob die Relationsstruktur vergleichbar ist bzw. an welcher Stelle die Analogien aufhören.

Im Fall der Faseranalogie von BOYLE kann zunächst festgestellt werden, dass Attribute wie Größe und Gewicht nicht direkt übertragbar sind. Ebenso trifft die Eigenschaft „ist biegsam“ nicht in beiden Bereichen zu. Attribute sind für die Qualität der Analogie aber unwesentlich, da in einer guten Analogie, Attribute nicht unbedingt übertragen werden müssen. Relationen, die in beiden Systemen vorkommen, sind in diesem Fall die relative Bewegung der Teilchen zueinander sowie die fehlende Bewegung der gesamten Menge der Vliesteilchen bzw. der Gesamtmenge der Gasteilchen relativ zu einem Bezugssystem. Die wichtigste, gut übertragbare

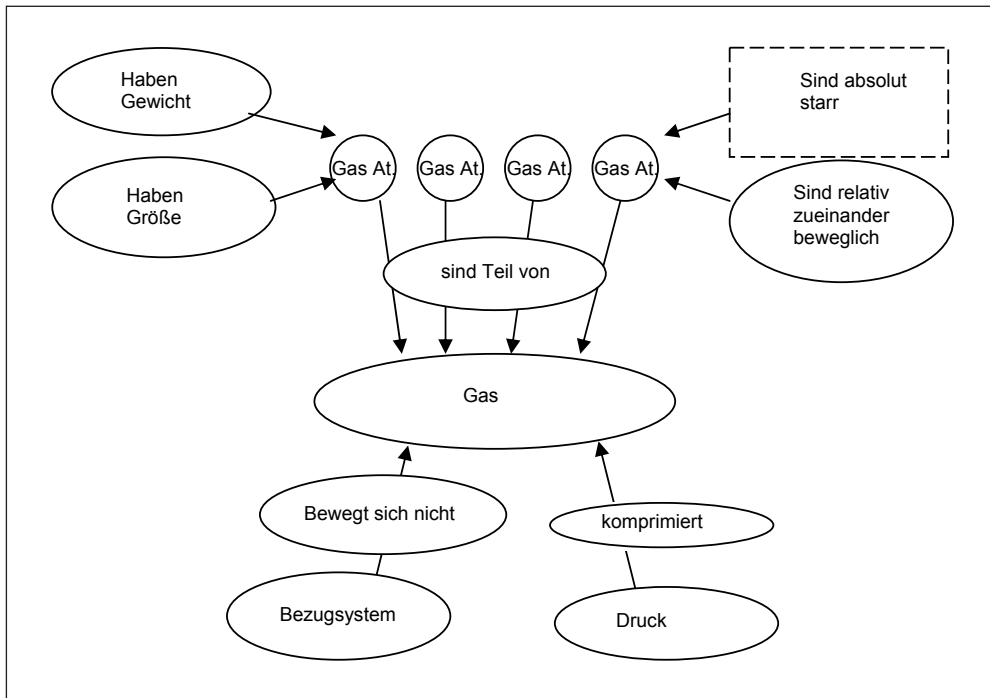


Abb. 2 Attribute und Relationen im Zielbereich Gasatome/Gas

Relation dieser Analogie ist die der Kompression durch Ausübung eines Druckes. Damit wird auch das Verhältnis des Volumens zum aufgebrauchten Druck bzw. der aufgebrauchten Kraft beschrieben. Dies ist die wesentliche Relation, auf der diese Analogie basiert.

Betrachtet man andere Eigenschaften von Gasen, z. B. diejenigen, die mit der Temperatur zusammenhängen, so stellt man fest, dass in dieser Analogie keine Relation, etwa in der Form „Temperatur hoch entspricht Volumen groß“, denkbar ist. Der Wert dieser Analogie ist trotzdem groß, da mit ihr erstmals versucht wird, das Verhalten von Luft bei unterschiedlichen Drücken auf rein mechanistischer Basis zu erklären. Wie oben ausgeführt, führte dieser Forschungsstrang bei Richard TOWNLEY, Henry POWER und Robert HOOKE zu der neuen Erkenntnis, dass das Produkt von Druck und Volumen konstant ist.⁵⁰

In der zweiten Erklärung BOYLES für die Federkraft der Luft postuliert BOYLE, dass die Luftteilchen unterschiedliche, aber sehr kleine Gestalt und Größe aufweisen. Die Elastizität der Luft erklärt er durch die schnelle Bewegung ihrer Teilchen. Entsprechend der Cartesischen Vorstellung, dass der Raum mit Äther gefüllt ist, wird angenommen, dass die Teilchen durch Sonnenwärme in den Äther gehoben und von ihm verwirbelt werden. Stellt man die Analogie dieser zweiten Erklärung ähnlich wie für die Wollfaseranalogie als Diagramm dar (siehe Abb. 3 und Abb. 4), stellt man fest, dass im Vergleich zu der ersten Erklärung hier eine weitere wichtige Relation, nämlich die „Teilchen kollidieren miteinander“ übertragbar ist.

⁵⁰ Siehe oben Anm. 20.

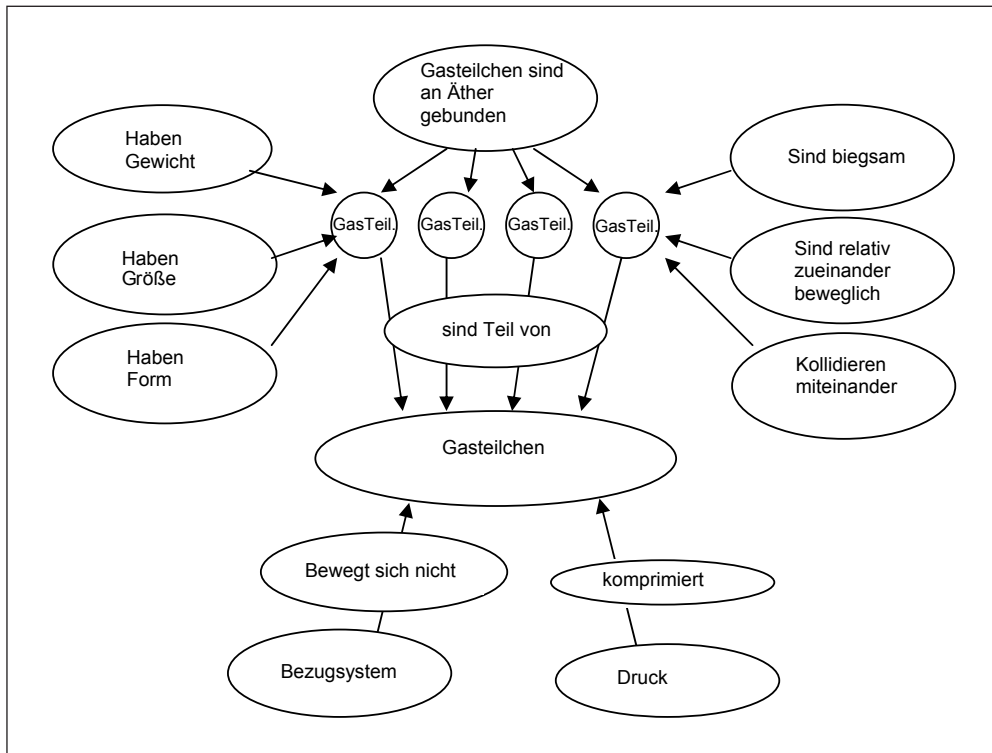


Abb. 3 Analogie Federn beliebiger Größe und Form – Gasteilchen im Äther. Basisbereich: Federn beliebiger Größe und Form

Die Federkraft der Luft ist in diesem Fall, zusätzlich zur Biegsamkeit, durch die schnelle Bewegung der Teilchen, die miteinander kollidieren, gegeben. Sie kommt damit der kinetischen Theorie etwas näher, da sie sich auch auf die rasche Bewegung der Teilchen der Luft stützt.⁵¹ In dieser Analogie können zum Teil die gleichen Attribute wie in der Wollfaseranalogie, also etwa Biegsamkeit, Größe und Gewicht, festgestellt werden. Diese Attribute tragen wie in jeder Analogie *nicht* zum besseren Verständnis bei. Bewertend kann festgestellt werden, dass beide Analogien der Beginn einer mechanistischen Deutung des Gaszustandes darstellen. Sie benötigen keine zusätzlichen Hypothesen, wie den *horror vacui*, oder hypothetische Entitäten wie den *funiculus* bei LINUS, um die Saugkraft der Torricellischen Leere zu erklären. Dies ist ihr besonderer Wert. Im Sinne von GENTNER sind dies allerdings keine sehr guten Analogien, da zu wenig Relationen übertragen werden.

4. Die Billardkugelanalogie

Isaac NEWTON (1643–1727) versuchte an einer Stelle seiner *Principia*, die abstoßenden Kräfte, die zwischen den Gasatomen wirken, durch Anwendung unterschiedlicher Hypothe-

⁵¹ Vgl. z. B. BRUSH 1970, S. 22.

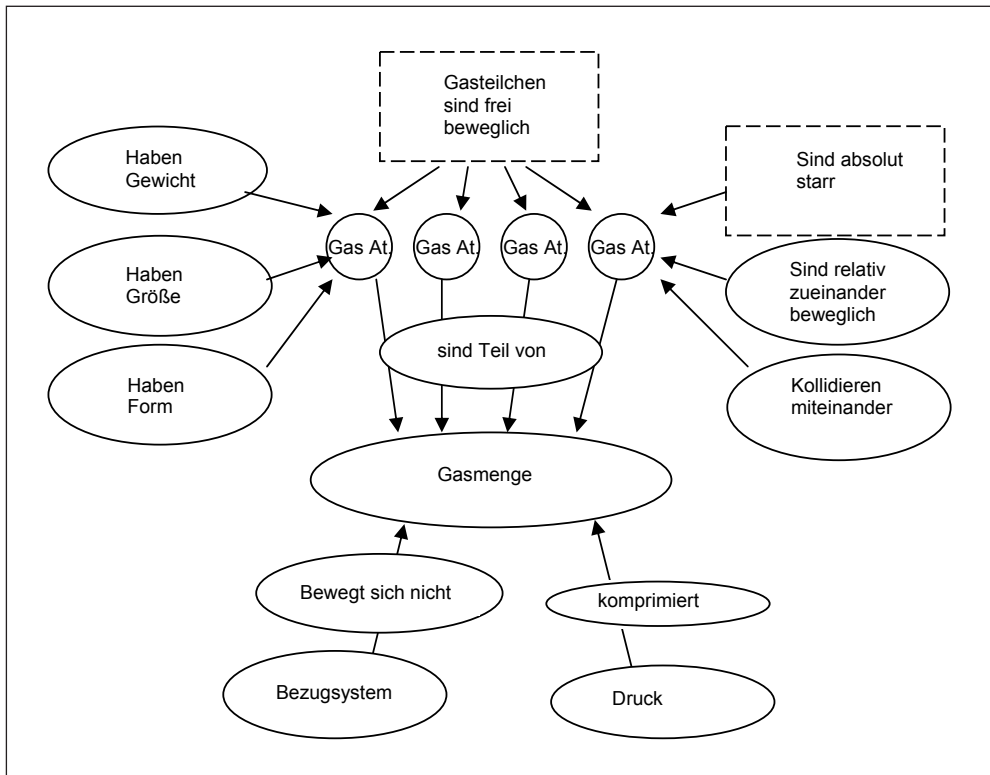


Abb. 4 Analogie Wollvlieshaufen-Gasmenge. Zielbereich: Gas / Gasatome

sen in eine quantitative Form zu bringen, die dem Boyleschen Gasgesetz $P \times V = \text{konstant}$ entspricht. Nur die Annahme, dass eine zwischen den Gasatomen wirkende abstoßende Kraft proportional zum Abstand wirkte, führte zu einer Abhängigkeit der Form $P \times V = \text{konstant}$.⁵² NEWTON war klar, dass die Wirkung der Abstoßungskräfte zwischen den Gasatomen nur auf die unmittelbaren Nachbaratome wirken konnte, da sonst eine sehr große Kraft auf die Behälterwände wirken würde.

“Newton was also well aware that the action of these forces had to be restricted to a small number of neighbours, otherwise there would be an indefinitely large pressure depending on the shape of the container as well as its volume.”⁵³

Die quantitativen Aussagen über das Verhalten von Gasen befanden sich noch in ihren Anfängen. Die Grundlagen der kinetischen Theorie der Gase waren Ende des 17. Jahrhunderts von BOYLE, POWER, TOWNLEY, HOOKE und anderen in Form von empirisch qualitativen Aussagen aber bereits gelegt. Das war für Henry POWER der Auslöser für ein enthusiastisches Lob der *mechanical philosophers*, das er wie folgt formulierte:

⁵² Siehe NEWTON 1687, zweites Buch, Abschnitt V, S. 292–294, bzw. in dt. Übersetzung von J. P. WOLFERS 1872, S. 292ff. (Nachdruck 1963), im Auszug ferner auch in BRUSH 1970, S. 22, sowie S. 87–92.

⁵³ BRUSH 1976, S. 14.

“You are the enlarged and elastical Souls of the world, who, removing all former rubbish, and prejudicial resistances, do make way for the Springy Intellect to flye out into its desired Expansion [...] This is the Age wherein (me-thinks) Philosophy comes in with a Spring-tide.”⁵⁴

Obwohl die Boylesche Gastheorie (mit theoretischer Untermauerung von NEWTON) allgemein bekannt und akzeptiert war, gelangen im 18. Jahrhundert kaum wesentliche Fortschritte auf diesem Gebiet. Die einzige Ausnahme hierzu ist die Studie von Daniel BERNOULLI (1700–1782) zu diesem Thema. BERNOULLI formulierte 1738 im 10. Kapitel seines Buches über die Hydrodynamik,⁵⁵ das, was man heute die erste quantitative Version der kinetischen Theorie der Gase nennt. Er postulierte nicht nur – wie viele andere vor ihm –, dass Wärme molekulare Bewegung ist, sondern auch, dass Wärme *nichts anderes* als molekulare Bewegung ist.⁵⁶ Dies war für diejenigen Wissenschaftler, die sich mit Wärmestrahlung befassten, schwer zu verstehen. Dass sich die Atome im Raum frei bewegen können, ist ebenfalls schwer zu verstehen, wenn man – wie in der damaligen Zeit üblich – annimmt, dass die Atome im Äther eingebettet sind und von ihm herumgewirbelt werden. Die Reibung mit dem Äther müsste die freie Bewegung geradezu behindern.

BERNOULLI benennt im Kapitel 10 seiner *Hydrodynamik* die wesentlichen Eigenschaften elastischer Fluide wie folgt:

„Die Eigenschaften der elastischen Fluide hängen jedenfalls in der Hauptsache von folgenden Fakten ab: 1. sie besitzen ein Gewicht; 2. sie breiten sich nach allen Richtungen gleichmäßig aus, wenn sie nicht daran gehindert werden; 3. sie können selbst mehr und mehr zusammengepreßt werden, wenn die Druckkraft zunimmt.“⁵⁷

BERNOULLI formuliert die Billardkugelanalogie, indem er sich einen Behälter mit einem beweglichen Kolben vorstellt (Abb. 5), auf dem ein Gewicht ruht. In dem Behälter befindet sich ein Gas, das aus sehr kleinen Teilchen besteht, welche sich in einer sehr schnellen Bewegung befinden. Die Partikel stoßen sowohl an die Wände des Behälters als auch an den Kolben, den sie durch ihren ständigen Aufprall halten. Wird das Gewicht entfernt oder verkleinert, dehnt sich das elastische Fluidum aus. Wird das Gewicht hingegen vergrößert, nimmt die Dichte des Fluidums zu, nicht aber sein Gewicht. Der Boden des Gefäßes verspürt gleichzeitig das Gewicht und die Elastizität des Gases.

„§ 2. Denken wir uns zu diesem Zwecke einen zylindrischen Behälter *ACDB* in vertikaler Lage (Abb. 5) und in ihm einen beweglichen Kolben *EF*, auf dem ein Gewicht *P* ruht. Der Raum *ECDF* enthalte sehr kleine Teilchen in sehr schneller Bewegung; da sie gegen den Kolben *EF* stoßen und ihn durch ihren Anprall oben halten, stellen sie ein elastisches Fluidum dar, das sich ausdehnt, sobald das Gewicht *P* entfernt oder verkleinert wird. Wird aber *P* vergrößert, so nimmt seine Dichte zu, und es drückt auf den horizontalen Boden *CD* gerade so, als sei es nicht elastisch. Denn ob nun die Teilchen ruhen oder sich bewegen, so ändern sie doch ihr Gewicht nicht, so daß der Gefäßboden gleichzeitig das Gewicht und die Elastizität des Gases verspürt. Wir wollen deshalb die Luft durch ein Flu-

54 Ebenda, S. 15.

55 BERNOULLI 1738a, Abschn. 10, S. 200–204, in dt. Übersetzung von FLIERL 1964, sowie Auszüge aus BERNOULLI 1738b. Ebenda, S. 200–204, zitiert nach BRUSH 1970, Bd. I, S. 93–103.

56 Vgl. BRUSH 1970, S. 24.

57 BERNOULLI 1738b, in BRUSH 1970, S. 94.

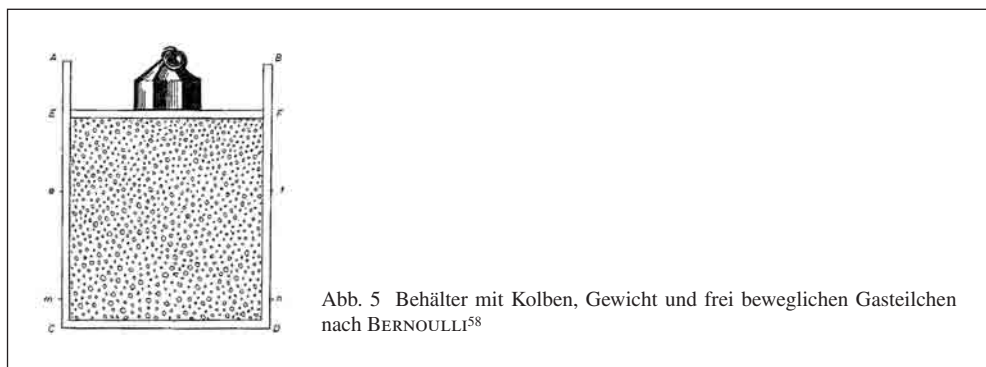


Abb. 5 Behälter mit Kolben, Gewicht und frei beweglichen Gasteilchen nach BERNOULLI⁵⁸

idum ersetzen, das die Haupteigenschaften elastischer Fluide besitzt, und werden dadurch einige ihrer Eigenschaften, die bereits beschrieben worden sind, erklären und auf andere, die wir bisher noch nicht betrachtet haben, ein neues Licht werfen.“⁵⁹

Weiter nimmt BERNOULLI an, dass die Anzahl der Partikel in dem Behälter unendlich groß ist und dass die Teilchen eine Geschwindigkeit besitzen, die vor und nach dem Zusammendrücken unverändert ist. Im zusammengedrückten Zustand wird die Anzahl der Stöße der Gasteilchen auf die Wände des Behälters und den Kolben entsprechend höher sein. Aufgrund der häufigeren Stöße von Gasteilchen an die Wände erhöht sich der Druck. Um den Beitrag der Stöße zu berechnen, setzt BERNOULLI voraus, dass die Teilchen kugelförmig sind. Das Verhältnis ihres Durchmessers zum mittleren Abstand der Kugeln untereinander kann durch makroskopisch bestimmbare Größen ermittelt werden, nämlich aus dem Verhältnis der Kolbenhöhe beim Ausgangsdruck und der Höhe m , die erreicht würde, wenn die Gaskügelchen so weit zusammengedrückt werden, dass sie einander berühren und kein Zwischenraum zwischen ihnen mehr vorhanden ist.

Unter der Annahme, dass die Höhe $m = 0$ ist (d. h. das Volumen der Gas-Kügelchen verschwindet), konnte BERNOULLI berechnen, dass der Druck umgekehrt proportional zum Volumen ist.

„Aus allen Beobachtungen können wir den Schluß ziehen, daß gewöhnliche Luft beträchtlich zusammengepresst und auf ein nahezu infinitesimales Volumen reduziert werden kann. Setzen wir $m = 0$, so erhalten wir $p = P/s$, so daß die Druckkraft nahezu umgekehrt proportional zu dem von der Luft eingenommenen Volumen ist.“⁶⁰

BERNOULLI hat auch erkannt, dass dieses Verhältnis für Gase mit geringerer als normaler Dichte, d. h. unter geringem Druck, gilt, und stellte fest, dass zur Klärung der Anwendbarkeit auf viel dichtere Luft noch entsprechende Versuche durchgeführt werden müssten. Insbesondere müsste der Wert von m in einem Experiment ermittelt werden, bei dem die Temperatur möglichst konstant gehalten werden muss.

⁵⁸ Ebenda, S. 95.

⁵⁹ Ebenda, S. 94–95.

⁶⁰ Ebenda, S. 98, §5.

Die Abhängigkeit des Druckes von der Temperatur hat BERNOULLI ebenfalls mit der Teilchenbewegung erklärt:

„Der Druck der Luft wächst nicht nur bei Volumenverminderung, sondern auch bei Temperaturanstieg. Weil wohlbekannt ist, daß sich die Wärme verstärkt, sobald die innere Bewegung der Teilchen zunimmt, folgt, daß jede Zunahme des Luftdruckes, welche nicht das Volumen vergrößert hat, eine intensivere Teilchenbewegung anzeigt, was mit unserer Hypothese in Übereinstimmung ist; denn es ist klar, daß das Gewicht P größer sein muß, um bei dieser heftigeren Teilchenbewegung die Luft im Volumen $E C D F$ einzuschließen.“⁶¹

Eine intensivere Teilchenbewegung führt ebenfalls zu einer höheren Anzahl von Stößen gegen die Wände des Behälters und damit zu einem höheren Druck. Das Gewicht P , das benötigt wird, um den Kolben auf der gleichen Höhe zu halten, wird sich nach BERNOULLI wie das Quadrat der Teilchengeschwindigkeit ändern.

„Es ist darüber hinaus nicht schwer einzusehen, daß sich das Gewicht P wie das Quadrat der Teilchengeschwindigkeit ändern wird, wenn man die Tatsache beachtet, daß sich die Zahl der Stöße durch diese gewachsene Geschwindigkeit gleichzeitig und im gleichen Maße mit der Intensität dieser Stöße vergrößern wird, und in der Tat ist jedes Wachstum für sich dem Gewicht P proportional.“⁶²

Eine Temperaturabhängigkeit des Druckes hat BERNOULLI zwar vorgeschlagen, es ist ihm aber nicht gelungen, jene Abhängigkeit des Druckes von der Temperatur auszuformulieren, weil es zu seiner Zeit noch an einer allgemeingültigen Temperaturskala mangelte.⁶³

Die Struktur der Analogie „Gasatome (Gasteilchen) sind wie Billardkugeln“ ist in den Diagrammen der Abbildungen 6 und 7 nach GENTNER dargestellt.

Basisbereich sind hier frei im Raum bewegliche makroskopische Kugeln (Billardkugeln), der Zielbereich sind die ebenfalls frei beweglichen Gasatome oder Gasteilchen. Die Komprimierbarkeit und die relative Bewegung des Systems als Ganzes bezogen auf ein Bezugssystem ist hier in gleicher Weise wie in der Wollfaseranalogie von BOYLE übertragbar, jedoch zur Vereinfachung des Diagramms nicht dargestellt. Wie aus den Diagrammen gut erkennbar ist, ist eine große Anzahl von Attributen dargestellt, die sowohl im Basisbereich als auch im Zielbereich vorhanden sind. Sowohl die Kugeln als auch die Gasatome haben eine Größe, Form und Gewicht, deren absolute Größe deutlich unterschiedlich ist. Das ist aber für die Analogie nicht relevant. Die Kugeln und Atome sind außerdem absolut starr, und sie kollidieren miteinander, eine Eigenschaft, die uns bei BOYLES zweiter Erklärung der Spannkraft der Luft schon in ähnlicher Form begegnet ist. Es kommt hier eine Größe hinzu, nämlich die Geschwindigkeit der Kugeln bzw. der Atome, die zunächst als solche betrachtet ebenfalls ein Attribut ist. Wie beim Gewicht und der Form, unterscheiden sich die Geschwindigkeiten im Basis- und Zielbereich um Größenordnungen. Betrachtet man aber die Geschwindigkeit als eine relative Geschwindigkeit der Kugeln bzw. der Atome zueinander, hat man schon eine wichtige Relationsaussage zwischen den einzelnen Teilchen, die in der Analogie übertragbar ist. Alle Teile bewegen sich in chaotischer Weise zueinander. Als weitere wichtige Eigenschaften, die zu einer Relation führen, ist die Energie zu nennen. Sowohl die Kugeln des Basisbereiches

61 Ebenda, §6.

62 BERNOULLI 1738b, in BRUSH 1970, S. 99.

63 Siehe dazu BRUSH 1976, S. 20, bzw. z. B. CHANG 2004.

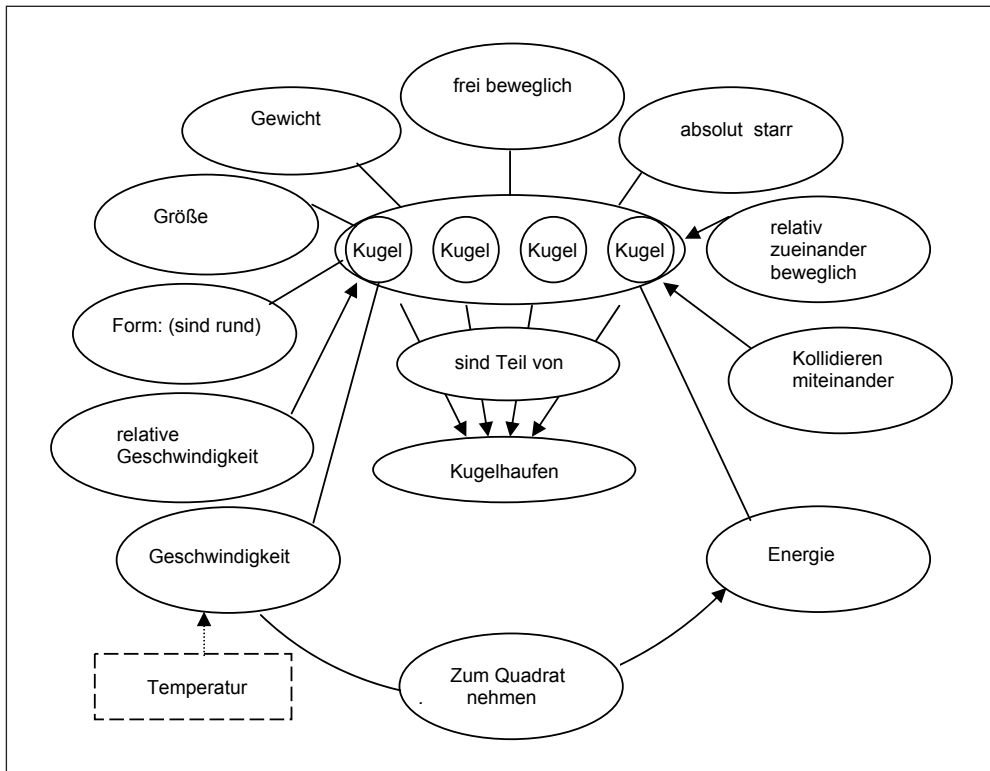


Abb. 6 Analogie Billardkugeln – Gasatome. Basisbereich: frei bewegliche Kugeln

als auch die Atome im Zielbereich haben eine Energie. Als besondere Eigenschaft der Energie kommt hier die wichtigste Relationsaussage dieser Analogie zum Tragen, nämlich, dass die Energie durch das Quadrat der Geschwindigkeit beschrieben wird. Anders ausgedrückt bedeutet das, dass aus der Geschwindigkeit des Gasteilchens seine Energie ermittelt werden kann, indem man seine Geschwindigkeit zum Quadrat nimmt und mit seiner Masse multipliziert. Dies ist eine echte und vom Basis- in den Zielbereich übertragbare Relation, die diese Analogie zu einer sehr guten und tragfähigen Analogie macht.

Hinsichtlich der Temperaturabhängigkeit kann die Übertragung „hohe Teilchenbewegung“ ~ „hohe Temperatur“ nur auf den Zielbereich angewendet werden. Im Basisbereich kann eine entsprechende Relation nicht angewendet werden, da Teilchenbewegungen nicht „hoch“, sondern bestenfalls „schnell“ sind. BERNOULLI hat sich bei dieser analogischen Übertragung insofern vom Basisbereich gelöst und die Übersetzbarkeit „hohe Teilchenbewegung entspricht hohe Temperatur“ lediglich postuliert.

5. Weiterentwicklung der kinetischen Theorie

Die kinetische Theorie von Daniel BERNOULLI war bei Physikern im 18. Jahrhundert weitgehend bekannt. Sie entspricht durchaus auch noch heutigen Vorstellungen. Sie war allerdings

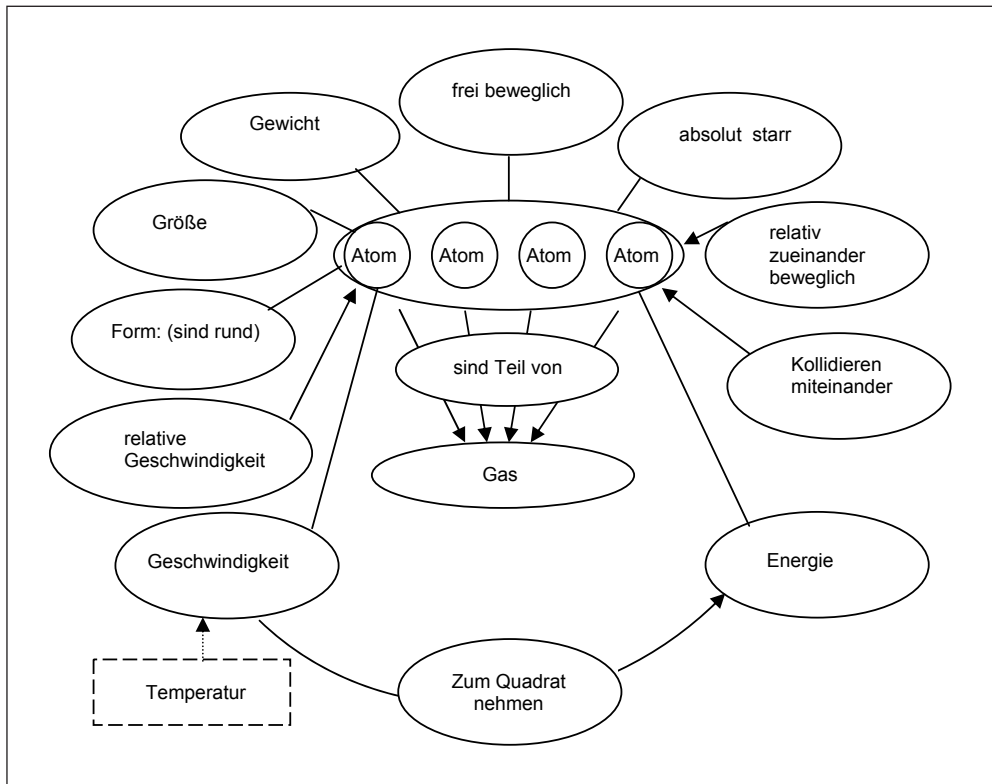


Abb. 7 Analogie Billardkugeln – Gasatome. Zielbereich: frei bewegliche Atome

ihrer Zeit um ein Jahrhundert voraus, und konnte solange nicht anerkannt werden, wie in der Wissenschaft die Existenz des „Wärmestoffs“ (*calorique*, *Kalorikum*) zur Erklärung aller mit Wärme und ihrer Übertragung bekannten Phänomene herangezogen wurde. So geriet die kinetische Theorie der Gase bis Mitte des 19. Jahrhunderts in Vergessenheit. Dafür gab es vielerlei Gründe, unter anderem, dass BERNOULLI nicht erklären konnte, wie Wärme die Bewegung der Gasteilchen erhöht. John HERAPATH⁶⁴ behauptete in einer Arbeit, die er 1820 der *Royal Society* vorgelegt hatte, von dieser aber nicht zur Veröffentlichung angenommen wurde und darum unveröffentlicht blieb, dass Wärme *nichts anderes* als Molekularbewegung sei. Dass sich diese Auffassung nicht durchsetzen konnte, zeigt, „wie fest die Position der Wärmestofftheorie in der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts noch war“.⁶⁵ Erst als das Prinzip der Erhaltung der Energie – zur damaligen Zeit noch „lebendige Kraft“ genannt – aufgrund der Arbeiten von Julius Robert MAYER, James Prescott JOULE und Hermann VON HELMHOLTZ anerkannt war, Wärme als eine Energieform betrachtet wurde, die auch in mechanische

64 John HERAPATH: Geb. 1790 in Bristol als Sohn eines Mälzers. Im Jahre 1820 übersandte er der *Royal Society* ein Manuskript mit dem Titel: Eine mathematische Untersuchung über die Ursachen, Gesetze und Haupterscheinungen der Wärme, der Gase, der Gravitation und so weiter. Es enthielt zusammen mit anderen Dingen eine umfassende (wenn auch manchmal fehlerhafte) Begründung der kinetischen Gastheorie.

65 BRUSH 1970, S. 33, sowie z. B. CARDWELL 1971 und HENTSCHEL 2007, Abschnitt 3.4.

Energie umgewandelt werden konnte und die Gesetze der Thermodynamik von CLAUDIUS, THOMSON und RANKINE sich Anfang der 1850er Jahre durchgesetzt hatten, war es möglich, die kinetische Theorie der Gase wiederzubeleben. Dazu trugen August Karl KRÖNIG, Rudolf CLAUDIUS und James Clerk MAXWELL wesentlich bei.⁶⁶ KRÖNIG nahm an, dass die Gasmoleküle nicht um eine Gleichgewichtslage oszillieren, sondern sich in gerader Linie mit konstanter Geschwindigkeit bewegen, bis sie gegen andere Moleküle oder eine Behälterwand stoßen. Er „leitete die Gesetze des idealen Gases unter der einfachsten Annahme her, dass sich vollkommen elastische Kugeln mit der gleichen Geschwindigkeit in allen drei Raumrichtungen bewegen“.⁶⁷ CLAUDIUS, der ähnliche Ideen wie KRÖNIG hatte, formulierte zunächst die Bedingungen, unter denen ein Gas als ideales Gas gelten kann, wie folgt:

- „1. Der Raum, welchen die Moleküle des Gases wirklich ausfüllen, muß gegen den ganzen Raum, welchen das Gas einnimmt, verschwindend klein sein.
2. Die Zeit eines Stoßes, [...] muß gegen die Zeit, welche zwischen zwei Stößen vergeht, verschwindend klein sein.
3. Der Einfluß der Molekularkräfte muß verschwindend klein sein.“⁶⁸

Die Geschwindigkeit der Gasmoleküle wurde mit mehreren 100 m/sec angesetzt. Dies beinhaltete zunächst den Widerspruch, dass zwei Gase sich nicht mit dieser Geschwindigkeit durchmischen. Es vergeht nämlich eine beträchtliche Zeit, bis z. B. in einem Labor austretendes, stark ätzendes Chlorgas am anderen Ende des Labors wahrgenommen werden kann.

CLAUDIUS erkannte diesen triftigen Einwand und entwickelte die kinetische Theorie weiter, im wesentlichen durch die Erkenntnis, dass in realen Gasen die zwischenmolekularen Kräfte nicht vernachlässigt werden können und dass das Volumen der Gasteilchen (Atome oder Moleküle) nicht vernachlässigbar ist, sondern einen, wenn auch geringen, aber letztlich zu berücksichtigenden Teil des Gesamtvolumens ausmacht. CLAUDIUS zeigte, dass die Moleküle sich nicht über längere Wege frei und geradlinig bewegen können. Dazu führte er den Begriff der *mittleren freien Weglänge* ein und zeigte auf, wie diese mit dem Einflussbereich der von den einzelnen Molekülen ausgeübten Abstoßungskräfte in Zusammenhang steht.⁶⁹

Die ersten Vertreter der kinetischen Theorie nahmen in ihren mathematischen Betrachtungen an, dass sich alle Gasatome mit der gleichen Geschwindigkeit bewegen, einige von ihnen darüber hinaus, dass sie in einem räumlichen Gitter angeordnet sind. Das Wort „Gas“ ist in seiner Begriffsgeschichte eng verwandt mit dem Begriff „Chaos“⁷⁰, d. h., es beschreibt einen Zustand chaotischer Zufallsbewegungen der Gasteilchen. Modernere Theorien beruhen daher auf der Annahme solcher zufälliger chaotischer Bewegungen. Man nahm aber weiterhin an, dass die Gesetze bei zufälliger Bewegung die gleichen sind.⁷¹ Dies wurde von MAXWELL

66 Vgl. BRUSH 1976, S. 35.

67 BRUSH 1970, S. 45.

68 CLAUDIUS 1867 bzw. im Auszug in BRUSH 1970, Bd. I, S. 164–193.

69 Siehe CLAUDIUS 1858 bzw. im Auszug in BRUSH 1970, Bd. I, S. 47 sowie S. 194–213.

70 Das Wort „Gas“ wurde durch den belgischen Arzt und Naturforscher Johan Baptista VAN HELMONT (1580–1644) eingeführt, in Anlehnung an das griechische Wort „Chaos“, das im Niederländischen sehr ähnlich ausgesprochen wird. Die Klärung der Etymologie wurde 1859 durch den Sprachwissenschaftler Matthias DE VRIES (DE VRIES 1859, hier S. 262–265) herbeigeführt. Er bezeichnete damit den durch Kälte entstandenen Dunst des Wassers. VAN HELMONT schreibt dazu in seinem *Ortus Medicinae* (1648): „In Ermangelung eines Namens habe ich mir die Freiheit zum Ungewöhnlichen genommen, diesen Hauch *Gas* zu nennen, da er sich vom *Chaos* der Alten nur wenig unterscheidet.“ Zur Ethymologie von „Gas“: ADELUNG 1811, *Deutsches Wörterbuch* 2008.

71 Vgl. BRUSH 1976, S. 183.

infrage gestellt, der postulierte, „daß die zahlreichen Stöße zwischen den Molekülen eines Gases eine statistische Geschwindigkeitsverteilung erzeugen, in der alle Geschwindigkeiten mit bekannter Wahrscheinlichkeit vorkommen, und nicht, wie viele Gelehrten erwartet hatten, zur Ausgleichung aller Geschwindigkeiten führen.“⁷² Die „Einführung einer statistischen Geschwindigkeitsverteilung [bedeutete] einen großen Fortschritt in der kinetischen Theorie und lieferte eine der Grundbausteine der modernen statistischen Mechanik.“⁷³

Die kinetische Theorie ist in vielen weiteren Schritten fortentwickelt worden. Dabei wurde die Newtonsche Mechanik bis über die Grenzen ihrer Anwendbarkeit hinaus in den Bereich der Atome ausgedehnt. Sie begründete die Existenz der Atome und war Wegbereiter der Quantentheorie der Materie, ohne ihren grundsätzlichen Charakter zu verlieren. Sie wird wohl auch in Zukunft ihren sicheren Platz in der modernen Physik behalten.

6. Schlussbetrachtung

Die Entwicklung der kinetischen Theorie der Gase basierte in wesentlichen Teilen auf einer mechanistischen Betrachtungsweise. Sie wurde in vielen Schritten weiter entwickelt, die alle auf der ursprünglichen mechanischen Analogie zwischen dem Basisbereich der makroskopisch erkennbaren Körper (Billardkugeln) und deren bekannten Eigenschaften und Relationen und den frei beweglichen Gasatomen beruhen. Die nach den Überlegungen von BOYLE und BERNOULLI entwickelte Theorie konnte, nach dem kaum rezipierten Versuch einer Weiterentwicklung durch HERAPATH Anfang des 19. Jahrhunderts schließlich von KRÖNIG und CLAUSIUS weiterentwickelt werden. Dies war erst möglich, nachdem Mitte des 19. Jahrhunderts die Wärmestofftheorie durch eine kinetische Wärmetheorie ersetzt worden war und Wärme nun als eine Form mechanischer Energie betrachtet wurde. Betrachtet man die von BOYLE und BERNOULLI verwendeten Analogien, kann man feststellen, dass insbesondere die Billardkugelanalogie von BERNOULLI aufgrund der zahlreichen übertragbaren Relationsstrukturen eine sehr gute Analogie ist.

In den weiterführenden Entwicklungsschritten wurden für den mikroskopischen Zielbereich der Analogie nach und nach immer mehr Annahmen gemacht, die im Basisbereich nicht anwendbar sind, wie z. B. die Relation Temperatur – Geschwindigkeit der Teilchen oder die statistische Geschwindigkeitsverteilung der Gasatome. Man kann sich daher fragen, ob die Billardkugelanalogie noch eine Analogie ist oder ob das, was aus der ursprünglichen Analogie entstanden ist, zum Modell geworden ist, welches zwar auf der ursprünglichen Analogie beruht, aber aufgrund zahlreicher idealisierender Annahmen und bewusst in Kauf genommener Einschränkungen des Gegenstandsbereiches den Zustand der Gase unabhängig vom Basisbereich beschreibt. Nach Werner KÜMMEL unterscheiden sich Modelle von Analogien dadurch, dass es „bei Modellen in der Regel um einen Bezug zwischen Wirklichkeit und einer Idealvorstellung geht, die sich mit der Wirklichkeit nur zum Teil deckt, bei Analogien hingegen um einen Bezug, einen Vergleich zwischen zwei realen Bereichen, für die eine mindestens teilweise Ähnlichkeit und Übereinstimmung angenommen und daraus ein Schluss von Bekanntem auf Unbekanntes gezogen wird.“⁷⁴ Die Annahmen, die der kinetischen Theorie

72 So die Kernannahme MAXWELLS zusammengefasst in BRUSH 1970, Bd. 1, S. 49.

73 Vgl. BRUSH 1970, Bd. 1, S. 55.

74 KÜMMEL 1989, S. 2.

nach und nach hinzugefügt wurden, stellen solche Idealvorstellungen dar. Durch Hinzufügen dieser Annahmen, die nur im Zielbereich als gültig festgelegt werden können, wird die Analogie zum Modell.

Betrachtet man die Annahmen, die KRÖNIG, CLAUDIUS und später HELMHOLTZ sowie MAXWELL gemacht haben, kann man erkennen, dass das Grundprinzip der mechanistischen Annahme „Teile bewegen sich frei im Raum“ nach wie vor die Grundlage ist. Allerdings werden viele Annahmen, wie z. B. die Interaktionen von Gasmolekülen in nicht idealen Gasen oder dass die Gasteilchen eine statistische Geschwindigkeitsverteilung aufweisen, gemacht, die nicht mehr in den Basisbereich übertragen werden können. An diesem Punkt beginnt sich der Zielbereich selbständig zum Modell weiterzuentwickeln. Auf die Annahmen, die nur im idealisierten Zielbereich, dem Modell, gemacht werden, kann man nun die für dieses Modell gültigen bekannten physikalischen und mathematischen Methoden anwenden und daraus zusätzliche weiterführende Schlüsse ziehen. Die von CLAUDIUS eingeführte freie Weglänge des Einflussbereichs der Gasatome kann auch nicht auf den makroskopischen Bereich angewendet werden. Unter der Annahme von nicht mehr vernachlässigbaren intermolekularen Kräften konnte CLAUDIUS den Virialsatz anwenden, der die Grundlage für die Berechnung der Zustandsgleichungen der Gase ist.⁷⁵ Außerdem konnte er die mittlere freie Weglänge und die mittlere Geschwindigkeit der Gasmoleküle unter bestimmten Annahmen ermitteln.⁷⁶ Schließlich wendete MAXWELL die Prinzipien der statistischen Mechanik auf das Modell der elastischen Kugeln an.⁷⁷ Die Geschwindigkeiten, mit denen sich die Gasmoleküle bewegen, sind für ihn nicht mehr für alle Atome gleich. Sie weisen nach MAXWELL eine statistische Verteilung auf. Auch diese Annahmen basieren auf der gleichen Vorstellung von BERNOULLI, KRÖNIG und CLAUDIUS. „Gase sind wie Kugeln, die sich frei im Raum bewegen.“ Sie sind allerdings nicht mehr auf den Basisbereich der Billardkugelanalogie anwendbar. Sie gelten nur noch im Modell, das nun die kinetische Theorie beschreibt.

Die Billardkugelanalogie der kinetischen Theorie der Gase ist meiner Auffassung nach mehr als nur eine Analogie. Sie erfüllt viele Kriterien einer sehr guten Analogie nach der Theorie von GENTNER. Es werden mehrere Relationen vom Basisbereich in den Zielbereich übertragen, wie z. B. die Relation des Volumens zum Druck oder der elastische Stoß zwischen den Gasteilchen und die Berechnung der Energie aus dem Quadrat der Geschwindigkeit der Teilchen. Durch die Weiterentwicklung der kinetischen Theorie werden zusätzliche Eigenschaften der Gasteilchen (Atome bzw. Moleküle) eingeführt, aufgrund derer sogar ganze Berechnungsweisen angewendet werden können, wie sie HELMHOLTZ, CLAUDIUS und MAXWELL durch Anwendung statistischer Methoden durchgeführt haben. So ist aus der Billardkugelanalogie das Modell der kinetischen Theorie der Gase entstanden.

Stephen BRUSH hat die Qualität der Analogie der Billardkugeln und ihre Auswirkungen auf andere Gebiete und Epochen der Wissenschaft wie folgt recht treffend charakterisiert:

“The secure place of kinetic theory in modern physics is evident from the most cursory examination of textbooks and departmental curricula. More surprising perhaps is the widespread influence of the mode of thought characteristic of 19th-century kinetic theory on many areas of 20th-century science. This goes beyond explicit analogies such as the ‘kinetic theory of traffic flow,’ and affects the way people discuss scientific methods and

75 Vgl. BRUSH 1970, S. 46.

76 Vgl. CLAUDIUS 1858, in BRUSH 1970, S. 194–213.

77 MAXWELL 1860, in dt. Übersetzung in BRUSH 1970, S. 214.

the kinds of results they expect to get from scientific theories. The kinetic derivation of the ideal gas law is still frequently cited as a paradigm of scientific explanation by teachers and philosophers, despite (or perhaps because of) the fact that it is hard to find such simple connections between microscopic models and macroscopic properties in modern physical science.”⁷⁸

Die Denkform der kinetischen Theorie hat demnach einen sehr starken und weit gefächerten Einfluss auf viele Wissenschaftsgebiete des 19. und 20. Jahrhunderts erreicht. Die Analogie zwischen der beobachtbaren makroskopischen Welt und den mikroskopischen Phänomenen der Kinetischen Theorie ist eine sehr gut tragende gewesen, die weit über das eigentliche Gebiet der kinetischen Theorie hinaus verwendet wurde und sich bewährt hat. Das Billardkugelmodell hat sogar die Denkform, hinsichtlich dessen, wie man Modelle konstruiert und was man von ihnen erwarten kann, stark geprägt. Es dürfte schwer sein, so einfache Verbindungen zwischen mikroskopischen Modellen und den daraus resultierenden makroskopischen Eigenschaften zu finden wie im Fall des Billardkugelmodells der kinetischen Theorie der Gase.

Literatur

- ADELUNG, Johann Christoph: Grammatisch-kritisches Wörterbuch der Hochdeutschen Mundart. Bd. II (1811)
- BERNOULLI, Daniel: *Hydrodynamica, sive de vivibus et motibus fluidorum commentarii, Sectio decima: De affectionibus atque motibus fluidorum elasticorum, praecipue aeris*. Straßburg: Argentorati, Sumptibus JOHANNES REINHOLDI DULSECKERI, 1738a. In dt. Übersetzung von K. FLIERL: *Hydrodynamik oder Kommentare über die Kräfte und Bewegungen der Flüssigkeiten*. München: Deutsches Museum 1964
- BERNOULLI, Daniel: Über die Eigenschaften und Bewegungen elastischer Fluide, insbesondere der Luft. In: BERNOULLI 1738a, S. 200–204 (aus dem Lateinischen ins Englische übersetzt von J. P. BERYMAN: *Source Book in Physics*. New York: McGraw-Hill Book Co. Inc., 1935); Nachdruck in: BRUSH 1970, Bd. 1, S. 93–103
- BIRCH, Thomas (Ed.): *The Works of the Honorable Robert Boyle*. London: A. Millar 1744
- BIRCH, Thomas (Ed.): *Boyle's Works*. Überarbeitete Auflage. London 1772 (Reprint: Hildesheim: Olms 1965)
- BOYLE, Robert: *New Experiments Physico-Mechanical touching the Spring of the Air and its Effects; made, for the most Part in a New Pneumatical Engine*. Written by Way of Letter to the Right Honourable Charles Lord Viscount of Dungarvan, Eldest Son to the Earl of Corke. Oxford 1660a (Als Nachdruck in BIRCH (Ed.) 1772, Bd. 1, S. 1–117; bzw. in: HUNTER (Ed.) 2000, Bd. 1)
- BOYLE, Robert: Die Spannkraft der Luft. 1660b. In: BOYLE, Robert: 1660a. In der überarbeiteten Auflage: BIRCH (Ed.) 1772, S. 11–15; Nachdruck in: BRUSH 1970, Bd. 1, S. 75–92
- BOYLE, Robert: A Defence of the Doctrine touching the Spring and Weight of the Air. 1661 (Als Nachdruck in: BIRCH (Ed.) 1772, Bd. 1.; 1965, S. 118–242; bzw. HUNTER (Ed.) 2000, Bd. 1)
- BOYLE, Robert: About the Excellency and Grounds for the Mechanical Hypothesis. In: BIRCH (Ed.) 1744, Bd. 3, S. 450–457, bzw. STEWART (Ed.) 1979, 138–154
- BOYLE, Robert: *An Essay of the Great Effects of Even Languid and Unheeded Motion*. 1685. *Notion of Nature and other publications of 1684–6. An Experimental Discourse of Some Little Observed Causes of the Insalubrity and Salubrity of the Air and its Effects*. By the Honourable Robert Boyle, Fellow of the Royal Society (Nachdruck in: HUNTER (Ed.) 2000, Bd. 10, S. 251–350)
- BRACHNER, Alto (Hrsg.): *Geschichte der Vakuumpumpen*. München: Deutsches Museum 2002
- BRUSH, Stephen G.: *Kinetische Theorie. Die Natur der Gase und der Wärme. Einführung und Originaltexte*. Braunschweig 1970
- BRUSH, Stephen G.: *The Kind of Motion We Call Heat. A History of the Kinetic Theory of Gases in the 19th Century*. Amsterdam, New York, Oxford 1976
- CAPELLE, Wilhelm (Hrsg.): *Die Vorsokratiker*. Stuttgart: Kröner 1968
- CARDWELL, Donald S.: *From Watt to Clausius: The Rise of Thermodynamics in the Early Industrial Age*. Ithaca, NY: Cornell Univ. Press 1971

78 BRUSH 1976, S. 4.

- CHALMERS, Alan: The lack of excellency of Boyle's mechanical philosophy. *Studies in the History and Philosophy of Science* 24, 541–564 (1993)
- CHALMERS, Alan: Experiment versus mechanical philosophy in the work of Robert Boyle: A reply to Anstey and Pyle. *Studies in the History and Philosophy of Science* 33, 191–197 (2002)
- CHANG, Hasok: *Inventing Temperature: Measurement and Scientific Progress*. Oxford University Press 2004
- CLAUSIUS, Rudolf: Über die Art der Bewegung, welche wir Wärme nennen. *Ann. Phys.* 100, 353–380 (1857) (im Auszug in: BRUSH 1970, S. 164–185)
- CLAUSIUS, Rudolf: Über die mittlere Länge der Wege, welche bei Molekularbewegung gasförmiger Körper von den einzelnen Molekülen zurückgelegt werden, nebst einigen anderen Bemerkungen über die mechanische Wärmetheorie. *Ann. Phys.* (2) 105, 239–258 (1858) (im Auszug in: BRUSH 1970, S. 194–213)
- CLERICUZIO, Antonio: A redefinition of Boyle's chemistry and corpuscular philosophy. *Annals of Science* 47, 561–589 (1990)
- COHEN, I. Bernard, et al.: Newton, Hooke and Boyle's Law. *Nature* 197, 226–228, 204 (1963); 618–621 (1964)
- COSTABEL, Pierre (Ed.): *Mariotte, savant et philosophe (†1684). Analyse d'une renommée*. Paris: Vrin 1986
- Deutsches Wörterbuch: Deutsches Wörterbuch der Brüder GRIMM*. <http://de.wikipedia.org/wiki/Gas#Begriff> (Gepr.: 27.03.2008)
- GENTNER, Dedre: Generative analogies as mental models. In: *Cognitive Science Society: Proceedings of the Third Annual Conference of the Cognitive Science Society*; pp. 97–100 (1981)
- GENTNER, Dedre: Structure-mapping. A theoretical framework for analogy. *Cognitive Science* 7, 155–170 (1983)
- GRANT, Edward: *Much Ado About Nothing: Theories of Space and Vacuum from the Middle Ages to the Scientific Revolution*. Cambridge Univ. Press 1981
- HELMONT, Johan Baptista VAN: *Ortus Medicinae*. Amsterdam 1648
- HENTSCHEL, Klaus: Unsichtbares Licht? Dunkle Wärme? Chemische Strahlen? Eine wissenschaftshistorische und -theoretische Analyse von Argumenten für das Klassifizieren von Strahlungsarten 1650–1925 mit Schwerpunkt auf den Jahren 1770–1900. Diepholz, Stuttgart, Berlin: GNT-Verlag 2007
- HØFFDING, Harald: *Der Begriff der Analogie*. Ausg. Leipzig 1924 (Sonderausg. Unveränd. reprograf. Nachdr. Darmstadt 1967)
- HUNTER, Michael (Ed.): *Robert Boyle Reconsidered*. Cambridge Univ. Press 1994
- HUNTER, Michael (Ed.): How Boyle Became a Scientist. *History of Science* 33 (1995) 59–103
- HUNTER, Michael (Ed.): *Works of Robert Boyle*. London: Pickering & Chatto 2000
- HUNTER, Michael (Ed.): Robert Boyle and the early Royal Society: A reciprocal exchange in the making of Baconian science. *British Journal for the History of Science* 40, 1–23 (2007)
- KIM, Yung Sik: Another look at Robert Boyle's acceptance of the mechanical philosophy: Its limits and its chemical and social contexts. *Ambix* 38, 1–10 (1991)
- KRIPS, Henry: Ideology, rhetoric and Boyle's new experiments. *Science in Context* 7, 53–64 (1994)
- KÜMMEL, Werner: Einleitung: Analogie in den Wissenschaften. XXVI. Symposium der Gesellschaft für Wissenschaftsgeschichte, 12.–14. Mai 1988 in Stuttgart. *Berichte zur Wissenschaftsgeschichte* 12, 1–5 (1989)
- KUHN, Thomas S.: Robert Boyle and structural chemistry in the 17th century. *Isis* 43, 12–36 (1952)
- LORENZ, Konrad: Nobel Lecture. http://nobelprize.org/nobel_prizes/medicine/laureates/1973/lorenz-lecture.html (Gepr.: 26. 02. 2008)
- MADDISON, R. E. W.: *The Life of the Honourable Robert Boyle F. R. S*. London: Taylor & Francis 1969
- MANDELBAUM, Maurice: *Philosophy, Science and Sense Perception*. Historical and Critical Studies. Baltimore: The Johns Hopkins Press 1964
- MANSFELD, Jaap (Hrsg.): *Die Vorsokratiker*. Stuttgart: Reclam 1987 (griechisch-deutsch)
- MAXWELL, James Clerk: Erläuterungen zur dynamischen Theorie der Gase. *Philosophical Magazine* 19, 19–32 (1860) und 20, 21–37 (1860) (nachgedruckt in: NIVEN, William Davidson (Ed.): *The Scientific Papers of James Clerk Maxwell*. Bd. 1; pp. 377–409. Cambridge University Press 1890 (BRUSH 1970, S. 214–244)
- NEWTON, Isaac: *Philosophiae naturalis principia mathematica*. London 1687, zweites Buch. In dt. Übersetzung von J. P. WOLFERS: *Mathematische Prinzipien der Naturphilosophie*. Berlin 1872 (Nachdruck: Darmstadt: Wissenschaftl. Buchgesellschaft 1963)
- PYLE, Andrew: Boyle on science and the mechanical philosophy: A reply to Chalmers. *Studies in the History and Philosophy of Science* 33, 175–190 (2002)
- SARGENT, Rose-Mary: *The Diffident Naturalist. Robert Boyle and the Philosophy of Experiment*. Chicago 1995
- SCHNEIDER, Ditmar: Zur Entwicklung der Luftpumpen – Initiatoren und erste Reife bis 1730. *Wissenschaftliche Zeitschrift der Technischen Hochschule Otto von Guericke Magdeburg* 30, 49–62 (1986)
- SHAPIN, Steven: Pump and circumstance: Robert Boyle's literary technology. *Social Studies of Science* 14, 481–519 (1984)

- SHAPIN, Steven: The invisible technician. *American Scientist* 77, 554–563 (1989) (dt. Übers.: Unsichtbare Labor-techniker. In: HENTSCHEL, Klaus (Hrsg.): *Unsichtbare Hände. Zur Rolle von Laborassistenten, Mechanikern, Zeichnern u. a. Amanuenses in der physikalischen Forschungs- und Entwicklungsarbeit*. S. 26–44. Stuttgart: GNT-Verlag 2008
- STEWART, M. A. (Ed.): *Selected Philosophical Papers of Robert Boyle*. Manchester Univ. Press 1979
- STÜCKELBERGER, Alfred: *Vestigia Democritea: Die Rezeption der Lehre von den Atomen in der Antiken Naturwissenschaft und Medizin*. Basel: Reinhardt 1984
- THORP, John: Aristotle's horror vacui. *Canadian Journal of Philosophy* 20, 149–166 (1990)
- VRIES, Matthias DE: Woordafleidingen. *De Taalgids* 1, 247–282 (1859)
- WEBSTER, Charles: The discovery of Boyle's law, and the concept of the elasticity of air in the 17th Century. *Archive for the History of Exact Sciences* 2, 441–502 (1965)
- WIMMERSTEDT, Johannes: Geschichte der Luftpumpe. *Wissenschaftliche Zeitschrift der Technischen Hochschule Otto von Guericke Magdeburg* 33, 116–126 (1989)

Dipl.-Chem. Peter FRIEBE
Weinstraße 34
74382 Neckarwestheim
Bundesrepublik Deutschland
E-Mail: peter.friebe@hst.net

3. Teil:
Analogien bei Denkern der Neuzeit

Der Kantische Analogiebegriff und die Theorie der modernen Naturwissenschaften: Eine schematisierende Übersicht¹

Helmut PULTE, Bochum

Mit 8 Abbildungen

Zusammenfassung

Der Begriff der Analogie spielt sowohl in KANTS theoretischer als auch in seiner praktischen Philosophie eine wichtige Rolle. Der Beitrag konzentriert sich auf die schematische Darstellung unterschiedlicher Analogietypen im wissenschaftstheoretischen Kontext, wobei neben den „Analogien der Erfahrung“ auch die sogenannten „symbolischen Analogien“ und ihre Rolle für die Einheit wissenschaftlicher Erfahrung zur Sprache kommen. Bezüge zur neueren wissenschaftlichen und wissenschaftstheoretischen Diskussion weisen dabei die Aktualität, zum Teil auch die Unhintergebarkeit des Kantischen Analogiedenkens auf. Als Teil seiner Methodologie und Heuristik ist es auch nach Zusammenbruch des aprioristischen Begründungsprogramms von Bedeutung für die heutige Wissenschaft und Wissenschaftstheorie.

Abstract

The concept of analogy plays an important role in KANT's philosophy not just of scientific theory but also of moral philosophy. This contribution concentrates on outlining different types of analogies within the context of the philosophy of science. Besides "analogies of experience" so-called "symbolic analogies" will also be addressed, along with their role in the unity of scientific experience. References to more recent debates within science and its philosophy signal its actuality, in part also the unavoidability of KANT's thoughts on analogies. As a part of his methodology and heuristics, they are of significance to modern science and philosophy of science even after the collapse of the aprioristic foundational program.

1. Einleitung: Kants Wissenschaftstheorie heute

KANTS Wissenschaftstheorie der *Naturwissenschaft* – es gibt diese, seinem klassischen Wissenschaftsbegriff folgend, überhaupt nur im Singular – erscheint auf den ersten Blick seit mindestens einem Jahrhundert überholt: Die beiden Relativitätstheorien und mehr noch das Aufkommen der Quantenmechanik wurden von der großen Mehrzahl der Physiker wie auch von den meisten Vertretern der akademischen Philosophie als „Sargnägel“ für einen ohnehin ziemlich angestaubten, wenn nicht schon leicht mumifizierten wissenschaftstheoretischen Korpus verstanden, der nur im traditionellen Kontext von Euklidischer Geometrie und New-

¹ Erweiterte und überarbeitete Fassung des Vortrags „Kantischer Analogiebegriff und die (Theorie der) modernen Naturwissenschaften“, gehalten auf der Tagung über „Analogien in Naturwissenschaften, Medizin und Technik“ an der Universität Stuttgart, 17.–20. März 2008. Ich danke den Teilnehmern, besonders dem Veranstalter Klaus HENTSCHEL, für konstruktive Diskussionen und instruktive Hinweise.

tonscher Mechanik noch eine halbwegs gute Figur abzugeben schien. Als dieser Kontext in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts von Seiten der Wissenschaften selber relativiert und ausgeweitet wurde, schien auch der Kantische Korpus kaum mehr zu retten. Der Neukantianismus bemühte sich noch um eine gewisse Konservierung und eine moderate Modernisierung. Dieser Versuch einer „Einbalsamierung“ ging am späteren logischen Empirismus zwar nicht spurlos vorüber, wurde von ihm selber aber kaum mehr reflektiert. Die spätere, ebenfalls analytisch orientierte Wissenschaftstheorie besorgte dann die weniger feierliche „Beisetzung“ des Kantischen Korpus, und die von ihr verordnete Friedhofsruhe ist im Folgenden auch, von einigen wenig einflussreicheren Ausnahmen abgesehen, lange eingehalten worden.

In den letzten Jahrzehnten ist nun allerdings ein gewisser „Entmumifizierungsprozess“ festzustellen, der nicht zuletzt durch eine gewisse Ernüchterung und Selbstaufklärung innerhalb der analytischen Philosophie über die eigenen Leistungen und deren Grenzen befördert worden sein dürfte. Michael FRIEDMAN, Philip KITCHER und andere haben den Wissenschaftstheoretiker KANT wieder entdeckt.² Das Erstaunen hierüber war in der angelsächsischen Szene verständlicherweise größer als in der deutschsprachigen, hat aber auch bei uns eine gewisse Kant-Renaissance innerhalb der Wissenschaftstheorie der *Naturwissenschaften* – der „nicht-kantische“ Plural ist heute unvermeidlich – befördert. Dabei steht jetzt nicht mehr KANTS transzendentalphilosophisches Begründungsprogramm im Zentrum der Aufmerksamkeit, sondern mehr seine *Methodologie* und die Umrisse einer Heuristik, die KANT zwar angedeutet, aber selber doch nicht ausgeführt hat.

KANTS *Analogiebegriff* ist für seine Philosophie allgemein³ – bis hin etwa zur Kritik der natürlichen Theologie⁴ – bedeutsam, gehört aber primär in diesen Kontext der Methodologie und Heuristik, der in älteren Untersuchungen zur Kantischen Wissenschaftstheorie eine vergleichsweise geringe Beachtung gefunden hat.⁵ Zunächst mag es verwundern, dass ein „Systemdenker“ wie KANT der *Analogie* überhaupt an entscheidenden Stellen seiner Philosophie eine wichtige Erkenntnisfunktion eingeräumt hat: *Als Analogie* muss sie sich – um eine solche Funktion wahrnehmen zu können – einerseits auf sein transzendentalphilosophisch begründetes, apriorisches System stützen, andererseits dieses System aber eben auch *überschreiten*. Wenn KANT die Analogie gelegentlich in die Nähe zu Induktion, bloßer Wahrscheinlichkeit oder Vermutung rückt,⁶ nimmt er eine epistemologische Herabstufung vor, die gerade auf diesen systemtranszendierenden Charakter abhebt. Hier zeigt sich bei näherer Betrachtung aber zugleich auch, warum die Analogie bei ihm keineswegs als ein unerwünschter „Fremdkörper“ abgetan werden kann, sondern als ein plausibler und sogar notwendiger Bestandteil seiner theoretischen Philosophie angesehen werden sollte. „Notwendig“ meint hier, dass die

2 Vgl. etwa FRIEDMAN 1974, 1992, 2001 und KITCHER 1981, 1985, 1994; Näheres zu FRIEDMANS (späterem) Rekonstruktionsansatz in MÜLLER 2000.

3 Siehe hierzu die Überblicksdarstellungen LAKEBRINK 1960 und vor allem PIEPER 1996. Eine detaillierte Untersuchung des Kantischen Analogiebegriffs bietet TAKEDA 1969, dessen Ausführungen zum Thema „Kant und die moderne Physik“ (vgl. S. 154–170) allerdings in wissenschaftstheoretischer und auch fachwissenschaftlicher Hinsicht problematisch sind. Eine gründliche Analyse der „Analogien der Erfahrung“ liefert MELNICK 1973.

4 Vgl. zur Verwendung dort GILL 1984.

5 Vgl. etwa BRITTAN 1978, GLOY 1976, HOPPE 1969, PLAASS 1965 und SCHÄFER 1966. BUCHDAHL 1992 setzt dagegen die in älteren Untersuchungen (vgl. hier insbesondere BUCHDAHL 1969) begonnene ‚methodologisierende‘ Kant-Interpretation fort und ist ein Anknüpfungspunkt für eine Deutung der Kantischen Wissenschaftstheorie, wie sie auch in diesem Beitrag vertreten wird.

6 Siehe etwa KANT 1783, § 31 (AA IV, 313) oder KANT 1800, §84 (AA IX, 132f.); vgl. auch CALLANAN 2008, S. 747f.

Analogie dazu dient, zwei Prämissen, die für KANTS theoretische Philosophie grundlegend erscheinen, miteinander in Einklang zu bringen. Die erste Prämisse besteht darin, dass wissenschaftliches Wissen die Form der systematischen und logisch gegliederten Einheit verlangt. Diese Forderung ist ein wesentliches Element der Transzendentalen Methodenlehre der ersten Kritik⁷ und wird insbesondere in der Vorrede zu den *Metaphysischen Anfangsgründen der Naturwissenschaft* näher ausgeführt.⁸ Die zweite Prämisse ist in KANTS theoretischer Philosophie an vielen Stellen greifbar und besteht darin, dass das wissenschaftliche System nicht rein formal bleiben darf, sondern darauf angelegt ist, auch eine „materiale“ *Vereinlichung* der Erfahrungswirklichkeit zu leisten, d. h. eine synthetische und objektive Einheit der Erfahrung herbeizuführen. Die beherrschende Erkenntnisfunktion der Analogie bei KANT ist in der Tat die *Einheit der Erfahrung*.⁹ Ziel dieses Beitrag ist es, einen Überblick über den so verstandenen Analogiebegriff und seine Ausdifferenzierungen im Kontext der Kantischen Transzendentalphilosophie zu geben und auf einige neuere Bezüge in der Theorie der Naturwissenschaften aufmerksam zu machen. Hierzu werden zunächst KANTS allgemeiner Analogiebegriff und die wichtige Differenzierung von schematischer und symbolischer Analogie vorgestellt (Teil 2). Beide Typen werden im Anschluss, getrennt voneinander, näher analysiert (Teile 3, 4). Die in diesen Teilen gegebenen Hinweise zur Aufnahme in der modernen Theorie der Naturwissenschaften sind weder auf Vollständigkeit angelegt, noch liefern sie systematische Detailanalysen zur Transformation des Kantischen Analogiebegriffs. Ihr Zweck ist lediglich, darauf hinzuweisen, dass KANTS Analogiebegriff keineswegs obsolet geworden ist, sondern Anschlussmöglichkeiten für aktuelle wissenschaftstheoretische Diskussionen geboten hat und weiter bietet. Hier geht es nicht darum, einmal mehr einer anachronistischen Hagiographie Vorschub zu leisten, die behauptet, die entscheidenden und letztgültigen Einsichten in die Theorie der Naturwissenschaften seien bereits KANT zu verdanken. Vielmehr geht es darum zu zeigen, dass KANTS Analogiebegriff als wichtiges Element seiner Methodenlehre und Heuristik auch ohne Verpflichtung auf seinen starren und überkommenen Apriorismus fruchtbar gemacht und als Deutungsoption für die Wissenschaftstheorie der Naturwissenschaften offen gehalten werden kann.

2. Kants Analogiebegriff: Differenzierungen und Funktionen

2.1 Mathematische und philosophische Analogien: Konstitutiver und regulativer Gebrauch

KANTS *allgemeine* Bestimmung der Analogie in der Philosophie zu Beginn der *Transzendentalen Analytik* geht unmittelbar auf die ursprüngliche terminologische Festlegung in der griechischen Mathematik¹⁰ zurück, also im Wesentlichen auf die Gleichsetzung zweier Zahlenverhältnisse. Zugleich setzt er die philosophische Analogie in *wesentlicher* Hinsicht von der mathematischen Analogie ab:

7 Vgl. KANT 1787, B860–873 (AA III, 538–546). Hier und im Folgenden wird vorwiegend auf die B-Auflage der *Kritik der reinen Vernunft* Bezug genommen; die A-Auflage wird nur im Einzelfall herangezogen.

8 Vgl. KANT 1786, AIII–XXIV (AA IV, 465–479).

9 Siehe insbesondere KANT 1787, B218–223 (AA III, 158–161).

10 Zur Analogie dort siehe die detaillierte Untersuchung BÄRTHLEIN und TALANGA 1995; vgl. allgemein auch LLOYD 1966.

„In der Philosophie bedeuten Analogien etwas sehr Verschiedenes von demjenigen, was sie in der Mathematik vorstellen. In dieser sind es Formeln, welche die Gleichheit zweier Größenverhältnisse aussagen, und jederzeit constitutiv, so daß, wenn drei Glieder der Proportion gegeben sind, auch das vierte dadurch gegeben wird, d. i. construiert werden kann. In der Philosophie aber ist die Analogie nicht die Gleichheit zweier quantitativen, sondern qualitativen Verhältnisse, wo ich aus drei gegebenen Gliedern nur das Verhältniß zu einem vierten, nicht aber dieses vierte Glied selbst erkennen und a priori geben kann, wohl aber eine Regel habe, es in der Erfahrung zu suchen, und ein Merkmal, es in derselben aufzufinden.“¹¹

KANTS Bestimmung der Analogie allgemein wie auch die Abgrenzung von mathematischer und philosophischer Analogie werfen eine Reihe von Fragen auf, die nur im weiteren Kontext der *Transzendentalen Analytik* eine – oft nicht eindeutige – Beantwortung erfahren: In welchem Sinn etwa können „qualitative“ Verhältnisse überhaupt gebildet werden, und wie können sie untereinander eine Gleichheit bilden? Was macht den Unterschied quantitativer und qualitativer Verhältnisse aus, so dass zwar erstere, nicht aber letztere zur Bestimmung eines nicht bekannten, vierten Relationsgliedes durch die Analogie ausreichen? Wie sind im einen und im anderen Fall die einzelnen Analogiepartner überhaupt bestimmt? Bevor solche Fragen näher ins Auge gefasst werden, scheint es sinnvoll, das allgemeine Merkmal der Analogie herauszustellen, das die ganze Diskussion beherrscht und bis in die einzelnen Verästelungen hinein strukturiert: Eine Analogie wird hergestellt zwischen zwei *Verhältnissen*, und sie sagt die *Gleichheit* beider Verhältnisse aus. Dies gilt eben nicht nur für die mathematische, sondern auch für die (hier allein näher zu untersuchende) philosophische Analogie. Die Differenz beider Arten von Analogien liegt also *nicht* darin, dass es der Philosophie an Regeln mangeln würde, die eine Verhältnisgleichheit zum Ausdruck bringen könnten, sondern vielmehr darin, dass in der Philosophie die *Regeln der Analogie* (wie sie hier der Kürze halber heißen sollen) nicht hinreichen, um ein unbekanntes, viertes Glied mit Hilfe der Verhältnisgleichheit eindeutig zu bestimmen. Vielmehr leiten in der Philosophie die Regeln nur im *Aufsuchen* des vierten Gliedes der Proportion (Abb. 1).

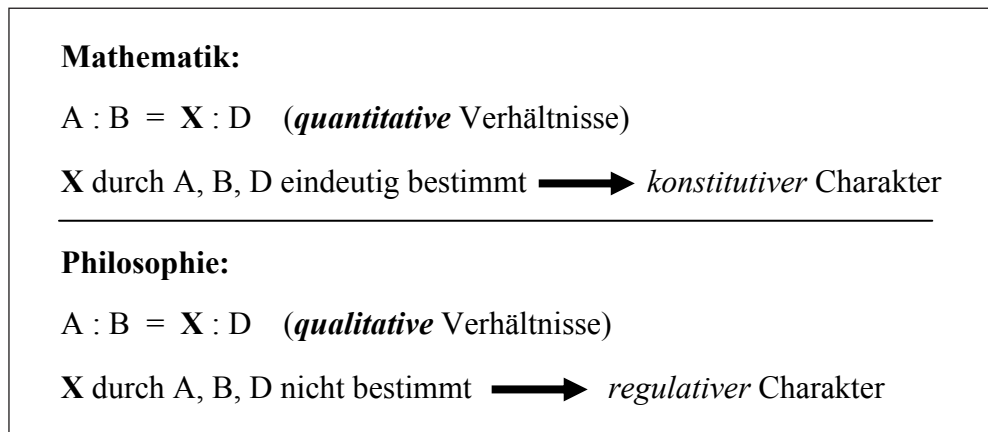


Abb. 1 Der Unterschied zwischen mathematischer und philosophischer Analogie

¹¹ KANT 1787, B222 (AA III, 160). Alle Hervorhebungen in Zitaten stammen von den zitierten Autoren.

Im Falle der Mathematik wird das vierte Glied X durch die Analogie eindeutig bestimmt. In KANTS Terminologie, wie sie im obigen Zitat hervortritt, heißt dies: Die Analogien der Mathematik sind *konstitutiv*. Im Falle der Philosophie dagegen kann die Analogie nur dazu dienen, das vierte Glied X zu suchen, nicht aber, es zu bestimmen. Die Analogien der Philosophie sind „nicht konstitutiv, sondern bloß regulativ“. ¹²

Diese grundsätzliche Differenz wurzelt in KANTS Unterscheidung mathematischer und dynamischer Kategorien, der eine Unterscheidung in der Anwendung der Kategorien auf mögliche Erfahrung korrespondiert. ¹³ Diese Anwendung ist zentral für KANTS Analogiebegriff: Im ersten (mathematischen) Fall geht es darum, die Mannigfaltigkeit der Erscheinungen in der reinen Anschauung zusammenzufassen, wobei diese Zusammenfassung auf die Homogenität der Erscheinungen abhebt. ¹⁴ Im zweiten (dynamischen) Fall geht die Anwendung auf das „Dasein einer Erscheinung überhaupt“, ¹⁵ wobei die erforderliche Synthesis eine Verbindung des Mannigfaltigen stiftet, „so fern es notwendig zu einander gehört, wie z. B. das Accidens zu irgend einer Substanz, oder die Wirkung zu der Ursache – , mithin auch als ungleichartig, doch a priori verbunden vorgestellt wird“. ¹⁶ Es ist hier wichtig zu sehen, dass KANT beiden Anwendungen von Kategorien ganz verschiedene Funktionen beimisst: Es geht zum einen um die Einheit der Erscheinungen in der *Anschauung*, vermöge deren Gleichförmigkeit und Homogenität (intensive und extensive Größe). Diese Einheit ist eine konstruktive, mathematisch herstellbare Einheit der Erscheinungen. Die hierher gehörenden Regeln heißen *konstitutiv*, weil sie Konstruktionsregeln für alle möglichen Erscheinungen sind. ¹⁷ Zum anderen aber geht es um die Einheit der Erscheinungen unter dem Gesichtspunkt der *Existenz*: „Ganz anders muß es mit [den Grundsätzen] bewandt sein, die das Dasein der Erscheinungen a priori unter Regeln bringen sollen. Denn da dieses sich nicht konstruieren läßt, so werden sie nur auf das Verhältnis des Daseins gehen und keine andre als bloß *regulative* Principien abgeben können“. ¹⁸ Das Dasein einer Erscheinung ist erfahrbar, aber weder konstruierbar noch antizipierbar. Die hier aus den apriorischen Prinzipien fließenden Regeln können daher keine Bestimmung einer Erscheinung leisten, „sondern wenn uns eine Wahrnehmung in einem Zeitverhältnisse gegen andere (obzwar unbestimmte) gegeben ist, so wird a priori nicht gesagt werden können: welche andere und wie große Wahrnehmung, sondern wie sie dem Dasein nach in diesem modo der Zeit mit jener nothwendig verbunden sei“. ¹⁹ Es läßt sich somit feststellen, dass sowohl konstitutive als auch regulative Analogieregeln bei KANT auf das Verhältnis von Erscheinungen abzielen. Während es – im Falle der Mathematik – die konstitutiven Regeln ermöglichen, eine Erscheinung zu konstruieren (d. h. nach obigem Schema: das X eindeutig zu bestimmen), können die regulativen Regeln im Falle der philosophischen Analogie das unbekannte X nicht geben, sondern nur der weiteren Suche aufgeben, wobei die apriorischen Prinzipien die Suche nach der „entsprechenden“ Erscheinung leiten.

Mit dem letzten Hinweis ist nun „die linke Seite“ der obigen Analogieschemata angesprochen, die mit Blick auf KANTS Anlehnung des Analogiebegriffs an die Mathematik leicht

¹² Ebenda, B223 (AA III, 161).

¹³ Siehe ebenda, B110 (AA III, 95); zu dieser Grundunterscheidung vgl. auch die eingehende Analyse in CALLANAN 2008.

¹⁴ KANT 1787, B199–203 (AA III, 146–149).

¹⁵ Ebenda, B199 (AA III, 147).

¹⁶ Ebenda, B202, Anm. (AA III, 148).

¹⁷ Vgl. ebenda, B221 (AA III, 159f.).

¹⁸ Ebenda, B221f. (AA III, 160).

¹⁹ Ebenda, B222 (AA III, 160).

missverstanden werden könnte: Im Falle der Proportion in der *Mathematik* sind alle vier Glieder in der Verhältnisgleichheit zueinander homogen; es sind Zahlen oder, allgemeiner gesagt, Größen. KANTS Einführung der Analogie erfolgt nun zwar mit Bezug auf die Mathematik, nimmt aber von vornherein einen vergleichenden transzendentalphilosophischen Standpunkt auf Mathematik und Philosophie als apriorische Wissenschaften ein. Deshalb darf, genau genommen, im ersten Schema (Abb. 1) die linke Seite der „Verhältnisgleichung“ bereits in Bezug auf die Mathematik *nicht* als ein einfaches Größenverhältnis gelesen werden, sondern sie symbolisiert eine (konstitutive) transzendentalphilosophische Anweisung, wie – ausgehend von den mathematischen Grundsätzen des Verstandes – ein Zahl- bzw. Größenverhältnis (rechts) zu konstruieren ist. Entsprechend handelt es sich im Falle der Philosophie (links) um die Symbolisierung einer (regulativen) transzendentalphilosophischen Anweisung, wie – ausgehend von den dynamischen Grundsätzen des Verstandes – eine Erscheinung aufzusuchen ist, deren Existenz und Beziehung zu einer gegebenen Erscheinungen auf Grund dieser Grundsätze geltend gemacht werden kann. Dass KANT die Analogie allgemein als eine Verhältnisgleichheit bestimmt, weist darauf hin, dass er es mit ihrer *einheitsstiftenden* Funktion ernst meint: Auf der „zu bestimmenden“ Seite der Gleichheit (rechts) geht es ja um das Verhältnis von empirischen Erscheinungen (oder empirischen Regeln²⁰), auf der „bestimmenden“ Seite (links) um ein Verhältnis transzendentaler Natur. Es werden dort apriorische Festlegungen getroffen, die als Bedingungen der Möglichkeit von Erfahrung überhaupt fungieren (oder denen jedenfalls Erfahrung genügen muss, um sich als *wissenschaftliches* Wissen zu qualifizieren²¹). Insbesondere auch in den *wissenschaftstheoretisch* relevanten Verwendungen von „Analogie“ geht KANT von dieser einheitsstiftenden Verhältnisgleichheit aus.

2.2 Ähnlichkeit, Hypotypose, Versinnlichung: Schematische und symbolische Analogien

Die beiden Seiten der Verhältnisgleichheit der Analogie beziehen sich also auf die *Bedingungen* der Erkenntnis hier und auf das *Material* der Erkenntnis dort. In den *Prolegomena* deutet KANT mit Hilfe des Begriffs der Ähnlichkeit an, welche spezifische Erkenntnisleistung der Analogie hieraus resultiert: Es ist ihm zu tun um die „Erkenntniß [...] *nach der Analogie*, welche nicht etwa, wie man das Wort gemeiniglich nimmt, eine unvollkommene Ähnlichkeit zweier Dinge, sondern eine vollkommene Ähnlichkeit zweier Verhältnisse zwischen ganz unähnlichen Dingen bedeutet“.²² Hier wird besonders deutlich, dass die durch die Analogie ermöglichte Erkenntnis allein auf *Verhältnisbeziehungen* beruht. Die Gegenstände in einer Analogie können so unähnlich sein wie sie wollen – z. B. kann es in ihr um das Handlungsrecht von Personen in der Gesellschaft auf der einen Seite und die Kräfte physischer Körper in der Mechanik auf der anderen Seite gehen.²³ Die Analogie zwischen beiden Bereichen stützt sich nicht auf Personen und Kräfte, sondern auf die *strukturelle Ähnlichkeit* von Verhältnissen. Konkret stützt sie sich in dem von KANT angeführten Beispiel auf den reziproken und symmetrischen Charakter von Interaktionen: Das Handeln und das Erleiden von Handlungen unter Individuen und die physische Wechselwirkung von Körpern, die wechselseitigen Kräften ausgesetzt sind, weisen in diesen Strukturmerkmalen große Ähnlichkeit auf.

20 Dieser Zusatz ist notwendig in Hinblick auf die „symbolischen Analogien“; vgl. hierzu Teil 2.2 und Teil 4.

21 Auch dieser Zusatz erfolgt mit Blick auf die „symbolischen Analogien“ (vgl. Anm. 20).

22 KANT 1783, §58 (AA IV, 357).

23 Vgl. das Beispiel in KANT 1783, §58, Anm. (AA IV, 357f.).

Dies trifft auch auf die *wissenschaftstheoretisch* relevanten Analogien KANTS zu: Sie setzen *nicht* auf eine irgendwie geartete Gegenstandsähnlichkeit, sondern auf eine spezifische *Verhältnisbeziehung*, nämlich die zwischen apriorischen Verhältnissen und unmittelbar sinnlichen Verhältnissen (oder verallgemeinernden empirischen, insbesondere gesetzlichen Verhältnissen²⁴). Ihre Funktion ist es, so könnte man pointiert sagen, aus Denkverhältnissen Erfahrungsverhältnisse zu machen.²⁵ KANTS Analogien sind folglich immer auch sinnliche Darstellungen apriorischer Begriffe und deren Beziehungen. Als „Versinnlichungen“ gehören sie unter die *Urteilkraft*, genauer unter die Hypotypose²⁶ als Funktion der Urteilkraft: „Die Hypotypose vergegenwärtigt der sinnlichen Anschauung etwas, das nicht innerhalb deren Reichweite liegt.“²⁷ Bei dem „Etwas“, das hier versinnlicht wird, kann es sich entweder um einen reinen Verstandesbegriff oder aber um einen Vernunftbegriff, dem gar keine Anschauung entsprechen kann, handeln. Entsprechend sind hier zwei verschiedene Fälle zu unterscheiden: die „schematische“ und die „symbolische“ Hypotypose.²⁸

Beide sind nicht bloße sinnliche Zeichen für Begriffe, sondern in ihrer Struktur ausdrücklich „analogisch“. Dies ist besonders für die *symbolische* Analogie zu unterstreichen: „Symbolisch“ heißt hier *nicht* soviel wie „semiotisch“, was KANT besonders der Mathematik ins Stammbuch schreibt: Der Buchstabe, der einen mathematischen Begriff vertritt, ist ein Zeichen, aber kein Symbol, weil er „gar nichts zu der Anschauung des Objects Gehöriges“ enthält.²⁹ Dies aber ist beim Symbol unbedingt der Fall: Es vermittelt durchaus eine *intuitive* Vorstellung vom Bezeichneten, und tut dies auf analogische Weise, indem es „die bloße Regel der Reflexion [...] auf einen ganz andern Gegenstand, von dem der erstere nur das Symbol ist“,³⁰ anwendet. In diesem Sinne kann etwa der gute monarchische Staat durch den beseelten Körper, der despotische Staat dagegen durch die mechanische Handmühle symbolisiert werden. Solche symbolischen Analogien beruhen natürlich wiederum auf keinerlei Gegenstandsähnlichkeit, sondern sie „transportieren“ die Art und Weise, wie der symbolisierte Gegenstand zu *reflektieren* ist, etwa unter dem Begriff der Kausalität. Insofern ist auch die symbolische Analogie, genau wie die schematische Analogie, formaler Natur. Worin liegt dann aber überhaupt der genauere Unterschied zur schematischen Analogie?

Die *schematische* Analogie versinnlicht reine Verstandesbegriffe, indem sie ihnen, wie KANT sagt, die korrespondierende Anschauung *a priori* gibt. Die wichtigste Erkenntnisfunktion der schematischen Analogie ist es, auf diesem Wege die *Realität* der reinen Verstandesbegriffe aufzuweisen. Die *symbolische* Analogie dagegen dient nicht der Versinnlichung eines *Verstandesbegriffs*, sondern bezieht sich auf einen *Vernunftbegriff*, etwa den Begriff der *Welt* als ganzer. Da Vernunftbegriffe nach KANT durch *keine* sinnliche Anschauung angemessen dargestellt werden können,³¹ ist deren *analogische* Versinnlichung nur „indirekter“ Art. Das Weltganze, vorgestellt als Uhrwerk, ist Teil einer solchen symbolischen Analogie, wie

24 Zu diesem Zusatz vgl. wiederum Anm. 22 und 23.

25 „Transzendentalphilosophie wäre so verstanden der Versuch, die Weltverhältnisse nach Analogie mit den Denkverhältnissen aufzuschlüsseln und in das Konzept eines umfassenden Vernunftkonstrukts zu integrieren“ (PEPER 1996, S. 96f.).

26 „Hypotypose“ meint, dem griechischen Wortursprung nach, sowiel wie Entwurf, Umriss oder auch Abbildung. Zur terminologischen Verwendung in der antiken sowie der Kantischen Philosophie siehe BUCK 1974.

27 DE MAN 1996, S. 431.

28 Vgl. KANT 1790b, §59 (AA V, 351).

29 Ebenda (AA V, 352).

30 Ebenda.

31 Ebenda (AA V, 351).

auch Gott, vorgestellt als Uhrmacher.³² KANT legt großen Wert darauf, dass eine solche analogische Rede des „als ob“ den Vernunftideen keine (unerlaubten) Prädikate der Erfahrungswirklichkeit zuspricht. Dies legt die Frage nahe, worin ihr möglicher Nutzen für eine Wissenschaftstheorie der Naturwissenschaften bestehen kann. Bevor dieser Frage nachgegangen wird, sollen die schematischen Analogien näher untersucht werden, denn für das Geschäft der Gesetzes- und Theoriebildung der Naturwissenschaften sind sie zweifellos vorrangig.

3. Die Analogien der Erfahrung als *schematische Analogien*

Die herausgehobene Stellung der Analogien der Erfahrung für die Wissenschaftstheorie der Naturwissenschaft unterstreicht KANT in den *Prolegomena*, wenn er sie als die „eigentlichen Naturgesetze, welche dynamisch heißen können“,³³ bezeichnet. Für die empirischen Wissenschaften haben *diese* Analogien eine Aufgabe zu leisten, die sich für die reine Mathematik gar *nicht* stellt: Die Mathematik vergewissert sich der Existenz ihrer Gegenstände durch symbolische Konstruktion in der reinen Anschauung. Dagegen müssen die Objekte der Naturwissenschaft *als Gegenstände* aus der Mannigfaltigkeit der Wahrnehmungen zunächst durch gesetzmäßige Verknüpfungen gewonnen und in einen erfahrungsmäßigen Zusammenhang gebracht werden. Es geht KANT also um die Frage, in welcher Weise mehrere Erscheinungen, die in einem Verhältnis zueinander stehen, miteinander verknüpft werden, damit von einem *Dasein* der Erscheinungen die Rede sein kann, damit *eigentliche* Erfahrung, als gesetzmäßige Verknüpfung der Erscheinungen, möglich wird. In einem *Verhältnis* stehen dabei alle Erscheinungen *per se*, weil sie der reinen *Zeit* als Form des inneren Sinns unterliegen. KANT bringt dies in der ersten Auflage der *Kritik der reinen Vernunft* besser auf den Punkt als in der zweiten, wenn er als „Prinzip“ der Analogien der Erfahrung formuliert: „Alle Erscheinungen stehen, ihrem Dasein nach a priori unter Regeln der Bestimmung ihres Verhältnisses untereinander in einer Zeit.“³⁴

Es muss hier darauf verzichtet werden, zu zeigen, *wie* KANT die Analogien aus den drei Kategorien der Relation und deren Bezugnahme auf die reine Zeit gewinnt und begründet.³⁵ Es geht dabei um die Relationen (1.) Substanz und Akzidenz, (2.) Ursache und Wirkung und (3.) Gemeinschaft bzw. Wechselwirkung.³⁶ Ihnen korrespondieren die drei Zeitmodi Beharrlichkeit, Aufeinanderfolge und Zugleichsein. Die zugehörigen „Regeln aller Zeitverhältnisse der Erscheinungen“³⁷ sind gerade die Analogien der Erfahrung. Die hier von KANT geführte Argumentation konstituiert die erste, *apriorische* Seite der Analogien. Die zweite, *empirische* Seite bekommt durch die apriorische Seite gleichsam „ihren Stempel aufgedrückt“. KANTS gerade zitiertes *Prinzip* der Analogien der Erfahrung kann nämlich so übersetzt werden: Erkenntnis realer Objekte setzt voraus, dass sie als Erscheinungen untereinander in einem analogen Verhältnis der notwendigen Verknüpfung stehen, wie es die kategorialen Relationsbegriffe unter Bezugnahme auf die reine Zeit tun. Die drei Analogien werden nun, auch in Hinblick auf ihre Aktualisierungsmöglichkeiten, etwas näher beleuchtet, wobei die zweite Analogie (auf Grund ihrer Bedeutung für die empirische Analogie) zuletzt behandelt wird.

32 Vgl. KANT 1783, §57 (AA IV, 357).

33 Ebenda, § 25 (AA IV, 307); vgl. THÖLE 1998, S. 267.

34 KANT 1781, A176 (AA IV, 121); vgl. KANT 1787, B218 (AA III, 158).

35 Siehe hierzu näher MELNICK 1973, chap. I, sowie THÖLE 1998, S. 268–275.

36 Vgl. KANT 1787, B106 (AA III, 93).

37 Ebenda, B219 (AA III, 159).

3.1 „Erste Analogie. Grundsatz der Beharrlichkeit der Substanz. Bei allem Wechsel der Erscheinungen beharret die Substanz, und das *Quantum* derselben wird in der Natur weder vermehrt noch vermindert“³⁸

Wie ist dieser Satz zu verstehen, wie ist insbesondere das „Quantum der Substanz“ mit dem Zeitmodus der Beharrlichkeit in Verbindung zu bringen? Wir erleben die Mannigfaltigkeit von Wahrnehmungen sukzessive, in einer zeitlichen Abfolge, wir ordnen diese zeitlich an und etablieren anhand empirischer Erscheinungen objektive Verfahren der Zeitmessung, die wiederum dazu dient, objektiven Wandel in den empirischen Gegebenheiten zu konstatieren. Da die innere und absolute Zeit nicht wahrnehmbar ist, kann der Grund der Möglichkeit der Zeitordnung nicht in der reinen Zeit selber bestehen, also nicht darin, dass die Erscheinungen dieser reinen Zeit unmittelbar koordiniert werden. Es muss vielmehr etwas in der Wahrnehmung geben, was objektive Zeitbestimmung ermöglicht, was die reine Zeit als empirisches Bezugssystem vertritt,³⁹ oder was „die Zeit überhaupt vorstellt, und an dem aller Wechsel oder Zugleichsein durch das Verhältniß der Erscheinungen zu demselben [...] wahrgenommen werden kann“.⁴⁰ Dies kann nur etwas selber Beharrendes sein, ist gleichsam ein empirisches „Gegenstück“ zur apriorischen Substanz in der Relationskategorie von Substanz und Akzidenz. Dieses Gegenstück bezeichnet KANT als die „Substanz in der Erscheinung“.⁴¹

Die *erste* Analogie sagt aus, dass empirische Substanzbestimmungen möglich sein müssen, um objektive Zeitverhältnisse im Sinne von Zugleichsein und Aufeinanderfolge möglich zu machen. Zugleich fordert sie dazu auf, solche empirischen Substanzbestimmungen vorzunehmen. KANT dazu in einem plastischen Beispiel: „Ein Philosoph wurde gefragt: wie viel wiegt der Rauch? Er antwortete: ziehe von dem Gewichte des verbrannten Holzes das Gewicht der übrigbleibenden Asche ab, so hast du das Gewicht des Rauchs“.⁴² Die äußere Form der Analogie im eingangs beschriebenen Sinn einer Verhältnisgleichheit liegt hier auf der Hand, wobei der Bestimmung der „Unbekannten“ die Auffindung der „Substanz der Erscheinung“ entspricht (Abb. 2).⁴³

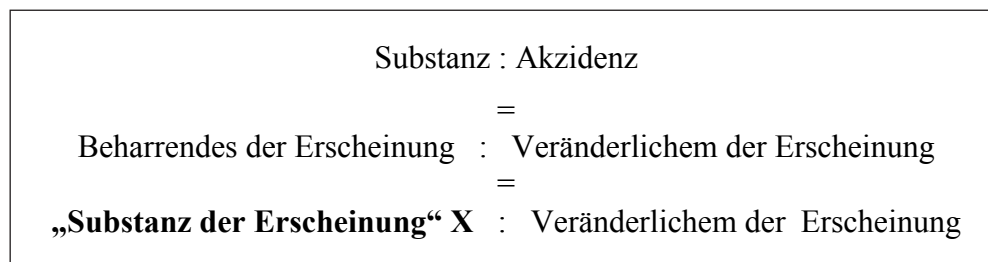


Abb. 2 Die erste Analogie der Erfahrung

38 Ebenda, B225 (AA III, 162).

39 Dies wird gut ausgeführt in THÖLE 1998, S. 276.

40 KANT 1787, B225 (AA III, 162).

41 Ebenda.

42 Ebenda (AA III, 164).

43 Ich folge in dieser Schematisierung wie auch den beiden nachfolgenden Schemata 3 und 4 im Wesentlichen PIEPER 1996, S. 98f., nehme aber in den Schemata einige Konkretisierungen und Ergänzungen vor.

Als *regulativer* Grundsatz kann die erste Analogie natürlich keinen Katalog von „Substanzen der Erscheinung“ bereitstellen. Sie fordert uns vielmehr auf, einen solchen Katalog empirisch zu ermitteln. Dass KANTS eigene Formulierung der Analogie *expressis verbis* den Ausdruck „Quantum“ der Substanz verwendet, ist oft mit der Masseerhaltung der Newtonschen Mechanik in Verbindung gebracht worden. KANT selber stellt diese Beziehung zur ersten Analogie nicht nur im obigen „Rauchbeispiel“ der *Kritik der reinen Vernunft*, sondern auch in den *Metaphysischen Anfangsgründen* her.⁴⁴ Dass er allgemein an eine empirische Substanzerhaltung *quantitativer* Art denkt, ist offenkundig und wird plausibel auch dadurch, dass die „Substanz der Erscheinung“ als in der Anschauung gegeben grundsätzlich auch einer Zahlbestimmung unterliegen können *muss*.

Systematisch wichtig ist dabei, dass KANTS Argumentation für die Notwendigkeit dessen, was in der Sprache der modernen Physik „Erhaltungsgröße“ heißt, bei der Nichtwahrnehmbarkeit der Zeit selber seinen Ausgang nimmt: Die Erhaltungsgrößen stehen auf empirischer Seite für die Zeit ein. Anders gesagt: Die „Zeitlosigkeit“ der Substanzkategorie auf der apriorischen Seite wird durch die erste Analogie in die Forderung nach Aufweis von Erhaltungsgrößen „X“ auf der empirischen Seite des Verhältnisses transformiert.

Die große Bedeutung von Erhaltungsgrößen für die moderne theoretische Physik braucht hier nicht dargelegt zu werden. Hier verhält es sich nun so, dass das Noethersche Theorem die Erhaltungssätze ganz *allgemein* als Invarianzforderungen an deren Naturgesetze aufweist. Der Energieerhaltungssatz ist danach z. B. eine Folge der Homogenität des Zeitparameters. Carl Friedrich VON WEIZSÄCKER war wohl der erste, der von dieser Sicht der modernen Physik den Bogen zurück zu KANTS erster Analogie geschlagen hat:

„Die Notwendigkeit des ‚Substrats‘ [d. h. KANTS ‚Substanz der Erscheinung‘] folgert Kant daraus, dass die Zeit für sich nicht wahrgenommen werden kann. Für den Physiker folgt die Unmöglichkeit, ‚die Zeit für sich wahrzunehmen‘, aus der Homogenität der Zeit. Wenn alle Gleichungen der Physik invariant sind gegen eine Änderung des Zeitnullpunkts, so kann man durch kein physikalisches Phänomen feststellen, welchen Wert die ‚absolute Zeitkoordinate‘ jetzt hat; der Begriff einer solchen absoluten Zeitkoordinate ist dann physikalisch sinnlos. Hingegen kann man Eigenschaften von Gegenständen feststellen, die sich gesetzmäßig ändern, und an diesen Änderungen die Zeitdifferenz ablesen. So scheint mir Einsteins Analyse des Zeitbegriffs durch Studium des möglichen Gangs von Uhren genau im Sinne Kants gedacht. Insofern jeder Gegenstand, dessen Eigenschaften sich gesetzmäßig ändern, eine Uhr ist, und jeder Gegenstand unter die Substanzkategorie fällt, kann man sehr wohl sagen, daß [...] alles, was unter die Substanzkategorie fällt, ‚die Zeit vorstellt‘.“⁴⁵

Die hier ausgezogene, starke Parallele zwischen Zeit und Erhaltungsgrößen bei KANT und in der modernen Physik macht die erste Analogie der Erfahrung besonders für die Quantenmechanik und deren Objektconstitution interessant, was hier nicht näher ausgeführt werden kann.⁴⁶

44 Siehe KANT 1786, „Lehrsatz 2“ zur Mechanik nebst „Beweis“ (AA IV, 541f.).

45 VON WEIZSÄCKER 1964, S. 163.

46 Eine sehr bedenkenswerte Darstellung der quantenmechanischen Objektconstitution aus Kantischer Perspektive gibt MITTELSTAEDT 1994.

3.2 „Dritte Analogie. Grundsatz des Zugleichseins, nach dem Gesetze der Wechselwirkung, oder Gemeinschaft. Alle Substanzen, so fern sie im Raume als zugleich wahrgenommen werden können, sind in durchgängiger Wechselwirkung“⁴⁷

Auch die dritte Analogie der Erfahrung hat die Erkenntnisfunktion, Erscheinungen zu einer Einheit zu bringen. Sie handelt aber spezifisch von Erscheinungen *gleichzeitig* existierender Objekte. *Gleichzeitig* können Objekte nur existieren, wenn die Wahrnehmung jedes einzelnen Objektes bzw. dessen Zustands zeitlich wechselseitig aufeinander folgen kann. Um dies an einem Beispiel KANTS zu verdeutlichen: Beobachtungen am Mond und an der Erde müssen in ihrer zeitlichen Reihenfolge austauschbar sein, wenn beide Himmelskörper zugleich existieren sollen.⁴⁸ Das Zugleichsein kann nun nicht in den Wahrnehmungen selber gesucht werden, denn diese werden stets sukzessive durchlaufen, noch kann sie in deren Beziehung zur reinen Zeit bestehen, denn die Zeit ist nicht wahrnehmbar. Die Vorstellung des Zugleichseins ist vielmehr eine Verstandesleistung und beruht auf einer Schematisierung der Wechselwirkungskategorie. Auch hier ist die äußere Form der Analogie die einer Verhältnissgleichheit (Abb. 3).

Ursache \rightleftarrows Wirkung = Erscheinung $_1(t^*)$: Erscheinung $_2(t^*)$

Abb. 3 Die dritte Analogie der Erfahrung

Genau das ist objektiv gleichzeitig, was in Wechselwirkung miteinander steht, was sich zueinander *reziprok* wie Ursache und Wirkung verhalten *kann*. (Die entgegengesetzten Pfeilrichtungen deuten diese Reziprozität auf der apriorischen Seite der Analogie an.) Durch die dritte Analogie wird *objektive Gleichzeitigkeit* konstituiert, obwohl die Wahrnehmung selber jederzeit sukzessiv erfolgt. Die Objektivierung wird dadurch erreicht, dass die Wahrnehmung – im Falle einer komplexen Objektwahrnehmung ist das in KANTS Terminologie die „Synthesis der Apprehension dieses Mannigfaltigen“⁴⁹ – nacheinander in beide Richtungen durchlaufen werden kann. Diese Forderung nach Umkehrbarkeit der Wahrnehmungsoperationen im Raum wie auch KANTS allgemeinere Ausführungen zur Kausalität machen klar, dass die Zeit t^* im obigen Schema *nicht* als ein isolierter Moment einer Newtonschen absoluten Zeit gelesen werden kann, sondern dass KANT hier eine „raum-zeitliche“ Bestimmung von Gleichzeitigkeit vornimmt, die nicht ohne materiellen „Wahrnehmungsinput“ an räumlich getrennten Objekten auskommen kann. Die objektive Zeitordnung unterliegt eben, wie KANT am Ende der Analogien sehr deutlich herausstellt, nicht den mathematischen, sondern den *dynamischen* Grundsätzen:

„Diese Einheit der Zeitbestimmung ist durch und durch dynamisch, d. i. die Zeit wird nicht als dasjenige angesehen, worin die Erfahrung unmittelbar jedem Dasein seine Stelle bestimmte, welches unmöglich ist, weil die absolute Zeit kein Gegenstand der Wahrnehmung ist, womit Erscheinungen könnten zusammengehalten werden; sondern die Regel

⁴⁷ KANT 1787, B256 (AA III, 180).

⁴⁸ Vgl. ebenda, B255 (AA III, 181).

⁴⁹ Ebenda, B258 (AA III, 181).

des Verstandes, durch welche allein das Dasein der Erscheinungen synthetische Einheit nach Zeitverhältnissen bekommen kann, bestimmt jeder derselbe ihre Stelle in der Zeit, mithin a priori, und gültig für alle und jede Zeit.“⁵⁰

Der *dynamische* Charakter der Zeitbestimmung erfordert es, KANTS „Zeit“ besser als „Raum-Zeit“ zu verstehen, und auf diese Raum-Zeit beziehen sich auch seine Gleichzeitigkeitsrelationen.⁵¹ Diese Tatsache macht KANTS Diskussion der objektiven Zeitordnung in der dritten Analogie *anschlussfähig* für die Zeittheorien der modernen Physik, wie die Einsteinsche. Hierauf hebt schon VON WEIZSÄCKER ab.⁵²

Natürlich ist die (hier nur angedeutete) Argumentation KANTS zur objektiven Gleichzeitigkeit ganz unvollständig ohne die *zweite* Analogie, denn diese ist für die Konstitution einer *objektiven Zeitfolge* zentral und unverzichtbar.⁵³ Hier soll die zweite Analogie gleichwohl nur unter einem *anderen* Gesichtspunkt, der für die aktuelle Diskussion nicht ohne Interesse ist, angesprochen werden. KANT formuliert sie in der zweiten Auflage seiner ersten *Kritik* folgendermaßen:

3.3 „Zweite Analogie. Grundsatz der Zeitfolge nach dem Gesetze der Causalität. Alle Veränderungen geschehen nach dem Gesetze der Verknüpfung der Ursache und Wirkung“⁵⁴

In der Literatur herrscht weitgehende Einigkeit, dass dieses „Kausalprinzip“ KANTS im Kern die Antwort auf HUMES skeptische Herausforderung beinhalte; weniger Einigkeit herrscht allerdings darüber, worin diese Antwort genau besteht, d. h., welche Ansprüche die zweite Analogie an kausale Erklärung im Einzelnen stellt.⁵⁵ Hier soll es mit einem Blick auf ihre grundlegende Funktion getan sein: Als regulatives Prinzip fordert sie zur kausalen Verknüpfung von Erscheinungen, die zeitlich aufeinanderfolgen, auf. Zur beobachtbaren Wirkung zu einer Zeit ist die zugehörige, zeitlich frühere Ursache aufzusuchen. Das Analogie-Schema sieht also so aus wie in Abbildung 4.

Ursache : Wirkung = **Erscheinung 1** : Erscheinung 2

Abb. 4 Die zweite Analogie der Erfahrung

Auf der Erfahrungsseite gehört Erscheinung 2 zur Wirkung und die aufzusuchende Erscheinung 1 zur Ursache. Dabei wird das „apriorische Verhältnis“ (links) in der heuristischen Funktion der Analogie (rechts) zunächst umgekehrt, denn die aufzusuchende Erscheinung 1

50 Ebenda, B262 (AA III, 184).

51 Vgl. hierzu FRIEDMAN 1992, S. 160f. und 184.

52 Siehe VON WEIZSÄCKER 1964, S. 163.

53 Gute Rekonstruktionen hierzu geben MELNICK 1973, chap. III, und DRYER 1984.

54 KANT 1787, B 232 (AA III, 166).

55 Zu unterschiedlichen Interpretationsansätzen siehe insbesondere VAN CLEVE 1973, DRYER 1984 und CALLANAN 2008.

ist gegenüber der vorliegenden Erscheinung 2 die zeitlich frühere. Wenn für einen ganzen Erfahrungsbereich ähnlicher Erscheinungsarten 1 und 2 ein bestimmtes Kausalgesetz aufgedeckt ist, kann diese Richtung auf der Erfahrungsseite umgekehrt, d. h. gleichsam die unbekannte X nach rechts verschoben werden. Dies zu erreichen, ist Sache der Empirie:

„Wie nun überhaupt etwas verändert werden könne; wie es möglich sei, dass auf einen Zustand in einem Zeitpunkte ein entgegengesetzter im andern folgen könne; davon haben wir a priori nicht den mindesten Begriff. Hierzu wird die Kenntnis wirklicher Kräfte erfordert, welche nur empirisch gegeben werden kann, z. B. der bewegenden Kräfte, oder, welches einerlei ist, gewisser sukzessiven Erscheinungen (als Bewegungen), welche solche Kräfte anzeigen. Aber die Form einer jeden Veränderung, die Bedingung, unter welche sie [...] allein vorgehen kann [...], mithin die Succession der Zustände selbst (das Geschehene) kann doch nach dem Gesetze der Causalität unter den Bedingungen der Zeit a priori erwogen werden.“⁵⁶

Hier soll die zweite Analogie weiter *nicht* auf ihre (zentrale) Bedeutung für die objektive Zeitfolge bei KANT untersucht, sondern es soll allein auf die von KANT angesprochene empirische, insbesondere die wenig beachtete heuristische Funktion in der Ausbildung wissenschaftlicher Erfahrung aufmerksam gemacht werden: Wie alle Analogien der Erfahrung ist auch die zweite *transzendental*, insofern sie Erfahrung zuerst ermöglicht. Sie ist dabei auch für die Ausbildung *empirischer* Analogien wichtig, d. h., sie ermöglicht einen Übergang von einer apriorisch/empirischen-Verhältnisbestimmung, wie sie oben schematisch dargestellt wurde, zu solchen Analogien, die empirisch/empirische-Verhältnisbestimmungen beinhalten und deshalb – in Anschluss an KANTS Bezeichnung dieser Art von Analogie *und* der Induktion als „logische Präsumtionen oder auch empirische Schlüsse“⁵⁷ – auch als *empirische Analogien* bezeichnet werden können.⁵⁸

3.4 Empirische Analogien unter der zweiten Analogie der Erfahrung

Empirische Analogien werden gebildet, wenn nicht auf die Schemata der Analogien der Erfahrung selber reflektiert wird, sondern unmittelbar auf empirische Mannigfaltigkeiten:

„Die Analogie schließt von particularer Ähnlichkeit zweier Dinge auf totale, nach dem Princip der Specification: Dinge von einer Gattung, von denen man vieles Übereinstimmende kennt, stimmen auch in dem Übrigen überein, was wir in einigen dieser Gattung kennen, an andern aber nicht wahrnehmen.“⁵⁹

Diese Bestimmung bezieht sich zunächst nur auf die Analogiebildung bei Dingen einer Gattung. Sie lässt sich aber folgendermaßen auf die Gewinnung empirischer Regularitäten ausdehnen: Wenn zwei Erscheinungen [1] und [2] in einer Ursache-Wirkung-Beziehung stehen, und eine wahrgenommene Erscheinung [4] eine Ähnlichkeit zur Erscheinung [2] aufweist,

⁵⁶ KANT 1787, B 252 (AA III, 178).

⁵⁷ KANT 1800, §84 (AA IX, 133).

⁵⁸ Von “empirical analogies” bzw. “a posteriori analogies” spricht Hernán PRINGE in Abgrenzung von den Analogien der Erfahrung selber als “a priori analogies” (PRINGE 2007, S. 19–22). An seinen kenntnisreichen Versuch einer “transcendental foundation of quantum objectivity” schließen sich die folgenden Ausführungen dieses Abschnitts zur empirischen Analogie in der Quantenmechanik an.

⁵⁹ KANT 1800, §84, Anm. 1 (AA III, 133).

geht die empirische Analogie darauf aus, eine noch unbekannte Erscheinung [3] aufzusuchen, die zu [4] in der gleichen Kausalrelation steht wie [1] zu [2] (Abb. 5).

Erscheinung_U 1 : Erscheinung_W 2 = **Erscheinung_U 3** : Erscheinung_W 4

Abb. 5 Die empirische Analogie

Solche *A-posteriori*-Analogien sind zwar – gegenüber den *a-priorischen* Analogien der Erfahrung – nur von nachgeordnetem Erkenntniswert, aber letztlich für die empirischen Wissenschaften unverzichtbar: Sie dienen der Gewinnung empirischer Einzelgesetze unter der zweiten Analogie der Erfahrung.⁶⁰ Die Unterordnung ist darin begründet, dass in der empirischen Analogie die beiden Relationen der Erscheinungen als *kausale* vorausgesetzt werden müssen, und diese Voraussetzung wird durch die zweite Analogie gerechtfertigt. Ohne die Einbettung in die durch die zweite Analogie der Erfahrung konstituierte objektive Zeitordnung blieben die Erscheinungen [3], [4] unverbunden und könnten gar kein Gegenstand der Erfahrung sein.

Neben der transzendentalphilosophischen Begründung hat aber die Unterordnung der empirischen unter die zweite Analogie auch einen heuristischen Sinn: Die Ähnlichkeit der Erscheinungen gibt zur Suche nach übergreifenden, allgemeinen empirischen Regeln Anlass, die sich (im Erfolgsfalle) als Kausalgesetze qualifizieren können. Dass die „nur“ auf Erscheinungsähnlichkeit basierenden empirischen Analogien tatsächlich zu allgemeinen Naturgesetzen werden, ist selber eine transzendentalphilosophisch motivierte, regulative Idee, ohne die nach KANT Naturwissenschaft gar nicht möglich wäre.⁶¹

Auch die empirische Analogie hat in der neueren Theorie der Naturwissenschaften ihre Spuren hinterlassen. Stellvertretend sei hier auf Niels BOHRs Ausbildung und Rechtfertigung des Korrespondenzprinzips in der Frühgeschichte der Quantenmechanik (1913–1924) verwiesen, das Kantische Bezüge erkennen lässt, die vor allem durch BOHRs Philosophielehrer Harald HØFFDING vermittelt worden sein dürften.⁶² Verkürzt gesagt, spielt das Korrespondenzprinzip bei BOHR die Rolle einer *Maxime*, um ausgehend von der klassischen Theorie (KT) des Elektrons, d. h. von deren Bewegungsbeschreibung B und Strahlungseigenschaften R, empirische Analogien zur quantenmechanischen Bewegungsbeschreibung und Strahlungseigenschaften zu bilden (Abb. 6).⁶³

60 Vgl. KANT 1787, B236–238 und B247f. (AA III, 168–170 und 175f.); für nähere Erläuterungen siehe PRINGE 2007, S. 19–21.

61 Siehe hierzu näher BUCHDAHL 1969, S. 484–530, und BUCHDAHL 1992, S. 183–191. Auf die Notwendigkeit von Naturgesetzen, die sie von allgemeinen empirischen Regeln unterscheidet, kann hier nicht näher eingegangen werden. Sie spielt auch für die Vereinheitlichungsdiskussion (Teil 4) eine wichtige Rolle, die hier unausgeführt bleiben muss.

62 Vgl. HØFFDING 1905 und 1923 zu dessen Analogiedenken. KANTS Einfluss auf BOHRs Philosophie der Physik wird in der Literatur recht kontrovers diskutiert; siehe neben PRINGE 2007 etwa auch FOLSE 1978 und KAISER 1992.

63 Nach PRINGE 2007, S. 21f. und 49–74.

$$KT(B) : KT(R) = QT(B) : QT(R)$$

Abb. 6 BOHRS Korrespondenzprinzip als Maxime zur Bildung empirischer Analogien

Die von BOHR vermutete Korrespondenz diente konkret als heuristisches Werkzeug, um mit Hilfe klassischer Gesetze des Elektrons zu „entsprechenden“ Gesetzen der Quantenmechanik zu gelangen. BOHR selber hat dabei allerdings letztendlich gesehen, dass es zwischen der Elektronenbewegung und der Strahlung als Quantenphänomen (rechts) keine zugleich kausale und raum-zeitlich darstellbare Beziehung geben könne. Deshalb bleibt die von seinem Korrespondenzprinzip geforderte Analogie rein *formaler* Art. Im Sinne KANTS handelt es sich hier bereits um *symbolische* Analogien, weil das Elektron mit seinen quantenmechanischen Strahlungseigenschaften durch die Analogie nicht anschaulich gegeben und kausal dargestellt werden kann, sondern nur im Sinne einer Regel der Reflexion vorgestellt werden kann. Auch BOHR verwendet schließlich diese Bezeichnung:

„[...] ich fühle, besonders wenn die Koppelung wirklich eine Tatsache sein sollte, dass man dann in noch höherem Grade wie bisher seine Zuflucht zu symbolischen Analogien nehmen muss. Eben in letzter Zeit habe ich mir den Kopf zerbrochen in solche Analogie mich hineinzuträumen“.⁶⁴

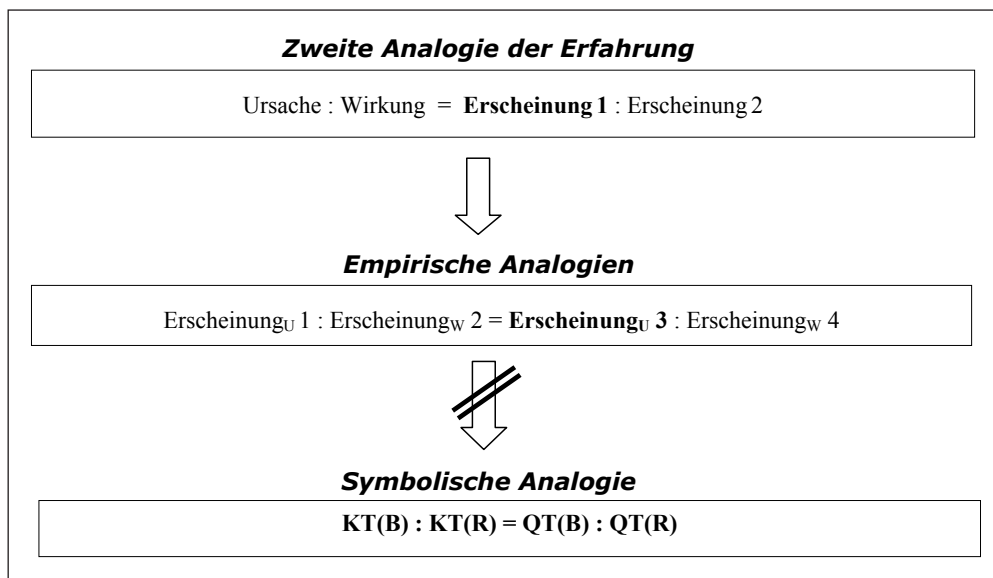


Abb. 7 Von KANTS zweiter Analogie zu BOHRS Korrespondenzprinzip

⁶⁴ Brief von N. BOHR an M. BORN vom 2. Mai 1925 (BOHR 1984, S. 311).

Die von BOHR konstatierte Unmöglichkeit, Quantenobjekte durch empirische Analogien im engeren Kantischen Sinne darzustellen, beruht bekanntlich auf dem Kausalitätsproblem der Quantenmechanik und bringt ihn zur „symbolischen Analogie“ KANTS, die im Folgenden noch im Kontext der neueren Diskussion um theoretische Vereinheitlichung beleuchtet werden soll. Der mit dieser Unmöglichkeit angesprochene „Bruch“ lässt sich zusammenfassend und schematisch so darstellen (Abb. 7).

4. Kants „subjektive formale Teleologie“ als *symbolische Analogie*

Die eingangs skizzierten *symbolischen* Analogien dienen der „indirekten“ Versinnlichung von Vernunftideen. Wenn etwa Gottes Verhältnis zur Welt analog zum Verhältnis des Menschen zu einem von ihm geschaffenen Kunstwerk gesetzt wird, soll dies die Art der Reflexion anzeigen, in der wir das Verhältnis Gott–Welt reflektieren. Einen solchen „symbolischen Anthropomorphismus“⁶⁵ dürfen wir uns zwar erlauben, ihn aber nicht dogmatisieren, d. h. hernehmen, um Gott und der Welt bestimmte Prädikate beizulegen, die wir dem Künstler bzw. dem Kunstwerk zusprechen.

Für die Wissenschaftstheorie scheint die symbolische Analogie zunächst ganz irrelevant. Und doch steht sie bei KANT in Verbindung zu einem wissenschaftstheoretischen Problem, das ihn schon in seiner vorkritischen Zeit umgetrieben hat. Es wurde ihm durch die damalige mathematische Physik – konkret durch das Verhältnis von analytischer Mechanik zu Newtonscher Mechanik – aufgegeben und findet sich in transformierter Form in seinem kritischen System wieder.⁶⁶ Modern gesprochen, geht es hier um das Problem der „theoretischen Vereinheitlichung“. KANTS Versuch, es mit Hilfe einer formalen Teleologie zu lösen, wurde in der neueren wissenschaftstheoretischen Vereinheitlichungsdiskussion durch Michael FRIEDMAN und Philip KITCHER aufgegriffen⁶⁷ und soll daher hier noch kurz zur Sprache kommen.

KANT spricht das Problem u. a. in der *Kritik der Urteilskraft* an, wenn er an der traditionellen Teleologie Kritik übt und zugleich einer anderen, nicht-konstitutiven Teleologie in der Naturforschung Legitimität bescheinigt:

„Arithmetische, geometrische Analogien, imgleichen allgemeine mechanische Gesetze, so sehr uns auch die Vereinigung verschiedener dem Anschein nach von einander ganz unabhängiger Regeln in einem Prinzip an ihnen befremdend und bewunderungswürdig vorkommen mag, enthalten deswegen keinen Anspruch darauf, teleologische Erklärungsgründe in der Physik zu sein [...]. Daher spricht man in der Teleologie, so fern sie zur Physik gezogen wird, ganz recht von der Weisheit, der Sparsamkeit, der Vorsorge, der Wohltätigkeit der Natur, ohne dadurch aus ihr ein verständiges Wesen zu machen (weil das ungereimt wäre); aber auch ohne sich zu erkühnen, ein anderes verständiges Wesen über sie als Werkmeister setzen zu wollen, weil dieses vermessen sein würde: sondern es

65 KANT 1783, §57 (AA IV, 357); siehe hierzu auch PIEPER 1996, S. 100–103.

66 Auf den wissenschafts- und philosophiegeschichtlichen Hintergrund dieser Transformation kann hier nicht eingegangen werden. Siehe hierzu PULTE 1999, S. 301–327; zum wissenschaftstheoretischen Wandel der mathematischen Physik im fraglichen Zeitraum und mit Bezug auf KANT allgemeiner PULTE 2001.

67 Vgl. FRIEDMAN 1974 und KITCHER 1981, 1985. Für eine ausführlichere Behandlung der Vereinheitlichungsansätze von FRIEDMAN und KITCHER siehe PULTE 2005a, S. 90–95.

soll dadurch nur eine Art der Kausalität der Natur nach einer Analogie mit der unsrigen im technischen Gebrauche der Vernunft, bezeichnet werden, um die Regel, wornach gewissen Producten der Natur nachgeforscht werden muß, vor Augen zu haben.“⁶⁸

KANT verwirft hier zum einen die Praxis, mathematische und physikalische Analogiebildungen mit „materialen“ teleologischen Ansprüchen zu verbinden, wie sie der traditionellen Physikotheologie eigen waren. Zum anderen fordert er eine andere, neue Art von Teleologie, die eine „Art der Kausalität der Natur“ nach Analogie zum technischen Vernunftgebrauch vorstelle, und diese hat offenkundig heuristische Funktion: „Produkte der Natur“ zu erforschen, *als ob* sie Teil einer weisen oder sparsam eingerichteten Naturordnung seien, kann dienlich sein, um, ausgehend von den Erscheinungen, allgemeine Erfahrungsregeln zu gewinnen; diese Sicht kommt z. B. bei der Ausbildung empirischer Analogien⁶⁹ zum Tragen.

Die Ausbildung allgemeiner empirischer Regeln „von unten“ birgt nun für KANTS Wissenschaftstheorie ein Problem mit beträchtlichem Zündstoff, denn Wissenschaft als *System* wird „von oben“, d. h. durch die Kategorien Kausalität, Substanz etc. bestimmt. Aus dieser Bestimmung folgt aber noch nicht, wie er ausdrücklich bemerkt, „daß die Natur, auch nach empirischen Gesetzen, ein für das menschliche Erkenntnisvermögen faßliches System sei“.⁷⁰ Die Naturphänomene könnten nämlich unserer reflektierenden Urteilskraft zur Ausbildung einer Vielzahl empirischer Regelmäßigkeiten Anlass geben. Es könnte sein, dass wir keinen vernünftigen Grund haben, diesen Regelmäßigkeiten Gesetzesstatus *abzusprechen*. Zugleich könnte es sein, dass es uns nicht gelingt, sie aus unseren Verstandeskategorien einsichtig zu machen, d. h. durch eine Schematisierung nach den Analogien der Erfahrung an diese anzuschließen. Wir hätten es dann mit einer bunten Vielzahl heterogener *Einzelgesetze* zu tun, ohne dass diese sich für unseren Verstand zu einem *System* zusammenfügen. Es könnte sogar der Fall eintreten, dass sich die einzelnen Gesetze zwar in ein deduktives System einfügen, dieses aber unserem Verstand *nicht* gemäß ist. KANT selber spricht dieses Problem unter Bezugnahme auf BACONS bekannte Metapher als das „Labyrinth der Mannigfaltigkeit möglicher besonderer Gesetze“ an.⁷¹ Der „Ariadnefaden“ aus diesem Labyrinth ist für KANT „das transzendente Prinzip der Urteilskraft“, als die „subjektiv-notwendige transzendente Voraussetzung, daß jene besorgliche grenzenlose Ungleichartigkeit empirischer Gesetze [...] der Natur nicht zukomme, vielmehr sie sich, durch die Affinität der besonderen Gesetze unter allgemeinere, zu einer Erfahrung, als einem empirischen System, qualifiziere“.⁷² Dieses Prinzip ist *transzendental*, weil es sich um eine apriorische Voraussetzung dafür handelt, die Natur – belegend als eine Mannigfaltigkeit empirischer Gesetze – zum Gegenstand der Erkenntnis machen zu können. Es ist *subjektiv*, weil hier die reflektierende Urteilskraft gewissermaßen „zu eigenem Gunsten“ darauf setzt, dass sich die Vielzahl der Einzelgesetze zu einem System fügt, es ist *formal*, sofern es die Forderung an die Einzelgesetze beinhaltet, sich einem logischen System einzufügen, und es ist *notwendig*, weil ohne seine Anwendung die Einzelgesetze gar nicht unter ein allgemeines subsumiert werden könnten. Daher die Be-

68 KANT 1790b, §68 (AA V, 382 und 383).

69 Vergleiche Teil 3.4 oben. Zu beachten ist, dass nach der dortigen „*Top-down*-Perspektive“ die empirischen Analogien der zweiten Analogie der Erfahrung untergeordnet sind, während hier die bei KANT eben *auch* vorfindbare „*Bottom-up*-Perspektive“ ihren Ausgang von den Naturerscheinungen nimmt.

70 KANT 1781, IV (Werke 8, 21); vgl. hierzu auch KANT 1787, B681f. (AA III, 433).

71 KANT 1781, V (Werke 8, 26); vgl. zum Folgenden PULTE 2005a, S. 83f.

72 KANT 1781, IV (Werke 8, 22).

zeichnung „subjektive formale Teleologie“ (Abb. 8).⁷³ Sie beinhaltet eine *methodologische* Forderung an die Wissenschaft: Mit KANT zu reden, setzt die „Vernunft im hypothetischen Gebrauch“, hier die Einheit des Systems der Einzelgesetze, voraus und verlangt eine fortschreitende Vereinheitlichung der Naturgesetze „von unten nach oben“.⁷⁴

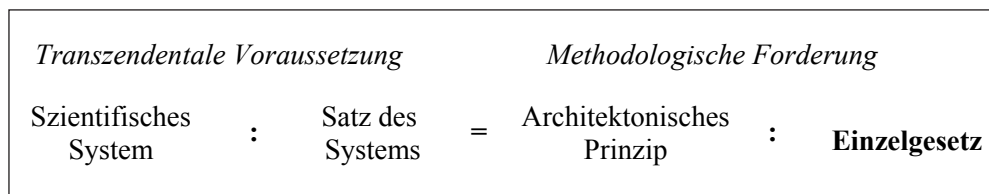


Abb. 8 KANTS subjektive formale Teleologie als symbolische Analogie

Im Sinne eines logisch-deduktiv geordneten „szientifischen Systems“, das in KANTS Architektonik als Ideal von Wissenschaft vor Augen steht, ist die Auffindung von Einzelgesetzen also von der methodologischen Forderung begleitet, ihnen ihren „logischen Ort“ im System zuzuweisen. KANT selber spricht von der hier angestellten Analogie nicht ausdrücklich als einer *symbolischen*. Sie kann aber im Sinne seiner Definition durchaus so genannt werden, denn ihr liegt der Gedanke zu Grunde, das Weltganze in formaler Hinsicht, d. h. nach seiner gesetzlichen Ordnung, als ein architektonisches System aufzufassen.⁷⁵

FRIEDMAN und KITCHER haben sich der Kantischen Vereinheitlichungstheorie in der Folge des Niedergangs der analytischen Erklärungstheorie nach HEMPEL–OPPENHEIM zugewandt und in gewissem Sinne radikalisiert: Nach beider Auffassung ist eigentliche wissenschaftliche Erklärung überhaupt eine Sache der theoretischen Vereinheitlichung *als solcher*.⁷⁶ KANT dient ihnen dabei als wichtigster Gewährsmann. Den vereinheitlichenden Gesetzen oder Prinzipien wird dabei kein besonderer erkenntnistheoretischer Status eingeräumt: Es ist die Vereinheitlichungsleistung einer Theorie als ganzer, durch die Erklärung erreicht werde. Ohne hier auf Einzelheiten und auch wichtige Unterschiede der Vereinheitlichungstheorie beider Ansätze näher eingehen zu können,⁷⁷ lässt sich sagen, dass KANT hier auf originelle und anregende Weise für die neuere Erklärungstheorie fruchtbar gemacht wird. Allerdings scheint es auch, dass über FRIEDMANS und KITCHERS Theorie einer „*Bottom-up*-Vereinheitlichung“

73 Zur Kantischen Terminologie und deren Uneinheitlichkeit vgl. PULTE 1999, insbesondere S. 323, Anm. 65.

74 KANT bemerkt im Anhang zur Transzendentalen Dialektik: „In der That ist auch nicht abzusehen, wie ein logisches Princip der Vernunfteinheit der Regeln stattfinden könne, wenn nicht ein transcendentales vorausgesetzt würde, durch welches eine solche systematische Einheit, als den Objecten selbst anhängend, a priori als nothwendig angenommen wird. [...] Denn das Gesetz der Vernunft sie [die Einheit nach Principien] zu suchen, ist nothwendig, weil wir ohne dasselbe gar keine Vernunft, ohne diese aber keinen zusammenhängenden Verstandesgebrauch und in dessen Ermangelung kein zureichendes Merkmal empirischer Wahrheit haben würden, und wir also in Ansehung der letzteren die systematische Einheit der Natur durchaus als objectiv gültig und nothwendig voraussetzen müssen“ (KANT 1787, B678f.; AA III, 431f.).

75 Aus Gründen der Umfangsbeschränkung werden Einzelfragen, die sich aus dieser Interpretation ergeben, hier nicht weiter verfolgt. Auch wird die Frage der Gesetzesnotwendigkeit, die für KANTS Vereinheitlichungstheorie von großer Wichtigkeit ist, hier nicht thematisiert. Siehe hierzu PULTE 1999, besonders S. 323–327.

76 Vgl. hierzu FRIEDMAN 1974, S. 173–183, und KITCHER 1990, S. 193–196.

77 Siehe hierzu PULTE 2005a, S. 90–95.

KANTS prävalenter „*Top-down*-Erklärungsbegriff“⁷⁸ zumindest stark heruntergespielt und eine „skeptische“ Pointe der Kantischen Vereinheitlichungstheorie aus dem Blick gerät: Nach KANT könnte *grundsätzlich* der Fall eintreten, dass wir die Mannigfaltigkeit der empirischen Gesetze in eine logische Einheit bringen können, ohne dass es eine Garantie dafür gibt, dass die so gewonnene Einheit auch unserem Verstand gemäß ist und uns etwas *erklärt*.⁷⁹ Theoretische Vereinheitlichung *ohne* Erklärungsleistung ist nach KANT eine nicht auszuschließende Gefahr, der nur *methodologisch* begegnet werden kann, indem die Vereinheitlichung „von unten“ immer mit Blick auf die konstitutiven Prinzipien einer wissenschaftlichen Theorie von „oben“ vorgenommen wird.⁸⁰

5. Schlussbemerkung

Zweifellos stellt die hier skizzierte subjektive formale Teleologie als symbolische Analogie den weitreichendsten und auch spekulativsten Gebrauch dar, den KANT vom Analogiebegriff, sofern er für die heutige Wissenschaftstheorie der Naturwissenschaften von Interesse sein kann, überhaupt macht. Dass „selbst“ dieser Gebrauch in der jüngeren Diskussion Beachtung gefunden hat, weist auf die andauernde Fruchtbarkeit seiner wissenschaftstheoretischen Reflexionen auch nach Zusammenbruch des apriorischen Begründungsprogramms hin. Die hier versuchte, stark „schematisierende“ Darstellung des Kantischen Analogiebegriffs und seiner wissenschaftstheoretisch wichtigsten Ausformungen wird zweifellos manchen Facetten und Feinheiten seiner Argumentation nicht gerecht und lässt andere ganz unberücksichtigt. Andererseits können, wie wir durch KANT selber wissen, „Versinnlichungen“ abstrakter Begriffe erkenntnisförderlich sein und Erkenntnisprozesse initiieren. Wenn, in diesem Sinne, die „Schematisierungen“ des Kantischen Analogiebegriffs zu einer näheren Auseinandersetzung mit seinem vielschichtigen Analogiedenken anregen, ist ihr Zweck erfüllt.

78 „Erklären heißt von einem Prinzip ableiten, welches man [...] deutlich muß erkennen und angeben können“ (KANT 1790b, §78; AA V, 412).

79 Dieser Punkt wird in den Kant-Interpretationen von FRIEDMAN und KITCHER nicht näher thematisiert, wäre aber in seinen Implikationen besonders für KITCHERS Vereinheitlichungstheorie näher zu bedenken; siehe hierzu PULTE 2005a, S. 94f.

80 In der Wissenschaftstheorie des Kantianers Jakob Friedrich FRIES wird eine „Dynamisierung“ zwischen konstitutiven und regulativen Prinzipien der Naturforschung vorgenommen und auch eine „Balance“ zwischen beiden gesucht, die bei KANT noch nicht greifbar ist; siehe hierzu näher PULTE 1999, S. 327–341. Für neuere Arbeiten, in denen FRIES' Wissenschaftstheorie und Philosophie der Mathematik eine maßgebliche Rolle spielt, siehe PULTE 2005b und VAN ZANTWIJK 2009.

Literatur

- BÄRTHLEIN, Karl, und TALANGA, Jossip: Der Analogiebegriff bei den griechischen Mathematikern und bei Platon. Würzburg 1995
- BECK, Lewis W.: The second analogy and the principle of indeterminacy. *Kant-Studien* 57, 190–205 (1966)
- BOHR, Niels: Collected Works. Vol. 5: The Emergence of Quantum Mechanics. Ed. by K. STOLZENBURG. Amsterdam u. a. 1984
- BRITTAN, Gordon G.: Kant's Philosophy of Science. Princeton 1978
- BUCHDAHL, Gerd: Metaphysics and the Philosophy of Science. Oxford 1969
- BUCHDAHL, Gerd: Kant and the Dynamics of Reason. Essays on the Structure of Kant's Philosophy. Oxford u. a. 1992
- BUCK, Günther: Hypotyposis. In: Historisches Wörterbuch der Philosophie. Bd. 3. Hrsg. von J. RITTER. S. 1266–1267. Basel 1974
- CALLANAN, John: Kant on analogy. *British Journal for the History of Philosophy* 16, 747–772 (2008)
- DE MAN, Paul: Epistemologie der Metapher. In: HAVERKAMP, A. (Hrsg.): Theorien der Metapher. 2. Aufl., S. 414–437. Darmstadt 1996
- DISTER, John D.: Kant's Regulative Ideas and the 'Objectivity' of Reason. In: Proceedings of the Third International Kant Congress; pp. 262–269. Dordrecht 1972
- DRYER, Douglas P.: The second analogy. In: HARPER, W., and MEERBOTE, R. (Eds.): Kant on Causality, Freedom and Objectivity; pp. 58–65. Minneapolis 1984
- FOLSE, Henry J.: Kantian aspects of complementarity. *Kant-Studien* 69, 58–66 (1978)
- FRIEDMAN, Michael: Explanation and scientific understanding. *The Journal of Philosophy* 71, 5–19 (1974); dt. in: SCHURZ, G. (Hrsg.): Erklären und Verstehen. S. 171–191. München 1990
- FRIEDMAN, Michael: Kant and the Exact Sciences. Cambridge, Mass. u. a. 1992
- FRIEDMAN, Michael: Dynamics of Reason. The 1999 Kant Lectures at Stanford University. Stanford 2001
- GILL, Jerry H.: Kant, analogy and natural theology. *International Journal for Philosophy of Religion* 16/1, 19–28 (1984)
- GLOY, Karen: Die Kantische Theorie der Naturwissenschaft. Berlin 1976
- HØFFDING, Harald: On analogy and its philosophical importance. *Mind* 14/54, 199–209 (1905)
- HØFFDING, Harald: Der Begriff der Analogie. Leipzig 1923
- HOPPE, Hansgeorg: Kants Theorie der Physik. Eine Untersuchung über das Opus postumum von Kant. Frankfurt (Main) 1969
- KAISER, David: More roots of complementarity: Kantian aspects and influences. *Studies in History and Philosophy of Science* 23, 213–239 (1992)
- KANT, Immanuel: Gesammelte Schriften. Hrsg. von der (Königlich) Preußischen Akademie der Wissenschaften bzw. der (Deutschen) Akademie der Wissenschaften (der DDR). 29 Bde., Berlin (und Leipzig) 1910–1983 [AA]
- KANT, Immanuel: Werke in zehn Bänden. Hrsg. von Wilhelm WEISCHDEL. Darmstadt 1983
- KANT, Immanuel: Kritik der reinen Vernunft. Riga 1781 [AA IV, 1–252]
- KANT, Immanuel: Prolegomena zu einer jeden künftigen Metaphysik, die als Wissenschaft wird auftreten können. Riga 1783 [AA IV, 253–384]
- KANT, Immanuel: Metaphysische Anfangsgründe der Naturwissenschaft. Riga 1786 [AA IV, 465–565]
- KANT, Immanuel: Kritik der reinen Vernunft. 2. Aufl., Riga 1787 [AA III]
- KANT, Immanuel: Erste Fassung der Einleitung in die Kritik der Urteilskraft. 1790a [Werke 8, 171–232]
- KANT, Immanuel: Kritik der Urteilskraft. Riga 1790b [AA V, 165–485]
- KANT, Immanuel: Logik. Ein Handbuch zu Vorlesungen. Königsberg 1800 [AA IX, 1–150]
- KITCHER, Philip S.: Explanatory unification. *Philosophy of Science* 48, 507–531 (1981)
- KITCHER, Philip S.: Erklärung durch Vereinheitlichung. Die Rolle der Argumentationsmuster. In: SCHURZ, G. (Hrsg.): Erklären und Verstehen. S. 193–229. München 1990
- KITCHER, Philip S.: Two approaches to explanation. *The Journal of Philosophy* 82, 632–639 (1985)
- KITCHER, Philip S.: The unity of science and the unity of nature. In: PARRINI, P. (Ed.): Kant and Contemporary Epistemology; pp. 253–272. Dordrecht, Boston 1994
- LAKEBRINK, Bernhard: Der Kantische Begriff einer transzendentalen Analogie. In: MÜLLER, M., und SCHMAUS, M. (Hrsg.): Philosophisches Jahrbuch. 68. Jg., S. 244–257. Freiburg, München 1960
- LLOYD, Geoffrey E. R.: Polarity and Analogy. Two Types of Argumentation in Early Greek Thought. Cambridge 1966
- MELNICK, Arthur: Kant's Analogies of Experience. Chicago, London 1973
- MITTELSTAEDT, Peter: The constitution of objects in Kant's philosophy and in modern physics. In: PARRINI, P. (Ed.): Kant and Contemporary Epistemology; pp. 115–129. Dordrecht, Boston 1994

- MÜLLER, Olaf: Kantische Antworten auf die moderne Physik oder Sollen wir Kants Apriori mit Michael Friedman relativieren? *Philosophia Naturalis* 37, 97–130 (2000)
- PIEPER, Annemarie: Kant und die Methode der Analogie. In: SCHÖNRICH, G., und KATO, Y. (Eds.): Kant in der Diskussion der Moderne. S. 92–112. Frankfurt (Main) 1996
- PLAASS, Peter: Kants Theorie der Naturwissenschaft. Göttingen 1965
- PRINGE, Hernán: Critique of the Quantum Power of Judgment. A Transcendental Foundation of Quantum Objectivity. Berlin, New York 2007
- PULTE, Helmut: Von der Physikotheologie zur Methodologie. Eine wissenschaftstheoriegeschichtliche Analyse der Transformation von nomothetischer Teleologie und Systemdenken bei Kant und Fries. In: HOGREBE, W., und HERRMANN, K. (Hrsg.): Jakob Friedrich Fries – Philosoph, Naturwissenschaftler und Mathematiker. S. 301–351. Frankfurt (Main) 1999
- PULTE, Helmut: Order of nature and orders of science. On mathematical philosophy of nature from Newton and Euler to Lagrange and Kant and its changing concepts of science. In: LEFÈVRE, Wolfgang (Ed.): Between Leibniz, Newton and Kant. *Boston Studies in the Philosophy of Science* 220, 61–92. Dordrecht u. a. 2001
- PULTE, Helmut: Formale Teleologie und theoretische Vereinheitlichung. Wissenschaftstheoretische und -historische Überlegungen zu ihrer Beziehung bei Kant und Fries, Kitcher und Friedman. In: STÖLTZNER, M., und WEINGARTNER, P.: Formale Teleologie und Kausalität in der Physik. S. 77–96. Paderborn 2005a
- PULTE, Helmut: Axiomatik und Empirie. Eine wissenschaftstheoriegeschichtliche Untersuchung zur mathematischen Naturphilosophie von Newton bis Neumann. Darmstadt 2005b
- SCHÄFER, Lothar: Kants Metaphysik der Natur. Berlin 1966
- TAKEDA, Sueo: Kant und das Problem der Analogie. Den Haag 1969
- THÖLE, Bernhard: Die Analogien der Erfahrung. In: Immanuel Kant. Kritik der reinen Vernunft. Hrsg. von G. MOHR und M. WILLASCHKE. S. 267–296. Berlin 1998
- VAN CLEVE, James: Four recent interpretations of Kant's second analogy. *Kant-Studien* 64, 71–87 (1973)
- WEIZSÄCKER, Carl Friedrich von: Zum Weltbild der Physik. Stuttgart 1954
- WEIZSÄCKER, Carl Friedrich von: Kants ‚Erste Analogie der Erfahrung‘ und die Erhaltungssätze der Physik. In: DELIUS, Harald, und PATZIG, Günther (Hrsg.): Argumentationen. Festschrift J. KÖNIG. Göttingen 1964 (zitiert nach dem Nachdruck in: Kant. Zur Deutung seiner Theorie von Erkennen und Handeln. Hrsg. von G. PRAUSS. S. 151–166. Köln 1973)
- ZANTWIK, Temilo van: Heuristik und Wahrscheinlichkeit in der logischen Methodenlehre. Paderborn 2009

Prof. Dr. Helmut PULTE
Lehrstuhl für Philosophie mit besonderer Berücksichtigung von
Wissenschaftstheorie und Wissenschaftsgeschichte
Ruhr-Universität Bochum
Universitätstraße 150
44780 Bochum
Bundesrepublik Deutschland
Tel.: +49 234 3222726
Fax: +49 234 3214201
E-Mail: helmut.pulte@rub.de

Der Begriff der Natur

Wandlungen unseres Naturverständnisses und seine Folgen

Gaterslebener Begegnung 2009

gemeinsam veranstaltet

vom Leibniz-Institut für Pflanzengenetik und Kulturpflanzenforschung Gatersleben und
von der Deutschen Akademie der Naturforscher Leopoldina
vom 7 bis 9. Mai 2009

Nova Acta Leopoldina N. F., Bd. 109, Nr. 376

Herausgegeben von Anna M. WOBUS (Gatersleben), Ulrich WOBUS (Gatersleben)
und Benno PARTHIER (Halle/Saale)

(2010, 266 Seiten, 50 Abbildungen, 1 Tabelle, 29,95 Euro, ISBN 978-3-8047-2801-1)

Das Verhältnis des Menschen zur „Natur“ ist in seiner Geschichte durch unterschiedliche Beziehungen geprägt. Seit der Aufklärung wird die Natur dem Menschen zu seiner Nutzung untergeordnet und zunehmend ausgebeutet. Natur wurde zum Objekt technischen, ökonomischen und politischen Handelns. Spätestens seit Mitte des vorigen Jahrhunderts wissen wir um die akute Gefährdung natürlicher Lebensräume.

Die Gaterslebener Begegnung 2009 widmete sich daher dem Thema „Der Begriff der Natur“ und untersuchte Wandlungen des Naturverständnisses sowie die Folgen der gegenwärtigen Auffassungen von Natur. Behandelt werden unser Bild vom Leben, die Frage „Was ist Natur?“ aus verschiedenen Perspektiven und die philosophische Analyse der Stellung des Menschen in der Natur. Beiträge zum Naturverständnis in der Gegenwartskunst und zum Problemkomplex Naturrecht und Bioethik sowie eine Diskussion „Frieden mit der Natur“ ergänzen den Band.

Analogie und Quantifizierung: Von Maxwell über Helmholtz zur Messtheorie

Michael HEIDELBERGER, Tübingen

Zusammenfassung

Der Begriff der Analogie spielte für James Clerk MAXWELL (1831–1879) eine große Rolle sowohl in Bezug auf die Methode der Physik als auch für die Frage, wie sich mathematische Physik eigentlich auf die Wirklichkeit bezieht. Hinsichtlich der zweiten Frage entwarf MAXWELL eine Auffassung, die – so meine These in diesem Aufsatz – von Hermann VON HELMHOLTZ (1821–1894) zu einer Theorie der Messung vor allem in der Physik ausgeweitet wurde. Dieser Zusammenhang ist einerseits historisch interessant, weil er zeigt, dass britische und deutsche Physik im späten 19. Jahrhundert in ihren philosophischen Auffassungen und speziell in ihrem Analogiedenken ähnliche Richtungen einschlugen, und weil er eine Verbindung zwischen Analogiebegriff und dem Begriff der Repräsentation in der (damals und heute diskutierten) Messtheorie herstellt. Er ist andererseits auch systematisch von Interesse, weil dadurch der Zusammenhang zwischen dem in den Kognitionswissenschaften diskutierten Analogiebegriff und der Mathematik in den Blick gerät. Dieser Zusammenhang ist für die gegenwärtige Diskussion des „strukturellen Realismus“ wichtig, der den Erfolg naturwissenschaftlicher Theorien nicht als Beleg für die Existenz gewisser theoretischer *Entitäten* (wie z.B. Elektronen) nimmt, wie dies der „wissenschaftliche Realismus“ tut, sondern als Indiz für die Existenz *struktureller Gegebenheiten*. MAXWELLS Ideen über Analogie wurden schon oft diskutiert.¹ Der hier thematisierte Zusammenhang zwischen MAXWELL, HELMHOLTZ und der Messtheorie wurde aber meines Wissens bisher nicht behandelt.

Abstract

In James Clerk MAXWELL'S (1831–1879) view, the concept of analogy plays a major role in physical methodology as well as in the way mathematical physics relates to reality. In the following, I claim that, in respect to the latter question, MAXWELL held a view that Hermann VON HELMHOLTZ (1821–1894) extended into a theory of measurement, mainly in physics. This connection is of historical interest, on the one hand, because it shows that the physics practiced in late 19th-century Britain and Germany followed similar philosophical directions and because it establishes a link between the concepts of analogy and representation in the theory of measurement (as discussed then and today). On the other hand, it is also of systematic interest, because it demonstrates a connection between usages of the analogy concept in the cognitive sciences and in mathematics. This connection is important in the current debate about “structural realism”. Unlike “scientific realism”, this brand of realism does not regard the success of scientific theories as evidence of certain theoretical *entities* (such as electrons) but as an indication of the existence of *structural content*. There has been much discussion about MAXWELL'S ideas on analogy,¹ yet to my knowledge the topic of this paper – the relation between MAXWELL, HELMHOLTZ and the theory of measurement – has not yet been covered.

¹ Vgl. TURNER 1955, 1956, HESSE 1966, 1967, KARGON 1969, S. 432–436; KLEIN 1973, S. 67–70; OLSON 1975, Kap. 12; SIEGEL 1985, S. 181–184; 1991; HENDRY 1986, S. 146–155; HARMAN 1998, Kap. IV und V; NERSESSIAN 2002.

1. Philosophischer und physikalischer Hintergrund für Maxwells Analogiedenken

Um MAXWELLS Auffassung der Analogie verstehen zu können, muss man zunächst die philosophischen Einflüsse auf MAXWELL näher in den Blick nehmen.² Seine Ausbildung war einesteils stark durch die sogenannte „schottische Metaphysik“ geprägt, deren herausragende Vertreter William HAMILTON und Dugald STEWART waren. Für diese Schule ist die Auffassung kennzeichnend, dass Erkenntnis in einem *Vergleich* von Erfahrungen besteht. Schon JOHN LOCKE hatte in seinem *Essay Concerning Human Understanding* von 1690 den Erkenntnisbegriff mit der Beziehung von Ideen zueinander in Zusammenhang gebracht. Jedes Wissen entstammt demnach einem Vergleich von zwei Ideen:

“Knowledge is the perception of the agreement or disagreement of two ideas. [...] [T]here could be no room for any positive knowledge at all, if we could not perceive any relation between our ideas, and find out the agreement or disagreement they have one with another, in several ways the mind takes of comparing them.”³

Wir werden sehen, dass sich auch für MAXWELL das Wissen aus einem Vergleich ergibt – dem Vergleich der naturgesetzlichen Relationen, von denen unsere *systems of ideas* geprägt sind.

Einen weiteren wichtigen Einfluss übte William WHEWELLS Philosophie aus. WHEWELL war überzeugt davon, dass unser Denken durch „fundamentale Ideen“ geformt wird, die der Erfahrung vorausgehen:

“These [fundamental] ideas entirely shape and circumscribe our knowledge; they regulate the active operations of our minds without which our passive sensations do not become knowledge.” [...] “Thoughts [ideas] and things are so intimately combined in our Knowledge, that we do not look upon them as distinct.”⁴

Demgemäß wird auch MAXWELL betonen, dass wir durch den Vergleich von Ideensystemen zu fundamentalen Ideen vorstoßen können, die sich sowohl auf den Geist als auch die objektive Wirklichkeit beziehen. An einer Stelle verwies WHEWELL darauf, dass ØRSTED durch die Analogie zwischen der Polarität von Elektrizität und Magnetismus dazu geführt worden sei, eine tiefer gehende Verwandtschaft zwischen beiden anzunehmen:

“The polar phenomena of electricity and magnetism are clearly analogous in their laws: and obvious facts showed at an early period that there was some connexion between the two agencies.”⁵

Es ist zu vermuten, dass MAXWELL auch (direkt oder indirekt) von dem einflussreichen Mathematikprofessor COLIN MACLAURIN (1698–1746) in Edinburgh beeinflusst war. MACLAURIN schrieb in sehr modern anmutender Weise zu Anfang des ersten Kapitels seines *Treatise on Fluxions* von 1742:

“The mathematical sciences treat of the relations of quantities to each other, and of all their affections that can be subjected to rule or measure. [...] We enquire into the relations

2 Vgl. hierzu DAVIE 1961, S. 191–197; HARMAN 1985, 202ff., 212ff.; HENDRY 1986, S. 27–31, 47–50; HARMAN 1998, S. 27–36.

3 LOCKE 1690, IV, i, 2–5.

4 WHEWELL 1847, I, S. 16, 18; vgl. auch S. 59, 66, 80, 90.

5 WHEWELL 1847, I, S. 345.

of things, rather than their inward essences, in these sciences. Because we may have a clear conception of that which is the foundation of a relation, without having a perfect or adequate idea of the thing it is attributed to,⁶ our ideas of relations are often clearer and more distinct than [those] of the things to which they belong; and to this we may ascribe in some measure the peculiar evidence of mathematics. It is not necessary that the objects of the speculative parts should be actually described, or exist without the mind; but it is essential, that their relations should be clearly conceived, and evidently deduced.”⁷

Zu dem philosophischen Einfluss, der MAXWELLS Denken in Bezug auf die Analogie formte, kam bald ein physikalischer. Er stammt von dem sieben Jahre älteren Freund MAXWELLS, dem Physiker William THOMSON (1824–1907) und späteren Lord KELVIN. THOMSON hatte schon im Jahre 1842 als 17-Jähriger eine Analogie zwischen der elektrostatischen Anziehung und der Wärmeleitung festgestellt, in der sich die punktförmig gedachte positive elektrische Ladung und punktförmige Wärmequelle entsprechen.⁸ In einem Brief von 1855 drückte MAXWELL seine Bewunderung für THOMSONS Gebrauch der Analogie aus und kündigte an, den Begriff zu übernehmen: “Have you patented that notion with all its applications? For I intend to borrow it for a season.”⁹ Noch 1873 nannte MAXWELL THOMSONS Analogie eine der wertvollsten “science-forming ideas”.¹⁰ An diesem Ausdruck kann man übrigens noch den genannten Einfluss von HEWELL bemerken: Unser Erfahrungsdenken, vor allem in den Naturwissenschaften, wird von fundamentalen Ideen geformt. Schon Joseph FOURIER, von dessen Theorie der Wärmeleitung THOMSON ausging, spricht im *Discours préliminaire* seiner *Théorie analytique de la chaleur* von den „geheimen Analogien“, die man mit der mathematischen Analyse (gemeint wahrscheinlich in der Art von LAGRANGE) zwischen unterschiedlichen Phänomenbereichen entdecken kann:

« [L’]attribu principal [de l’analyse mathématique] est la clarté ; elle n’a point de signes pour exprimer les notions confuses. Elle rapproche les phénomènes les plus divers, et découvre les analogies secrètes qui les unissent. »¹¹

Bei FOURIER hat diese Sprechweise einen handfesten positivistischen Hintergrund: Es sind, wie er betont, nicht ein Wärmestoff oder die Atome (oder eine andere verborgene Ontologie), die die Einheit zwischen den unterschiedlichen Bereichen stiften, sondern es sind *mathematische Analogien*. Man muss sich also nicht auf *notions confuses* (konfuse Begriffe), sprich: unzugängliche zugrundeliegende Realitäten, beziehen. Für Auguste COMTE, den Begründer des Positivismus, ist ein Bezug von Begriffen und Theorien auf verborgene Ursachen metaphysisch und daher abzulehnen. Da FOURIERS Theorie der Wärme keine Existenzaussagen

6 An genau dieser Stelle fügte MACLAURIN eine Fußnote ein, in der er sich auf LOCKES *Essay Concerning Human Understanding* (II, xxv, 8) bezog. Das Kapitel 25 ist überschrieben “Of Relations” und § 8 handelt von: “Our Ideas of Relations often clearer than of the Subjects related.” Es heißt u. a. darin: “The ideas, then, of relations, are capable at least of being more perfect and distinct in our minds than those of substances.” Zu MACLAURINS Einfluss auf MAXWELL siehe HARMAN 1985, S. 213f., DAVIE 1961, Kap. 2.

7 MACLAURIN 1742, I, S. 51f.

8 THOMSON 1842; vgl. KNUDSEN 1985, S. 150ff. Georg Simon OHM machte von derselben Analogie schon 1827 in seiner *Galvanischen Kette* Gebrauch (OHM 1827). William THOMSON scheint OHMS Arbeit weder 1842 noch später gekannt zu haben, obwohl sie seit 1841 in englischer Übersetzung vorlag (OHM 1841). Erst mit der Verleihung der Copley-Medaille an OHM 1841 kam es zu einer nennenswerten Rezeption OHMS in Großbritannien.

9 LARMOR 1937, S. 705, zitiert von SIEGEL 1985, S. 181.

10 MAXWELL 1873, S. 302.

11 FOURIER 1822, S. xiv.

über solche im Verborgenen wirksame Gegenstände macht, war sie für COMTE (wie übrigens auch für Ernst MACH) eine physikalische Mustertheorie.¹²

1847 machte THOMSON auf eine weitere Analogie in der Physik aufmerksam, die vielleicht sogar noch stärkeren Einfluss auf MAXWELL hatte als die von 1842.¹³ Es handelt sich um eine Analogie zwischen Kräften in einem elastischen, festen, nicht komprimierbaren Körper und Kräften elektrostatischer, magnetischer und elektromagnetischer Art im Äther. Wie schon oft beschrieben wurde diese Analogie wegweisend für MAXWELLS Entwicklung des Feldbegriffs.

Schließlich konstatierte THOMSON im Jahre 1867 nochmals eine Analogie, diesmal zwischen Wirbelbewegungen und Atomen.¹⁴ Diese Theorie kann nun natürlich nicht mehr als Jugendeinfluss auf MAXWELL gewertet werden, aber sie ist ein wichtiger Beleg dafür, dass der Analogiebegriff das Denken der Physiker sowohl in Großbritannien als auch in Deutschland beschäftigte und sie sich darüber austauschten. THOMSONS Überlegungen gehen nämlich auf einen Aufsatz von HELMHOLTZ aus dem Jahre 1858 zurück, in dem dieser nachgewiesen hatte, dass sich Wirbelbewegungen in idealen Flüssigkeiten erhalten. THOMSONS Aufsatz beginnt mit folgenden Worten:

“After noticing Helmholtz’s admirable discovery [von 1858] of the law of vortex motion in a perfect liquid – that is, in a fluid perfectly destitute of viscosity (or fluid friction) – the author said that this discovery inevitably suggests the idea that Helmholtz’s rings are the only true atoms.”¹⁵

Ich werde auf diesen Zusammenhang später noch zurückkommen.

Mit dem weiteren Einfluss schließlich, den ich hier noch anführen möchte, begeben sich mich fast schon mitten in MAXWELLS eigenes Analogie-Denken hinein. Wie bei allen Physikern des 19. Jahrhunderts bewegten sich auch MAXWELLS Vorstellungen im Rahmen des „mechanistischen Weltbilds“. Es entstanden aber im Laufe der Zeit doch unterschiedliche Traditionen und Ansätze in der Physik, so dass man auch verschiedene Spielarten dieses Weltbilds voneinander unterscheiden kann.¹⁶ KARGON sieht in der britischen Physik vor MAXWELL z. B. beim frühen William RANKINE und bei George GREEN das Bemühen, einerseits die Laplacesche Molekularphysik mit ihren Atomen zu überwinden, dies aber andererseits nicht zu einer übermäßigen Mathematisierung der Physik führen zu lassen. Es wird also auch eine Physik *à la* LAGRANGE und FOURIER abgelehnt, die in ihren Theorien ohne physikalische Konzeptionen, also konkreten physischen Gehalt, auszukommen glaubten und vielleicht deshalb auch nicht im strengen Sinne „mechanistisch“ genannt werden können. Dieser angestrebte Mittelweg zwischen zwei Extrempositionen sei, so KARGON, durch die Vorherrschaft des Ingenieurdenkens in Großbritannien zustande gekommen.¹⁷ Unabhängig davon, ob dies

12 Zu COMTE und FOURIER vgl. KARGON 1969, S. 427–429; HENDRY 1986, S. 34–40, 43–45. Auch OHM war sich bewusst, dass dieses Vorgehen im Gegensatz zur Molekularphysik steht. George GREEN propagierte 1828 und 1838 FOUERIERS Analyse ebenfalls als Alternative zur Laplaceschen Molekularphysik. (Vgl. KARGON 1969, S. 429f.) THOMSON erkannte zwar die Leistung GREENS in einem Zusatz von 1854 zu seinem 1842er Aufsatz an, ignorierte aber weiterhin OHM. (TURNER 1955, S. 229, Anm. 2.)

13 THOMSON 1847; vgl. KNUDSEN 1985, S. 157ff.

14 THOMSON 1867, vgl. KRAGH 2002.

15 THOMSON 1867, S. 1.

16 Vgl. SCHIEMANN 1997, S. 281ff., HENDRY 1986, Kap. 2.

17 KARGON 1969, S. 430.

wirklich zutrifft, hat sich jedenfalls, wie wir noch sehen werden, MAXWELL diesen Mittelweg zu Eigen gemacht und ihn mit der Methode der Analogie verknüpft.

Man kann in diesem Mittelweg auch den Versuch sehen, die Newtonsche Maxime der „Deduktion der Theorie aus den Phänomenen“ – und das schließt die Deduktion der Kräfte mit ein – in eine zeitgemäße Form zu übersetzen. Die französische Molekularphysik (LAPLACE, POISSON, CAUCHY, NAVIER usw.) und ihr Pendant bei Wilhelm WEBER u. a. auf dem Kontinent deduzierte die Erscheinungen aus Hypothesen über Kräfte und Moleküle, deren Verbindung mit der und Begründung durch die Erfahrung in britischen Augen zweifelhaft war, während die rein symbolisch-mathematisch vorgehenden Franzosen (und später auf dem Kontinent z. B. Robert KIRCHHOFF) sich ganz von der Annahme physischer Kräfte befreien wollten, die die Erscheinungen verursachen.

Die britische Vorgehensweise hat also im Gegensatz sowohl zur ‚molekularen‘ als auch zur ‚positivistischen‘ Methode etwas Induktiv-Konstruktives an sich. Sie lehnt Hypothesen über ein verborgenes physikalisches Agens nicht ab, aber sie möchte den Wert solcher Annahmen nicht erst später an ihren Früchten, also durch indirekte Bestätigungen, erkennen können, wie dies die kontinentalen Theorien propagierten, sondern schon von Anfang an aus möglichst direkter Erfahrung wenigstens annähernd gerechtfertigt wissen, um sie dann bei fortschreitender Erfahrung, wenn nötig, sukzessive zu verbessern.

2. Maxwells Methode der Analogie

MAXWELL beginnt ab ca. 1855, den britisch-konstruktiven Weg mit THOMSONS Methode der Analogie zu verknüpfen und dies gleichzeitig in seine naturphilosophische Denkweise einzubetten. Bezeichnenderweise tut er dies auf dem Gebiet, das am stärksten in der damaligen Zeit im Fluss ist und für das er sich am meisten interessiert, für den Elektromagnetismus. In seinem *abstract* zu *On Faraday's Lines of Force* konstatiert MAXWELL, dass FARADAY nicht den üblichen Weg gehe, die elektrischen und magnetischen Erscheinungen auf abstoßende und anziehende Zentralkräfte zurückzuführen, sondern die „Verteilung der Kräfte im Raum als das primäre Phänomen“ zu betrachten. Obwohl nun THOMSON und andere gezeigt hätten, dass der mathematische Ausdruck dieser Vorstellung mit traditionell verstandenen Gesetzen der Elektrizitätslehre mathematisch äquivalent sei, wäre es nicht angebracht, sich nun vollständig der Mathematik anzuvertrauen.

Die vom mathematischen Ausdruck unterschiedene *physische* Theorie, die FARADAY für sein Gebiet so gut beherrscht und die offensichtlich seinen Geist bei der Theoriebildung leitet, würde nämlich dabei verloren gehen.

“If we would abandon physical theory, and use only mathematical formulæ the methods [von FARADAY und die der Molekular- bzw. Zentralkraft-Physiker, die auf unterschiedlichen physischen Vorstellungen beruhen] would be identical. But though we might gain in generality of expression by this method we should loose distinct conceptions which a physical theory presents to the mind and the general laws of the science would be put out of the reach of any but professed mathematicians.”¹⁸

¹⁸ MAXWELL 1855, S. 355.

Andererseits könnten aber FARADAYS eigenartige physikalische Konzeptionen vorschnelle Hypothesen sein, die man, einmal der Theorie zugrunde gelegt, nicht mehr korrigieren kann, ohne die ganze Theorie auch mit ihren guten Seiten wieder aufzugeben.

In dem fast zeitgleich erschienenen Aufsatz *On Faraday's Lines of Force* greift MAXWELL dasselbe Dilemma in eleganterer Formulierung wieder auf. Dies zeigt, dass seine Überlegungen keine oberflächlichen Augenblickseingebungen waren, sondern ihn stark und ausdauernd beschäftigten. In der Einleitung zu diesem Aufsatz forderte er für die Elektrizitätslehre der Zeit eine vereinfachte Formulierung, die es erlaubt, die verschiedenen zu berücksichtigenden Gesetze und die aufwendige und schwierige Mathematik im Gedächtnis präsent zu halten. Dies kann in zweierlei Weise, entweder mathematisch oder physikalisch, geschehen:

“The results of this simplification may take the form of a purely mathematical formula or of a physical hypothesis. In the first case we entirely loose sight of the phenomena to be explained; and though we may trace out the consequence of given laws, we can never obtain more extended views of the connections of the subject. If, on the other hand, we adopt a physical hypothesis, we see the phenomena only through a medium, and are liable to the blindness of facts and rashness in assumption which a partial explanation encourages.”¹⁹

Um diese Gefahren zu umgehen, muss man eine Methode entwickeln, die es erlaubt, einen Mittelweg zu steuern:

“We must therefore discover some method of investigation which allows the mind at every step to lay hold of a clear physical conception, without being committed to any theory founded on the physical science from which the conception is borrowed, so that it is neither drawn aside from the subject in pursuit of analytical subtleties, nor carried beyond the truth by a favourite hypothesis.”²⁰

Den Ausweg aus diesem Dilemma sieht MAXWELL in der „Methode der Physischen Analogie“:

“There is, however, one method which combines the advantages, while it gets rid of the disadvantages both of premature physical theories and technical mathematical formulæ. I mean the method of Physical Analogy.”²¹

Entsprechend heißt es im anderen Aufsatz:

“In order to obtain physical ideas without adopting a physical theory we must make ourselves familiar with the existence of physical analogies. By a physical analogy I mean that partial similarity between the laws of one science and those of another which makes each of them illustrate the other.”²²

MAXWELL gibt gleich eine Liste von Beispielen für seine Methode:

19 MAXWELL 1855/56, S. 155f.

20 MAXWELL 1855/56, S. 156.

21 MAXWELL 1855, S. 353–355.

22 MAXWELL 1855/56, S. 156. MAXWELL gebraucht den Begriff der *physical analogy* auch explizit im Zusammenhang der kinetischen Gastheorie: “If the properties of such a system of bodies [i.e. of an indefinite number of small, hard and perfectly elastic spheres acting on one another only during impact] are found to correspond to those of gases, an important physical analogy will be established, which may lead to more accurate knowledge of the properties of matter.” (MAXWELL 1860, S. 378.)

„Of this [method of physical analogy] we have instances in the substitution of numbers for quantities in all calculations, in the use of lines in mechanics to represent forces and velocities, in the partial analogy between the motion of light and that of a particle, and the more complete analogy between the motion of light and that of vibration in an elastic medium.“²³

Bezeichnenderweise führt er dann gleich noch THOMSONS Analogie von 1842 an, die er (im Gegensatz zu den anderen Analogien) ausführlich behandelt und erklärt. Er macht außerdem klar, dass seine Arbeiten zum Elektromagnetismus gerade von *dieser* (mathematischen) Analogie geleitet werden. Allerdings müsse diese Analogie modifiziert werden: Anstatt eine physische Konzeption von Wärme in Analogie zur elektrostatischen Anziehungskraft zu nehmen, ist es besser, schlägt MAXWELL vor, sich erst einmal einer *“purely imaginary fluid as the vehicle of mathematical reasoning”* zu bedienen, da ja die Substanztheorie der Wärme ausgeht und er selbst noch keine Experimente zur Feststellung einer Alternative gemacht habe. In der Bewegung dieser fiktiven Flüssigkeit könne man alle Vorstellungen und Methoden von FARADAY einzeln repräsentieren.²⁴ Zu den anderen Beispielen MAXWELLS sollte für den Fortgang meiner Überlegungen nur so viel festgehalten werden, dass für MAXWELL auch die Beziehung zwischen physikalischen Quantitäten und Zahlen eine Anwendung der Methode der Analogie darstellt.

Zwei Monate nachdem MAXWELL 1855 diese Ideen in der *Cambridge Philosophical Society* vorgetragen hatte, hielt er vor dem *Apostles Club* in Cambridge einen Vortrag über *Analogies in Nature*, der die mehr physikalischen Themen der ersten Abhandlung ins Philosophische wendet. Er macht sich nun Gedanken darüber, was in naturwissenschaftlicher Hinsicht eigentlich Erkenntnis (*knowledge*) ist und wie man sie vermehren kann. Er kommt, in deutlicher Übereinstimmung mit seinen Philosophielehrern, zum Schluss, dass das Wissen von *Beziehungen* zwischen Gegenständen entscheidend ist. Es kann erweitert und vervollständigt werden, indem man Beziehungen in unterschiedlichen Bereichen miteinander vergleicht und zwischen ihnen eine Analogie herzustellen versucht, die einen Schluss von der strukturellen Beschaffenheit des Ausgangsbereichs auf einen noch wenig erfassten Zielbereich erlaubt:

“Whenever they [d.h. die Menschen] see a relation between two things they know well, and think they see there must be a similar relation between things less known, they reason from the one to the other. This supposes that although pairs of things may differ widely from each other, the *relation* in the one pair may be the same as that in the other. Now, as in a scientific point of view the *relation* is the most important thing to know, a knowledge of the one thing leads us a long way towards a knowledge of the other.”²⁵

TURNER hat schön herausgearbeitet, dass nach MAXWELL die Methode der physischen Analogie auf zweierlei Weise naturwissenschaftliches Wissen generiert: Einerseits durch Übertragung der in einem physikalischen Bereich bekannten Lösung eines mathematischen Problems auf einen anderen Bereich, andererseits aber auch, indem sie für den relativ unbekannteren Bereich von beiden eine physische Hypothese nahelegt.²⁶ MAXWELL war sich übrigens durchaus bewusst, dass der Gebrauch von Analogien in der Physik zu einer uneigentlichen Redeweise führt:

23 MAXWELL 1855, S. 355.

24 MAXWELL 1855, S. 356–357.

25 MAXWELL 1856, S. 381f.

26 TURNER 1955, S. 234f.

“[A]ll parables, fables, similes, metaphors, tropes, and figures of speech are analogies, natural or revealed, artificial or concealed.”²⁷

An anderer Stelle verschärft MAXWELL nun diese Auffassung des Verhältnisses von Theorien untereinander und wendet sie ins Erkenntnistheoretisch-Grundsätzliche. Er stellt die Frage, ob wir von der *constitution of the intellect*, die sich in fundamentalen Ideen, z. B. von Raum und Zeit, zu erkennen gibt, auf die tatsächlichen gesetzlichen Beziehungen der Natur schließen können oder ob uns unsere „geistige Maschinerie“ nur etwas vorgaukelt und ihre eigene Struktur ungerechtfertigterweise auf die wirklichen Gegenstände der Natur projiziert:

“[A]re we to conclude that these various departments of nature in which analogous laws exist, have a real interdependence; or that their relation is only apparent and owing to the necessary conditions of human thought? [...] [T]o determine whether there is anything in Nature corresponding to them [i.e. the fundamental ideas of space and time], or whether they are mere projections of our mental machinery on the surface of things, is absolutely necessary to appease the cravings of intelligence.”²⁸

In diesem Zusammenhang führt MAXWELL nun den philosophisch hochbrisanten Begriff der *“real analogy”* ein und kontrastiert sie mit dem der ‚Analogie im eigentlichen Sinn‘, wie man sagen könnte, die bloß metaphorisch ist. Weil Wärme und Elektrizität unterschiedlich konstituiert sind, besteht zwischen Wärmeleitung und elektrischer Anziehung und Abstoßung keine „reale“ Analogie, sondern nur eine Analogie (im eigentlichen Sinn), die sich nicht auf alle Züge der Phänomene beziehen kann. Wenn also MAXWELL in der Überschrift seines Vortrags wissen will *Are There Real Analogies in Nature?*²⁹, so stellt er damit keine rhetorische Frage nach der Existenz von Analogien, wie sie z. B. THOMSON aufgefunden hat, sondern geht ein *philosophisches* Problem an: Gesetzt den Fall, wir hätten eine tiefe Beziehungsähnlichkeit zweier Bereiche der Natur untereinander gefunden, die sich in allgemeinen Prinzipien ausdrückt und durch ein grundlegendes Gesetz *“of the right action of the intellect”* begründet scheint. Hätten wir dann das Recht zu sagen, dass wir nun mit unseren Vermutungen bei der *wirklichen* Beschaffenheit der Natur angekommen sind und nicht mehr bloß *metaphorisch* über die Dinge reden, oder dass sich zumindest der metaphorische Charakter unserer Deutungen vermindert hat? Oder sitzen wir damit nur einer Illusion auf? MAXWELL will also wissen, ob (und wenn ja wann) wir die Vorläufigkeit der Analogie – ihren metaphorischen Charakter und ihre Modellhaftigkeit – abstreifen und legitimerweise zu wörtlich zu verstehenden Einsichten in die Natur übergehen können. An einer anderen Stelle schreibt MAXWELL auch, dass die tiefen Ähnlichkeiten der verschiedenen naturwissenschaftlichen Bereiche in Bezug auf die fundamentalen Bewegungsgesetze, die auf reale Analogien hinweisen, eigentlich keine „Analogien“ mehr seien, sondern „transformierte Identitäten“.³⁰

MAXWELLS Unterscheidung zwischen *“analogy”* und *“real analogy”* bereitete den Interpreten seiner Ausführungen zur Analogie bisher immer große Schwierigkeiten. HENDRY z. B. interpretiert im Zusammenhang der Einführung des Ausdrucks *“real analogy”* durch MAXWELL *“analogy”* (ohne ein Beiwort) als „scheinbare Analogie“.³¹ Hätte MAXWELL dies im

27 MAXWELL 1856, S. 376.

28 Ebenda, S. 377f.

29 Ebenda, S. 376.

30 Ebenda, S. 380.

31 Vgl. HENDRY 1986, S. 146f.

Sinn gehabt, hätte er ohne weiteres diesen Ausdruck benützen können, aber man sucht nach „*apparent*“ oder dergleichen vergeblich. HENDRY interpretiert nun eine „scheinbare Analogie“ als etwas, das nicht real in der Natur existiert, sondern nur im Geist, und vom Geist der Natur aufgeprägt wird. Wenn aber Analogien Metaphern sind, wie MAXWELL es ja sagt, dann hat die Sprechweise von einer Metapher, die nicht Resultat des Geistes ist, keinen Sinn. Stattdessen halte ich es für angebrachter, die „*real analogy*“ als ‚auf eine zugrundeliegende physische Realität verweisend‘ zu interpretieren. Eine Analogie zwischen zwei Bereichen im eigentlichen Sinn stellt eine bloße mathematische Strukturähnlichkeit fest; eine *reale* Analogie geht aber darüber hinaus und glaubt Gründe dafür zu haben, dass nicht nur diese formale Ähnlichkeit besteht, sondern noch eine tiefer gehende Übereinstimmung in der zugrundeliegenden „*physical conception*“.³²

MAXWELL versucht nun, tatsächlich zu zeigen, dass es fundamentale Ideen in der Physik gibt, die als reale Analogien zu den fundamentalen Ideen des Geistes zu verstehen sind. An diesem Punkt geht MAXWELL über seinen philosophischen Lehrer WHEWELL hinaus; ein Umstand, der den bisherigen Maxwell-Interpreten entgangen zu sein scheint. Raum und Zeit sind für ihn nämlich nicht „bloß Modifikationen unseres eigenen Geistes“, wie man – so MAXWELL – gemeinhin annehme, sondern es besteht eine reale Analogie zwischen ihnen und dem objektiven Raum und der objektiven Zeit selbst.³³

MAXWELLS Argument für die Zeit verläuft etwa so: Wäre die Ordnung, in der unsere Empfindungen (*sensations*) nacheinander auftauchen, nicht die wirkliche objektive Ordnung der Gegenstände, wovon sie Erscheinungen sind, müsste Position und Ordnung ihrer Ursachen verschieden von denen der Empfindungen sein. Wir haben aber keinen Grund anzunehmen, dass solche Unterschiede zur Position der Empfindungen bestehen. Da die Identität eines Gegenstandes sowohl unabhängig von der Reihenfolge ist, in der er zusammen mit anderen Gegenständen auftritt, als auch von der Abfolge unterschiedlicher Empfindungen, folgt, dass unsere Vorstellung der Zeit, die sich an der Abfolge der Empfindungen festmacht, der wirklichen zeitlichen Abfolge der Ursachen der Empfindungen entspricht.

“Now if we admit that we can think of difference independent of sequence, and of sequence without difference, we have admitted enough on which to found the possibility of the ideas of space and time.”³⁴

Allerdings liegt keine *Identität* der empfundenen Zeit mit der wirklichen Zeit vor, da trotz gleicher Reihenfolge der Ereignisse das Auftreten der Ursache und das Auftreten der Empfindung zu verschiedenen Zeitpunkten stattfinden können. Es besteht also nur eine *Analogie* zwischen „den beiden Ordnungen von Gedanken und Dingen“.³⁵ Modern könnte man das so ausdrücken, dass die Ordnung der Zeit auf einer Ordinalskala für Gedanken mit der von Dingen identisch ist, aber nicht auf einer Intervallskala, geschweige denn einer Rationalskala (STEVENS 1946).

32 Siehe oben, die Stelle aus MAXWELL 1855/56, S. 155f.

33 Es besteht allerdings eine Ähnlichkeit zu William HAMILTONS (etwas eigenartiger) Sicht von KANT: In einem nachgelassenen Fragment zu *Kant's Doctrine of Space and Time* aus der Zeit vor 1836 kritisiert dieser KANTS „conviction that we live in a world of unreality and illusion“ und hält dagegen: “[M]y doctrine holds [...] that Space and Time, as given, are real forms of thought and conditions of things“ (HAMILTON 1859, S. 647).

34 MAXWELL 1856, S. 377.

35 Ebenda, S. 378.

An einer etwas späteren Stelle sagt MAXWELL, dass wir keinen Gedanken hegen können, ohne ihn als abhängig von einem Grund, warum er auftritt, aufzufassen. Wenn wir von (materiellen) Objekten sprechen, sind die Gründe unserer Gedanken und Vorstellungen *Ursachen*, also Gründe, die sich auf (analog dazu geordnete) Gegenstände beziehen. „Sind die Objekte mechanischer Natur oder werden sie mechanisch aufgefasst, dann sind die Ursachen noch stärker definiert und heißen *Kräfte*“.³⁶ In einer mechanisch verfassten Physik sind wir also gezwungen, die Erscheinungen als durch Kräfte verursacht zu begreifen. Dies ist wohl die weitere Prämisse, die MAXWELL bei der Begründung der Möglichkeit realer Analogien zwischen fundamentalen Ideen und Natur voraussetzt. Wenn wir Ereignisse in der Natur kennen, also wissen, was zu einer gegebenen Zeit an einem gegebenen Ort der Fall ist, und zusätzlich noch die Kräfte kennen, die in der Natur wirken, dann können wir Voraussagen auf bisher unbekannte Ereignisse machen.

MAXWELL gibt für die fundamentale Idee des Raumes eine ähnliche Begründung, die aber knapper und daher weniger überzeugend ausfällt:

“Now it appears to me that when we say that space has three dimensions, we not only express the impossibility of conceiving a fourth dimension, co-ordinate with the three known ones, but assert the objective truth that points may differ in position by the independent variation of three variables.”³⁷

Er kommt hier ebenfalls zum Schluss, dass es eine reale Analogie zwischen unseren Ideen und der Außenwelt gibt: “Here, therefore, we have a *real* analogy between the constitution of the intellect and that of the external world.”³⁸

MAXWELL fasst nun auch hier das Verhältnis zwischen dem Bereich der Zahlen und dem Bereich der Gegenstände als Analogie auf. Allerdings bleibt es offen, ob er dieses Verhältnis als eine *reale* Analogie verstanden wissen will oder ob es, was nach dem Text wahrscheinlicher ist, nicht eher durch erfahrungsunabhängige Vorentscheidungen, durch *Definitionen*, vorstrukturiert ist. Eine solche Vorentscheidung fällen wir nämlich beim Zählen von Gegenständen. Da die Natur einen *horror* davor hat, in einzelne Gegenstände aufgeteilt zu werden, müssen wir *per fiat* den Gegenständen „durch Definition eine fiktive Einheit“ geben.

“The dimmed outlines of phenomenal things all merge into another unless we put on the focussing glass of theory and screw it up sometimes to one pitch of definition, and sometimes to another, so as to see down into different depths through the great millstone of the world.”³⁹

Hier schimmert schon ein konventionalistischer Standpunkt durch!

MAXWELL greift die Methode der Analogie nochmals explizit im Jahre 1870 in einer Ansprache vor der mathematischen und physikalischen Sektion der *British Association* auf. Er nennt die Analogie (oder die ‚Analogie im eigentlichen Sinn‘, wie ich es nannte) nun eine „formale“ Analogie zwischen *systems of ideas*.⁴⁰ Eine formale Analogie verhilft zu einer *scientific illustration* eines Wissenschaftsgebiets durch ein anderes; sie ist eine “*Scientific*

36 Ebenda.

37 Ebenda.

38 Ebenda.

39 Ebenda, S. 377.

40 MAXWELL 1870, S. 219.

Metaphor“, mit der wir die „Sprache und Ideen“ der einen Wissenschaft auf eine andere übertragen können.

“The characteristic of a truly scientific system of metaphors is that each term in its metaphorical use retains all the formal relations to the other terms of the system which it had in its original use. The method is then truly scientific – that is, not only a legitimate product of science, but capable of generating science in its turn.”⁴¹

Auch wenn die „mathematischen Formen der Beziehungen in beiden Systemen dieselben sind“, kann jedoch die „physische Natur der Quantitäten völlig verschieden“ sein.⁴²

Auch in diesem Aufsatz stellt MAXWELL die „philosophische Frage“, ob das Bestehen einer formalen Analogie darauf hinweisen kann, dass sich darunter eine physische Ähnlichkeit oder gar Identität verbirgt:

“Suppose, then, we have successfully introduced certain ideas belonging to an elementary science by applying them metaphorically to some new class of phenomena. It becomes an important philosophical question to determine to what degree the applicability of the old ideas to the new subject may be taken as evidence that the new phenomena are physically similar to the old.”⁴³

Soweit ich sehe, hat MAXWELL diese Frage – wenigstens im Druck – nicht weiter verfolgt.

3. Physikalische Analogien bei Helmholtz

Es ist nun interessant zu sehen, dass der Begriff der Analogie nicht nur von den britischen Physikern verwendet wird, sondern auch bei HELMHOLTZ auftaucht, oder, besser gesagt, dass sich HELMHOLTZ und die britischen Physiker gegenseitig die Bälle in Bezug auf Analogien in der Physik zuspielen. Es ist bekannt, dass HELMHOLTZ enge Verbindungen zu den Physikern in Großbritannien pflegte. Seine erste Reise nach England fand schon 1853 statt; zwei Jahre später lernte er den drei Jahre jüngeren William THOMSON kennen, mit dem ihn dann eine feste Freundschaft verband. Auf einer der vielen weiteren Reisen nach Großbritannien lernte er 1864 auch MAXWELL persönlich kennen. Noch während HELMHOLTZ 1870 über seinen Ruf von Heidelberg nach Berlin verhandelte, erreichte ihn ein weiterer Ruf nach Cambridge. Der Aufstieg zum ‚Reichskanzler der Physik‘ übte dann aber doch die größere Anziehungskraft aus als die Liebe zu Großbritannien. 1873 erhielt er, vielleicht als Trost für die entgangene Stelle in Cambridge, die *Copley Medal* der *Royal Society*.

Ich habe schon oben auf HELMHOLTZ‘ wichtigen Aufsatz von 1858 zur Hydrodynamik hingewiesen (den sich THOMSON zum Vorbild genommen hatte), in dem er zeigt, dass Wirbelbewegungen in einer reibungsfreien inkompressiblen Flüssigkeit erhalten bleiben. Dort spricht HELMHOLTZ auch von einer „merkwürdige[n] Analogie der Wirbelbewegungen des Wassers mit den electromagnetischen Wirkungen electricer Ströme“ und zwar einer

41 Ebenda, S. 227.

42 Ebenda, S. 218.

43 Ebenda, S. 227.

„Analogie zwischen Fernwirkungen der Wirbelfäden und den electromagnetischen Fernwirkungen stromleitender Drähte, welche ein sehr gutes Mittel abgiebt, um die Form der Wirbelbewegungen anschaulich zu machen.“⁴⁴

HELMHOLTZ illustriert also mechanische Wirbelbewegungen durch Analogie mit elektromagnetischen Erscheinungen. MAXWELL griff diese Stellen in seinem Aufsatz von 1861/62 über *Physical Lines of Force* auf und schrieb:

“Since the first part of this paper was written, I have seen [...] a paper by Prof. Helmholtz on Fluid Motion, in which he has pointed out that the lines of fluid motion are arranged according to the same laws as the lines of magnetic force, the path of an electric current corresponding to a line of axes of those particles of the fluid which are in a state of rotation. This is an additional instance of a *physical analogy*, the investigation of which may illustrate both electro-magnetism and hydrodynamics.”⁴⁵

Hier haben wir ein echtes Beispiel für den Fall, dass, wie MAXWELL es später ausdrückte, die “recognition of the formal analogy between the two systems of ideas leads to a knowledge of both, more profound than could be obtained by studying each system separately”.⁴⁶

In einer Arbeit von 1870 (und weiteren folgenden) verteidigte HELMHOLTZ als Alternative zu MAXWELL eine eigene elektromagnetische Theorie, die noch zu einem wesentlichen Teil den Fernkrafttheorien der kontinentalen Physik verhaftet ist. Er konnte zeigen, wie er schreibt, dass

„die merkwürdige Analogie zwischen Bewegungen der Elektrizität in einem Dielectricum und denen des Lichtäthers nicht von der besonderen Form von Herrn Maxwell’s Hypothesen abhängt, sondern sich in wesentlicher Weise auch ergibt, wenn wir die ältere Ansicht über die elektrischen Fernwirkungen beibehalten“.⁴⁷

Damit war für HELMHOLTZ der Modellcharakter der Maxwellschen Theorie nochmals bekräftigt und der Weg abgeschnitten, sie als „reale Analogie“ zu nehmen.

Im Jahre 1884 veröffentlichte HELMHOLTZ einen Aufsatz über die *Principien der Statik monocyklischer Systeme*, in dem er eine Analogie konstatierte zwischen monocyklischer Wirbelbewegung (Systeme von Wirbelbewegungen, die nur von einem Parameter abhängen) und der Wärmebewegung gemäß der kinetischen Gastheorie. Es ergab sich daraus auch eine monocyklische Analogie für den zweiten Hauptsatz der Thermodynamik.⁴⁸ HELMHOLTZ verglich ein solches System mit einem Kreisel: Auch an ihm sind zwei Arten von Bewegungen zu unterscheiden, eine schnelle verborgene zyklische, die der Wärmebewegung des Gases entspricht, und die langsame nichtzyklische Präzession der Kreiselachse, der die Gleichungen der Umwandlung der Wärme des Gases in Arbeit entsprechen. Diese Analogie machte besonders auf BOLTZMANN und HELMHOLTZ‘ Schüler HERTZ einen nachhaltigen Eindruck.⁴⁹ Die Theorie der „verborgenen Bewegungen“, die in HERTZ‘ Mechanik so eine herausragende

44 HELMHOLTZ 1858, S. 27 und 40; WA Bd. I, S. 103 und 117.

45 MAXWELL 1861/62, S. 348, dt. S. 53.

46 MAXWELL 1870, S. 219.

47 HELMHOLTZ 1870, S. 558.

48 Siehe SCHIEMANN 1997, S. 391ff.

49 Siehe KLEIN 1973, BIERHALTER 1981 und 1992, JUNGnickel und McCORMACH 1990, S. 129–134.

Rolle spielt, ist als der Versuch anzusehen, den Begriff der monozyklischen Bewegung zu verallgemeinern.⁵⁰

HELMHOLTZ war sich übrigens der methodischen Bedeutung von William THOMSONS Analogien (und damit wohl auch der von MAXWELL) wohl bewusst, wie aus seiner Besprechung der *Mathematical and Physical Papers* von THOMSON aus dem Jahre 1885 hervorgeht:

“One great merit in the scientific method of Sir William Thomson consists in the fact that, following the example set by Faraday, he avoids as far as possible hypotheses on unknown subjects, and by his mathematical treatment of problems endeavours to express the law simply of observable processes. By this circumscription of his field the analogy between the different processes of nature is brought out much more distinctly than would be the case were it complicated by widely-diverging ideas respecting the unknown interior mechanism of the phenomena.”⁵¹

Unter “hypotheses” sind hier natürlich Annahmen über theoretische, der Erfahrung nicht direkt zugängliche *Gegenstände* oder *Prozesse* zu verstehen (und nicht nur allgemein irgendwelche Vermutungen).

Kurz vor seinem Tod kam HELMHOLTZ übrigens zu einer anderen Einschätzung und ließ die wissenschaftsmethodische Bedeutung seiner von ihm vorgeschlagenen Monozyklen in einem anderen Licht erscheinen. Im Vorwort zu HERTZ’ *Prinzipien der Mechanik* schildert er zuerst, welche „hypothetischen Zwischenglieder“ HERTZ sich mit den „unwahrnehmbare[n] Massen und unsichtbare[n] Bewegungen derselben“ für seine Mechanik ausgedacht habe, um die Existenz von Kräften, die nicht Kontaktkräfte sind, zu erklären. „Er [HERTZ] scheint hierbei hauptsächlich auf die Zwischenschaltung zyklischer Systeme mit unsichtbaren Bewegungen Hoffnung gesetzt zu haben.“ HELMHOLTZ fährt dann fort:

„Englische Physiker, wie Lord Kelvin in seiner Theorie der Wirbelatome, und Maxwell in seiner Annahme eines Systems von Zellen mit rotirendem Inhalt, die er seinem Versuch einer mechanischen Erklärung der elektromagnetischen Vorgänge zu Grunde gelegt hat, haben sich offenbar durch ähnliche Erklärungen besser befriedigt gefühlt, als durch die blosse allgemeinste Darstellung der Thatsachen und ihrer Gesetze, wie sie durch die Systeme der Differentialgleichungen der Physik gegeben wird. Ich muss gestehen, dass ich selbst bisher an dieser letzteren Art der Darstellung festgehalten, und mich dadurch am besten gesichert fühlte; doch möchte ich gegen den Weg, den so hervorragende Physiker, wie die drei genannten, eingeschlagen haben, keine principiellen Einwendungen erheben.“⁵²

Hier werden HERTZ’ „unsichtbare Bewegungen“ mit MAXWELL und THOMSON in Verbindung gebracht und so getan, als hätte HELMHOLTZ selbst mit solchen – angeblich „hypothetischen Zwischengliedern“ – nichts zu tun und stünde ganz auf der Seite KIRCHHOFFS – obwohl es ja seine (damals nicht realistisch verstandene, sondern als *Analogien* gedeutete) Monozykeln waren, auf denen HERTZ aufbaute!

50 LÜTZEN 1995, S. 208ff.; HEIDELBERGER 1998.

51 HELMHOLTZ 1885, S. 25.

52 HELMHOLTZ 1894, S. xxif.

4. Die Analogie zwischen Quantitäten und Zahlen

Im oben schon gebrachten Zitat aus *Faraday's Lines of Force*, das die Analogie zweier Gebiete als teilweise Ähnlichkeit ihrer Gesetze bestimmt, die sich gegenseitig illustrieren, schreibt MAXWELL weiter:

“Thus all the mathematical sciences are founded on relations between physical laws and laws of numbers, so that the aim of exact science is to reduce the problems of nature to the determination of quantities by operations with numbers.”⁵³

Er nennt das Verhältnis der physikalischen Gesetze zu den Zahlengesetzen “the most universal of all analogies”. Hier wird nun also der Begriff der Analogie allgemein auf das Verhältnis zwischen Mathematik und Erfahrungswissenschaft ausgeweitet: MAXWELL konstatiert eine Korrespondenz zwischen der Operation mit Zahlen und der Operation mit physischen Quantitäten.

Auch in der Kurzfassung von *Faraday's Lines of Force* vertrat MAXWELL, wie schon ausgeführt, eine ähnliche Ansicht. Er schrieb dort, dass wir für die Methode der physikalischen Analogie ein Beispiel in der “substitution of numbers for quantities in all calculations” hätten.⁵⁴ Und auch in der Rede von 1870 wurde die Beziehung zwischen der „physischen Aktivität der Moleküle“ und der „geistigen Operation des Mathematikers“ angesprochen:

“But who will lead me into that still more hidden and dimmer region where Thought weds Fact, where the mental operation of the mathematician and the physical action of the molecules are seen in their true relation?”⁵⁵

Die Aussicht, diesen Zusammenhang zu erkennen, wird dort aber wesentlich skeptischer als früher eingeschätzt. Der Weg zur wahren Beziehung führt nämlich „durch die Behausung des Metaphysikers“, die jeder Mann der Naturwissenschaft „verabscheut“. Man benötige ja schon „Tausende von Jahren“, um metaphysische Spekulationen überhaupt verständlich formulieren zu können.⁵⁶

Im Jahre 1895 gab BOLTZMANN seine Übersetzung von MAXWELLS *On Faraday's Lines of Force* für die Reihe *Ostwald's Klassiker der exakten Wissenschaften* (Bd. 69) heraus. Zu der eben (am Anfang von Kap. 4) zitierten Stelle, dass alle mathematischen Wissenschaften auf den Relationen zwischen physikalischen Gesetzen und Zahlengesetzen beruhen, gab er folgenden Kommentar ab:

„Der Standpunkt, dass die Messung der Raum- und Zeitgrößen durch Zahlen auf einer blossen Analogie derselben mit den zwischen ganzen Zahlen bestehenden Relationen beruhe, ist, soviel ich weiss, niemals wieder aufgenommen worden.“⁵⁷

Hier irrte BOLTZMANN, denn es war eben Hermann von HELMHOLTZ, der diesen „Standpunkt“ wieder aufgenommen hat, und zwar 1887 in seinem Aufsatz *Zählen und Messen, erkenntnistheoretisch betrachtet*. Entweder hat sich BOLTZMANN nicht mehr an diesen Aufsatz von HELMHOLTZ erinnert oder ihn bis zur Fertigstellung der Übersetzung nicht gekannt. Er erschien auch zuerst in einer (für Physiker wohl entlegenen) Festschrift für HELMHOLTZ‘

53 MAXWELL 1855/56, S. 156.

54 MAXWELL 1855/56, S. 355.

55 MAXWELL 1870, S. 216.

56 MAXWELL 1870, S. 216.

57 BOLTZMANN 1895, S. 100.

Freund, den Philosophen Eduard ZELLER, der HELMHOLTZ' Kollege an der Friedrich-Wilhelm-Universität in Berlin war (und ihm 1878 im Rektoramt nachfolgte). Der Abdruck des Aufsatzes von HELMHOLTZ in seinen *Wissenschaftlichen Abhandlungen* erfolgte erst im 3. Band von 1895, so dass BOLTZMANN ihn bei Anfertigung der Übersetzung in dieser Fassung nicht hat zur Kenntnis nehmen können.⁵⁸

Es gibt noch einen zweiten Autor, der dies – wohl unabhängig von BOLTZMANN – so gesehen hat, nämlich der dänische Philosoph Harald HØFFDING, und zwar in seinen Vorlesungen über *Moderne Philosophen* von 1902 (1904 gedruckt, 1905 ins Deutsche übersetzt). MAXWELLS Gedanke in *Faraday's Lines of Force*, schrieb HØFFDING in einer Fußnote,

„dass die Anwendung der Zahlenlehre auf Naturerscheinungen auf Analogie beruhe, wurde später ausgeführt von Helmholtz in dessen Abhandlung in der *Festschrift an Zeller* (1887), *„Zählen und Messen, erkenntnistheoretisch betrachtet“*, und von Ernst Mach in dessen Schrift *„Die Prinzipien der Wärmelehre, historisch-kritisch erläutert“* (1896)“.⁵⁹

Die hier dargelegten bisher bekannten Fakten reichen sicher nicht zu einem *Beweis* aus, dass HELMHOLTZ den Gedanken, das Messen beruhe auf der Analogie zwischen physischen und numerischen Gesetzen, tatsächlich von MAXWELL übernommen hat. Es ist aber jedenfalls bezeichnend, dass BOLTZMANN, ohne bewusste Kenntnis von HELMHOLTZ' Aufsatz, die Stelle bei MAXWELL genauso auffasst, wie HØFFDING es später tat. Ich sehe hierin doch ein starkes Indiz dafür, dass HELMHOLTZ' Messtheorie aus einer – durch MAXWELL angestoßenen – Verallgemeinerung des Analogiedenkens in der Physik erwachsen ist.

Um HELMHOLTZ' Auffassungen näher darzustellen, möchte ich ihn zuerst in einem längeren Zitat selbst zu Wort kommen lassen. Er führt darin aus, dass eine Eigenschaft physischer Objekte genau dann messbar ist (d. h. als extensive Größe darstellbar ist), wenn festgelegt ist, was *Gleichheit* und *additive Verbindung* für diese Eigenschaft bedeuten:

„[M]ittels dieses Zeichensystems der Zahlen geben wir Beschreibungen der Verhältnisse reeller Objecte, die, wo sie anwendbar sind, jeden geforderten Grad der Genauigkeit erreichen können, und mittels desselben werden in einer grossen Anzahl von Fällen, wo Naturkörper unter der Herrschaft bekannter Naturgesetze zusammentreffen oder zusammenwirken, die den Erfolg messenden Zahlenwerthe durch Rechnung vorausgefunden. Dann muss aber gefragt werden: Was ist der objective Sinn davon, dass wir Verhältnisse reeller Objecte durch benannte Zahlen als Grössen ausdrücken, und unter welchen Bedingungen können wir dies thun? Diese Frage löst sich, wie wir finden werden, in zwei einfachere auf, nämlich:

1. Was ist der objective Sinn davon, dass wir zwei Objecte in gewisser Beziehung für *gleich* erklären?
2. Welchen Charakter muss die physische Verknüpfung zweier Objecte haben, damit wir vergleichbare Attribute derselben als *additiv* verbunden, und diese Attribute demzufolge als *Grössen*, die durch benannte Zahlen ausgedrückt werden können, ansehen dürfen? Benannte Zahlen nämlich betrachten wir aus ihren Theilen, beziehlich Einheiten, durch Addition zusammengesetzt.“⁶⁰

58 HELMHOLTZ 1895

59 HØFFDING 1905, S. 211. Zu HELMHOLTZ' und vor allem zu MACHS Messtheorien vgl. HEIDELBERGER 1993, Kap. 5. Vgl. MACH 1896.

60 HELMHOLTZ 1887, S. 359f.

Im Jargon der gegenwärtigen Messtheorie ausgedrückt, ist Messung also für HELMHOLTZ die Repräsentation der Beziehung von empirischen Objekten einer Art im Zeichensystem der Zahlen bzw. durch benannte Zahlen als Größen. Eine solche Darstellung ist sinnvoll – d. h., sie erlaubt einen Schluss von den Zahlen auf die Gegenstände –, sobald für die Menge der empirischen Objekte Gleichheit und Additivität und für die Zahlen die üblichen arithmetischen Rechnungsoperationen definiert sind. Es wird also ein Ausdruck der Verhältnisse der zu messenden Objekte im Zeichensystem der Zahlen gesucht, so dass

- (1.) die physische Gleichheit (\sim) der Objekte der Zahlgleichheit ($=$) und
- (2.) die physische Verknüpfung (\oplus) der Objekte der Addition der Zahlen ($+$) entspricht.

Wenn wir unter einer Struktur, wie üblich, eine Menge S verstehen, auf der eine oder mehrere Operationen definiert sind, dann können wir dies noch kürzer ausdrücken: Messung ist eine Analogie zwischen der numerischen Struktur mit Gleichheit und Addition und einer empirischen Struktur mit physischer Gleichheit und physischer Additivität. Physische Gleichheit und physische Verknüpfung sind also bei der Messung mit numerischer Gleichheit und numerischer Verknüpfung (Addition) im Zahlensystem analog.

Ist ein Bereich empirischer Gegenstände zu messen, dann muss also dementsprechend im Bereich der zu messenden Gegenstände eine physische „Methode der Vergleichung“ und eine physische „Verknüpfungsmethode“ gefunden werden, um die gewünschte Analogie herstellen zu können. HELMHOLTZ untersucht daher näher die Bedingungen, unter denen man von „physischer Vergleichung“ und additiver „Methode der Verknüpfung“ sprechen kann. Die physische Vergleichung hat reflexiv, symmetrisch und transitiv zu sein und die Verknüpfung muss additiv und kommutativ sein. Dies wird von HELMHOLTZ durch Angabe der Axiome der Messung bestimmt, wobei er auf Vorarbeiten von Hermann und Robert GRASSMANN zurückgreift:

(1.) Gleichartigkeit der Summe und der Summanden:

„[Ü]ber das Gleichbleiben des Ergebnisses der Verknüpfung bei Vertauschung der Theile muss durch dieselbe Methode der Vergleichung entschieden werden, mit der wir die Gleichheit der zu vertauschenden Theile festgestellt haben.“⁶¹

[Modern: *Monotonie*: $(a \sim b) \leftrightarrow (a \oplus c) \sim (b \oplus c)$, für beliebiges $c \in S$]

(2.) „*Commutationsgesetz*. Das Resultat der Addition ist unabhängig von der Reihenfolge, in der die Summanden verknüpft werden. Dasselbe muss gelten von physischen Verknüpfungen, die als Additionen zu betrachten sein sollen.“⁶²

[Modern: *Kommutativität* von \oplus (bzgl. \sim): $(a \oplus b) \sim (b \oplus a)$]

(3.) „*Associationsgesetz*. Die Verbindung zweier gleichartiger Grössen kann auch physisch geschehen, indem statt beider eine ungetheilte Grösse derselben Art eingesetzt wird, die ihrer Summe gleich ist. Dadurch sind jene beiden dann vor allen andern additiv vereinigt.“⁶³ (Dies ergibt sich schon aus (1.) und (2.), wie HELMHOLTZ selbst bemerkt.)

[Modern: Wenn $(a \oplus b) \sim c$, dann ist $((a \oplus b) \oplus d) \sim (c \oplus d)$]

Die folgenden vier Axiome werden von HELMHOLTZ nur angedeutet bzw. als Folgerungen aus (1.)–(3.) angesehen:

61 Ebenda, S. 381.

62 Ebenda, S. 382.

63 Ebenda, S. 382.

- (4.) *Ordnungsrelation.* $a \bullet > b \leftrightarrow$ es gibt ein $c \in S$: $(a \oplus c) \sim b$ („ $\bullet >$ “ ist dabei die physische „größer als“-Relation.)
 (5.) *Positivität.* $(a \oplus b) \bullet > a$ und $(a \oplus b) \bullet > b$
 (6.) *Archimedisches Axiom.* Wenn $a \bullet > b$, dann gibt es ein $n \in \mathfrak{T}^+$, so dass $(n \cdot b) \bullet \geq a$

Am einfachsten lassen sich die Axiome am Beispiel einer Balkenwaage illustrieren, wie es auch HELMHOLTZ andeutet. Man kann dies modern so formulieren: Sei $S = \langle G; \sim, \oplus \rangle$ eine empirische Struktur mit G für Gewichtsstücke. Dann ist die Methode der Vergleichung das Ausbalancieren auf einer Balkenwaage. „ \sim “ steht für „gleich schwer wie“. Die Verknüpfungsmethode ist das Zusammenlegen von Gewichtsstücken in eine Waagschale, so dass also „ \oplus “ für diese physische Verknüpfungsoption steht.

Sei $R = \langle \mathfrak{R}; =, + \rangle$ eine numerische Struktur mit \mathfrak{R} als Teilmenge der reellen Zahlen und „ $=$ “ für „gleich“ und „ $+$ “ für die numerische Operation der Addition, wie sie in der Arithmetik definiert ist. Dann kann man folgendes Repräsentationstheorem formulieren: Es gibt eine Abbildung $\varphi : S \rightarrow R$, so dass für alle $a, b \in G$:

$$(1.) a \sim b \leftrightarrow \varphi(a) = \varphi(b)$$

Sind zwei Gewichte gleichschwer, sind auch ihre Zahlenwerte gleich.

$$(2.) \varphi(a \oplus b) = \varphi(a) + \varphi(b)$$

Der Zahlenwert zweier verknüpfter Gewichte ist gleich dem Zahlenwert des einen plus dem Wert des anderen Gewichts.

Es kommt hier nicht so sehr darauf an, die Details der Entwicklung der Messtheorie weiter zu verfolgen. Festgehalten sei nur noch, dass HELMHOLTZ' Ansatz von seinem Schüler Johannes VON KRIES (1882) und in formaler Hinsicht von Otto HÖLDER (1901) weitergeführt wurde. In der Gegenwart haben SCOTT und SUPPES (1958), SUPPES und ZINNES (1962) sowie KRANTZ et al. (1971) HELMHOLTZ' Ansatz wieder aufgegriffen. Die heutige, recht technische und formale Diskussion der Messtheorie wird hauptsächlich im *Journal of Mathematical Psychology* geführt.⁶⁴

Es ist noch wichtig zu zeigen, dass und wie HELMHOLTZ' Anwendung der Methode der Analogie auf das Verhältnis von Mathematik und Erfahrung bereits in seinen früheren philosophischen Überlegungen angelegt ist. Schon in seinem wegweisenden Aufsatz „Ueber den Ursprung und die Bedeutung der geometrischen Axiome“ von 1870 kommt die Grundidee des Ansatzes von 1887 zum Ausdruck:

„Schliesslich möchte ich nun noch hervorheben, dass die geometrischen Axiome gar nicht Sätze sind, die nur der reinen Raumlehre angehörten. Sie sprechen, wie ich schon erwähnt habe, von Grössen. Von Grössen kann man nur reden, wenn man irgend welches Verfahren kennt und im Sinne hat, nach dem man diese Grössen vergleichen, in Theile zerlegen und messen kann.“⁶⁵

Letztlich dürfte aber die Idee nicht aus der Philosophie der Geometrie, sondern aus seiner Sinnesphysiologie stammen, in der er sich das Problem ähnlich wie MAXWELL zurechtgelegt hatte. Bekanntermaßen hat HELMHOLTZ, im Anschluss an Johannes MÜLLER und dessen Gesetz der spezifischen Sinnesenergien, auf „die auffallenden und groben Incongruenzen zwischen den Empfindungen und Objecten, sowohl in Bezug auf die Qualität, wie auf die

64 Eine Erklärung dafür, warum die Diskussion ausgerechnet in der Psychologie und kaum anderswo stattfindet, findet man in HEIDELBERGER 1993, Kap. 5.

65 HELMHOLTZ 1870, S. 28f.

Localisation“⁶⁶ hingewiesen und damit sowohl die naive Sehtheorie des Alltags als auch den Nativismus der Schule von Ewald HERING u. a. zu kritisieren versucht – also jene Positionen, die eine Spielart des „direkten Realismus“ vertreten (wie man in der Philosophie der Wahrnehmung heute sagen würde). HELMHOLTZ geht sogar so weit zu schreiben,

„daß die Art und Weise, wie wir die Vorgänge in unserem Seelenleben wahrnehmen, gänzlich verschieden ist von allen Wahrnehmungen, die sich auf äußere Objecte beziehen, und die Qualitäten der darauf bezüglichen Empfindungen gar keine Ähnlichkeit mit denen der äußeren Sinne haben, mit diesen also gar keine Art der Vergleichung, keine Beziehung der Ähnlichkeit zulassen. Dadurch ist jede Art von Analogie⁶⁷ zwischen beiderlei Klassen von Wahrnehmungen ausgeschlossen“.⁶⁸

HELMHOLTZ versucht die Gefahr eines umfassenden Skeptizismus, die sich durch diese Betonung der Nichtübereinstimmung von Wahrnehmung und Erfahrung in seiner repräsentationalen Wahrnehmungstheorie ergibt, durch den Verweis auf die Erfahrung der willentlichen Körperbewegung aufzufangen:

„Die Uebereinstimmung zwischen den Gesichtswahrnehmungen und der Aussenwelt beruht also ganz oder wenigstens der Hauptsache nach auf demselben Grunde, auf dem alle unsere Kenntniss der wirklichen Welt beruht, nämlich auf der Erfahrung und der fortdauernden Prüfung ihrer Richtigkeit mittelst des Experiments, wie wir es bei jeder Bewegung unseres Körpers vollziehen.“⁶⁹

Aber diese Methode stößt an Grenzen:

„Natürlich sind wir jener Uebereinstimmung nur in so weit versichert, als dieses Mittel der Prüfung reicht; es reicht aber gerade so weit, als wir ihrer für praktische Zwecke bedürfen. Jenseits dieser Grenzen, zum Beispiel im Gebiete der Qualitäten, können wir zum Theil die Nichtübereinstimmung bestimmt nachweisen.“⁷⁰

Das Ergebnis ist nun ähnlich wie bei MAXWELL, dass die Wahrnehmung oder die innere Welt mit den Gegenständen der Natur oder der Außenwelt wenigstens in *relationaler* Hinsicht übereinstimmt und diese Beziehungsähnlichkeit ausreicht:

„Nur die Beziehungen der Zeit, des Raumes, der Gleichheit, und die davon abgeleiteten Beziehungen der Zahl, der Grösse, der Gesetzlichkeit, kurz das Mathematische, sind der äusseren und inneren Welt gemeinsam, und in diesen kann in der That eine volle Uebereinstimmung der Vorstellungen mit den abgebildeten Dingen erstrebt werden.“⁷¹

Dieses ‚Kongruenzproblem‘, wie man es nennen könnte, wird 1878 in den „Thatsachen in der Wahrnehmung“ zum „Grundproblem“ der Erkenntnistheorie erklärt, das „Philosophie und Naturwissenschaft von zwei entgegengesetzten Seiten“ bearbeiten. Die Aufgabe der Naturwissenschaft ist es dabei, „abzuscheiden, was Definition, Bezeichnung, Vorstellungsform, Hypothese ist, um rein übrig zu behalten, was der Welt der Wirklichkeit angehört, deren

66 HELMHOLTZ 1868, S. 330.

67 HELMHOLTZ gebraucht hier „Analogie“ offensichtlich in einem anderen Sinn als MAXWELL.

68 HELMHOLTZ 1896, S. 577.

69 HELMHOLTZ 1868, S. 330f.

70 HELMHOLTZ 1868, S. 331.

71 Ebenda.

Gesetze sie sucht“.⁷² Der „Rest von Aehnlichkeit“ mag „geringfügig erscheinen“, schreibt HELMHOLTZ und fährt fort:

„In Wahrheit ist er es nicht; denn mit ihm kann noch eine Sache von der allergrössten Tragweite geleistet werden, nämlich die Abbildung der Gesetzmässigkeit in den Vorgängen der wirklichen Welt. [...] Da Gleiches in unserer Empfindungswelt durch gleiche Zeichen angezeigt wird, so wird der naturgesetzlichen Folge gleicher Wirkungen auf gleiche Ursachen, auch eine ebenso regelmässige Folge im Gebiete unserer Empfindungen entsprechen.“⁷³

Sowohl HELMHOLTZ als auch MAXWELL sind also überzeugt, dass wir durch Analogien die Kluft zwischen der Welt der Empfindungen und der Außenwelt überwinden können.

5. Schluss

Der Aufsatz hat sich mit zwei Entwicklungen näher auseinandergesetzt, der Herausbildung der Methode der physischen Analogie in der Physik und der Herausbildung des Gedankens, dass auch die Messung und damit die Mathematisierung unserer physikalischen Theorien als Anwendung der Methode der Analogie aufzufassen ist. Ich möchte zum Schluss fragen, welche Bedeutung wir aus heutiger Sicht diesen Entwicklungen zumessen können. Ist die Methode der Analogie nur eine historisch kontingente, lokal gebundene Variante physikalischer Methode, oder drückt sich in ihr nicht vielmehr eine langfristige Tendenz aus, die allgemein etwas über die Natur der modernen Naturwissenschaft aussagt? Ist die Analogie-theorie der Messung – oder, wie wir heute sagen: ihre Repräsentationstheorie – ebenfalls nur eine zeitgebundene Fassung des Problems vom Verhältnis zwischen Mathematik und Naturwissenschaft, die ansonsten keine übergreifende Bedeutung besitzt oder nicht doch eine bedeutendere Angelegenheit?

Was die erste Frage angeht, so wurden schon kurz nach der Zeitperiode, die wir hier betrachtet haben, weitergehende Überlegungen über die genannte Entwicklung angestellt. Ludwig BOLTZMANN hielt 1892 eine höchst scharfsinnige, prägnante und aufschlussreiche Rückschau auf die Entwicklung der „Methoden der theoretischen Physik“. Er schildert die von den „Pariser Mathematikern“ um die Wende des 18. Jahrhunderts geschaffene „Methode der theoretischen Physik“, die „Kraftzentren und Fernkräfte“ als „Hypothesen“ voraussetzte, und stellt sie zwei weiteren Entwicklungen gegenüber: Einerseits der Abwendung von den Hypothesen, die sich mit KIRCHHOFF und HERTZ (und, wie wir vielleicht hinzufügen können: auch schon mit FOURIER) im Lauf des 19. Jahrhunderts manifestiert habe, andererseits der Entwicklung des Elektromagnetismus mit FARADAY, THOMSON und MAXWELL, die, obwohl ihre Methode anfänglich als „Hypothese im alten Sinne des Wortes“ verspottet wurde, den alten Hypothesen „von einer anderen Seite noch empfindlicher zu Leibe gegangen“ sei als KIRCHHOFF und Konsorten mit der ihren. Mit MAXWELLS Arbeit von 1865 („A Dynamical Theory of the Electromagnetic Field“) „schälen sich die Formeln mehr von dem [mechanischen] Modelle los“, und es musste auch dem Letzten klar werden, dass MAXWELL seinen Modellen keine Realität zugeschrieben hat. BOLTZMANN schreibt weiter:

⁷² HELMHOLTZ 1878, S. 222.

⁷³ HELMHOLTZ 1878, S. 226.

„Allmählich jedoch fanden die neuen Ideen in allen Gebieten Eingang. Aus dem Gebiete der Wärmetheorie erwähne ich hier nur Helmholtz' berühmte Abhandlungen über die mechanischen Analogien des zweiten Hauptsatzes der Wärmetheorie. Ja, es zeigte sich, daß sie dem Geiste der Wissenschaft besser entsprachen, als die alten Hypothesen und auch für den Forscher selbst bequemer waren. Denn die alten Hypothesen konnten nur aufrecht erhalten werden, so lange alles klappte: jetzt aber schadeten einzelne Nichtübereinstimmungen nicht mehr, denn einer bloßen Analogie kann man es nicht übel nehmen, wenn sie in einzelnen Punkten hinkt. Daher wurden bald auch die alten Theorien, so die elastische Theorie des Lichtes, die Gastheorie, die Schemata der Chemiker für die Benzolringe usw., nur mehr als mechanische Analogien aufgefasst, und endlich generalisierte die Philosophie Maxwells Ideen bis zur Lehre, daß die Erkenntnis überhaupt nichts anderes sei, als die Auffindung von Analogien. Damit war die alte wissenschaftliche Methode [u. a. der Pariser Physiker mit ihren Hypothesen] wieder hinwegdefiniert und die Wissenschaft sprach nur mehr in Gleichnissen.“⁷⁴

Wenn man die Methode der mechanischen Analogien mit dem Vorgehen der Gegenwartsphysik vergleicht, sieht man – im Lichte von BOLTZMANN'S Deutung – tatsächlich in der heutigen Modellbildung der Physik eigentlich nur eine Ausweitung und Steigerung dessen, was bei MAXWELL schon angelegt ist. (BOLTZMANN verwendet ja auch schon den Ausdruck ‚Modell‘ für ‚Analogie‘.) Diese Auffassung wird auch von HENDRY geteilt, der in seinem Maxwell-Buch schreibt: „It would also be fair to say that Maxwell's method of analogy, though not known by that name, is the practical methodology characteristic of modern physics.“⁷⁵ An einer früheren Stelle seines Aufsatzes betont BOLTZMANN nochmals den Doppelcharakter der Modellbildung der theoretischen Physik: Ihr Ursprung liegt einerseits in den Erfordernissen der physikalischen Praxis, gewinnt damit andererseits auch eine tiefe philosophische Bedeutung: „Ich glaube, daß dies [die Art der physikalischen Modellbildung] mehr dem praktisch physikalischen Bedürfnisse als erkenntnis-theoretischen Spekulationen zu verdanken ist. Trotzdem aber hat diese Methode vielfach ein eminent philosophisches Gepräge, und wir müssen daher [...] den Boden der Erkenntnistheorie betreten.“⁷⁶ Philosophisch gesehen wird durch diese Methode der symbolische Charakter der Theorienbildung herausgestellt: Die symbolische Form einer Theorie besitzt ein Eigenleben und lässt sich unter Umständen von ihr ablösen und auf eine andere Theorie übertragen, ohne damit die inhaltliche Vorstellung der anderen Theorie aufzuzwingen. Symbolische Form heißt hier aber nicht (oder wenigstens: nicht nur) Darstellung durch ein mathematisches Symbol, sondern strukturelle Form, Relationsgefüge. Wie der Wissenschaftsphilosoph und -historiker Howard STEIN schreibt:

„[O]ur science comes closest to comprehending 'the real', not in its account of 'substances' and their kinds, but in its account of the 'Forms' which phenomena 'imitate' (for 'Forms' read 'theoretical structures', for 'imitate', 'are represented by').“⁷⁷

74 BOLTZMANN 1892, S. 9.

75 HENDRY 1986, S. 268.

76 BOLTZMANN 1892, S. 3.

77 STEIN 1989, S. 57. Diese Einsicht hatte schon F. A. LANGE im Jahre 1875: „So werden wir mit dem Fortschritt der Wissenschaft immer sicherer in der Kenntnis der Beziehungen der Dinge und immer unsicherer über das Subjekt dieser Beziehungen.“ (LANGE 1875, S. 653.)

Was nun die zweite Frage angeht nach dem Stellenwert der Repräsentationstheorie der Messung, so ist auch hier der Schritt zur Struktur entscheidend. Vor HELMHOLTZ hat man sich bei der Analyse der Messung ausschließlich auf den operationalen Aspekt konzentriert und Messen als bestimmte Handhabung eines Maßgeräts aufgefasst. Durch die Repräsentationstheorie wird klar, dass Messen mehr ist, nämlich auch die Einbettung in ein symbolisches strukturelles System. Wie bei der Methode der Analogie in der Physik wurde durch die Repräsentationstheorie an Flexibilität gewonnen: Obwohl HELMHOLTZ selbst diesen Schritt noch nicht gegangen ist, stellte man später fest, dass es neben der extensiven Messung (bei der sich, wie oben, die physische Verknüpfung additiv verhält) auch noch andere fundamentale Arten der Messung gibt, die man für die Wissenschaften ausbeuten kann. Es besteht hier auch ein Zusammenhang mit der Entwicklung der Kognitionswissenschaft in unserer Zeit. Es verdichten sich dort immer mehr die Anzeichen, dass der entscheidende Schritt zur Mathematik der Aufbau der Arithmetik als potentiell unendliches symbolisches System war, in Analogie zum System der Sprache.⁷⁸

Literatur

- BIERHALTER, Günter: Zu Hermann von Helmholtzens mechanischer Grundlegung der Wärmelehre aus dem Jahre 1884. *Archive for History of Exact Sciences* 25, 71–84 (1981)
- BIERHALTER, Günter: Von Boltzmann bis J. J. Thomson: Die Versuche einer mechanischen Grundlage der Thermodynamik (1866 – 1890). *Archive for History of Exact Sciences* 44, 25–75 (1992)
- BOLTZMANN, Ludwig: Über die Methoden der theoretischen Physik (1892). In *Populäre Schriften*. S. 1–10. Leipzig 1905
- BOLTZMANN, Ludwig: Anmerkungen. In: MAXWELL, James Clerk: Ueber Faraday's Kraftlinien. Hrsg. von Ludwig BOLTZMANN. Leipzig 1895. (Ostwald's Klassiker der exakten Wissenschaften Nr. 69) S. 97–128. (= Übersetzung von MAXWELL 1855/56)
- DAVIE, George Elder: *The Democratic Intellect: Scotland and Her Universities in the Nineteenth Century*. Edinburgh 1961
- FOURIER, Jean-Baptiste Joseph: *Théorie analytique de la chaleur*. Paris 1822
- HAMILTON, William: *Lectures on Metaphysics and Logic*. 2 Vols. Vol. 1: *Metaphysics*. Boston 1859
- HARMAN, Peter M.: *Edinburgh philosophy and Cambridge physics: The natural philosophy of James Clerk Maxwell*. In: HARMAN, Peter M. (Ed.): *Wranglers and Physicists: Studies on Cambridge Physics in the Nineteenth Century*; pp. 202–224. Manchester 1985
- HARMAN, Peter M.: *The Natural Philosophy of James Clerk Maxwell*. Cambridge 1998
- HEIDELBERGER, Michael: *Die innere Seite der Natur. Gustav Theodor Fechners wissenschaftlich-philosophische Weltauffassung*. Frankfurt 1993 (Engl. Übers. Pittsburgh 2004)
- HEIDELBERGER, Michael: From Helmholtz's philosophy of science to Hertz's picture-theory. In: BAIRD, David, HUGHES, R. I. G., and NORDMANN, Alfred (Eds.): *Heinrich Hertz (1857–1894): Classical Physicist, Modern Philosopher*; pp. 9–24. Dordrecht 1998
- HEIDELBERGER, Michael: Wie kommt die Unendlichkeit in die Naturwissenschaft? Eine Antwort aus der Kognitionsforschung. In: BRACHTENDORF, Johannes, MÖLLENBECK, Thomas, NICKEL, Gregor, und SCHAEDE, Stephan (Hrsg.): *Unendlichkeit: Interdisziplinäre Perspektiven*. S. 183–196. Tübingen 2008
- HELMHOLTZ, Hermann VON: Ueber die Integrale der hydrodynamischen Gleichungen, welche den Wirbelbewegungen entsprechen. *Journal für die reine und angewandte Mathematik* 55, 25–55 (1858). Reprint in *Wissenschaftliche Abhandlungen (WA)*. Bd. 1, 101–134. Leipzig 1882 (in Englisch in: *Philosophical Magazine* 33, 485–312 [1867])
- HELMHOLTZ, Hermann VON: *Die neueren Fortschritte in der Theorie des Sehens* (1868). *Vorträge und Reden*. 5. Aufl. Bd. 1, S. 265–365. Braunschweig 1903

⁷⁸ Vgl. HEIDELBERGER 2008.

- HELMHOLTZ, Hermann VON: Ueber die Bewegungsgleichungen der Electricität für ruhende leitende Körper. *Journal für die reine und angewandte Mathematik* 72, 57–129 (1870). Zitiert nach: *Wissenschaftliche Abhandlungen*. Bd. 1, S. 545–628. Leipzig 1882
- HELMHOLTZ, Hermann VON: Ueber den Ursprung und die Bedeutung der geometrischen Axiome (1870). *Vorträge und Reden*. 5. Aufl. Bd. II, S. 1–31, 381–383. Braunschweig 1903
- HELMHOLTZ, Hermann VON: Die Thatsachen in der Wahrnehmung (1878). *Vorträge und Reden*. 5. Aufl. Bd. II, S. 213–247, 387–406. Braunschweig 1903
- HELMHOLTZ, Hermann VON: Principien der Statik monocyclischer Systeme. *Journal für die reine und angewandte Mathematik* 97, 111–140 (1884). Reprint in: *Wissenschaftliche Abhandlungen*. Bd. 3, S. 142–162, 179–202. Leipzig 1895
- HELMHOLTZ, Hermann VON: Sir William Thomson's "Mathematical and Physical Papers". *Nature* 32, Nr. 811, 25–28 (14. 5. 1885)
- HELMHOLTZ, Hermann VON: Zählen und Messen, erkenntnistheoretisch betrachtet. In: *Philosophische Aufsätze, Eduard Zeller zu seinem fünfzigjährigen Doctorjubiläum gewidmet*. S. 15–52. Leipzig 1887. (Reprint in: *Wissenschaftliche Abhandlungen*. Bd. 3, S. 356–391. Leipzig 1895)
- HELMHOLTZ, Hermann VON: Vorwort von H. v. Helmholtz. In: HERTZ, Heinrich: *Die Prinzipien der Mechanik in neuem Zusammenhange dargestellt*. S. vii–xxii. Leipzig 1894
- HELMHOLTZ, Hermann VON: *Handbuch der physiologischen Optik*. 2. Aufl. Hamburg 1896
- HENDRY, John: James Clerk Maxwell and the Theory of the Electromagnetic Field. Bristol, Boston 1986
- HERTZ, Heinrich: *Die Prinzipien der Mechanik in neuem Zusammenhange dargestellt*. Leipzig 1894
- HESSE, Mary B.: *Models and Analogies in Science*. Indiana 1966
- HESSE, Mary B.: *Models and Analogy in Science*. In: EDWARDS, Paul (Ed.): *Encyclopedia of Philosophy*. Vol. 5, pp. 354–359. New York 1967
- HØFFDING, Harald: *Moderne Filosofer*. Kopenhagen 1904 (deutsch: *Moderne Philosophen: Vorlesungen, gehalten an der Universität in Kopenhagen 1902*. Leipzig 1905)
- HÖLDER, Otto: Axiome der Quantität und die Lehre vom Mass. *Berichte über die Verhandlungen der Königlich Sächsischen Gesellschaft der Wissenschaften, mathematisch-physikalische Klasse* 53, 1–64 (1901)
- JUNGNICKEL, Christa, and McCORMMACH, Russell: Intellectual Mastery of Nature: Theoretical Physics from Ohm to Einstein. Vol. 2: *The Now Mighty Theoretical Physics 1870–1925*. Chicago 1990
- KARGON, Robert: Model and Analogy in Victorian Science: Maxwell's critique of the french physicists. *Journal of the History of Ideas* 30, 423–436 (1969)
- KLEIN, Martin J.: Mechanical explanation of the end of the 19th century. *Centaurus* 17/1, 58–82 (1973)
- KNUDSEN, Ole: Mathematical and physical reality in William Thomson's electromagnetic theory. In: HARMAN, Peter M. (Ed.): *Wranglers and Physicists: Studies on Cambridge Physics in the Nineteenth Century*; pp. 149–179. Manchester 1985
- KRAGH, Helge: The vortex atom: A victorian theory of everything. *Centaurus* 44, 32–114 (2002)
- KRANTZ, David, LUCE, R. Duncan, SUPPES, Patrick, and TVERSKY, Amos: *Foundations of Measurement*. Vol. 1: *Additive and Polynomial*. New York 1971
- KRIES, Johannes VON: Über die Messung intensiver Grössen und über das sogenannte psychophysische Gesetz. *Vierteljahrsschrift für wissenschaftliche Philosophie* 6, 252–294 (1882)
- LANGE, Friedrich Albert: *Geschichte des Materialismus und Kritik seiner Bedeutung in der Gegenwart*. 2. Buch: *Geschichte des Materialismus seit Kant*. 2. Aufl. Iserlohn 1875. (Reprint Frankfurt 1974)
- LARMOR, Joseph: *Origins of Clerk Maxwell's Electric Ideas, as Described in Familiar Letters to William Thomson*. Cambridge 1937
- LOCKE, John: *An Essay Concerning Human Understanding*. London 1690
- LÜTZEN, Jesper: *Denouncing Forces, Geometrizing Mechanics: Hertz's Principles of Mechanics*. Kopenhagen 1995
- MACH, Ernst: *Die Prinzipien der Wärmelehre, historisch-kritisch erläutert*. Leipzig: 1896
- MACLAURIN, Colin: *A Treatise of Fluxions*. 2 Vols. Edinburgh 1742 (2nd ed. London 1801)
- MAXWELL, James Clerk: Abstract of Paper 'On Faraday's Lines of Force' (Dec. 1855). *The Scientific Letters and Papers of James Clerk Maxwell*. Vol. 1: 1846–1862; pp. 353–366. Cambridge 1990
- MAXWELL, James Clerk: On Faraday's lines of force. *Transactions of the Cambridge Philosophical Society* 10/1, 27–83 (1855/56). Reprint in: NIVEN, William Davidson (Ed.): *The Scientific Papers of James Clerk Maxwell*. Vol. 1, pp. 155–229. Cambridge 1890
- MAXWELL, James Clerk: Essay for the Apostles on 'Analogies in Nature' (Feb. 1856). *The Scientific Letters and Papers of James Clerk Maxwell*. Vol. 1: 1846–1862; pp. 376–383. Cambridge 1990
- MAXWELL, James Clerk: Illustrations of the dynamical theory of gases. *Philosophical Magazine* 19, 19–32 (1860); 20, 21–37 (1860). Reprint in: NIVEN, William Davidson (Ed.): *The Scientific Papers of James Clerk Maxwell*. Vol. 1, pp. 377–409. Cambridge 1890

- MAXWELL, James Clerk: On physical lines of force. *The Philosophical Magazine* 21/4, 161–175 (1861); 23, 12–24, 85–95 (1862). Reprint in: NIVEN, William Davidson (Ed.): *The Scientific Papers of James Clerk Maxwell*. Vol. 1, pp. 451–513. Cambridge 1890
- MAXWELL, James Clerk: A dynamical theory of the electromagnetic field. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London* 155, 459–512 (1865)
- MAXWELL, James Clerk: Address to the Mathematical and Physical Section of the British Association (Liverpool, Sept. 15, 1870). Report of the Meetings of the British Association (Notices and Abstracts) 40, 1–9 (1871). Reprint in: NIVEN, W. D. (Ed.): *The Scientific Papers of James Clerk Maxwell*. Vol. 1, pp. 215–229. Cambridge 1890
- MAXWELL, James Clerk: [Review of] Reprint of Papers on Electrostatics and Magnetism. By Sir W. Thomson. *Nature* 7, 218–221 (1873). Reprint in NIVEN, William Davidson (Ed.): *The Scientific Papers of James Clerk Maxwell*. Vol. 1, pp. 301–307. Cambridge 1890
- NERSISSIAN, Nancy: Maxwell and the method of physical analogy: Model-based reasoning, generic abstraction and conceptual change. In: MALAMENT, David B. (Ed.): *Reading Natural Philosophy. Essays in the History and Philosophy of Science and Mathematics*; pp. 129–166. Chicago 2002
- NIVEN, W. D. (Ed.): *The Scientific Papers of James Clerk Maxwell*. Vol. 1. Cambridge 1890
- OHM, Georg Simon: *Die galvanische Kette, mathematisch bearbeitet*. Berlin 1827 (engl. Übers. 1841)
- OLSON, Richard: *Scottish Philosophy and British Physics, 1750–1880: A Study in the Foundations of the Victorian Scientific Style*. Princeton 1975
- SCHIEHMANN, Gregor: *Wahrheitsgewißheitsverlust: Hermann von Helmholtz' Mechanismus im Anbruch der Moderne*. Darmstadt 1997
- SCOTT, Dana, and SUPPES, Patrick: Foundational aspects of theories of measurement. *The Journal of Symbolic Logic* 23, 113–128 (1958)
- SIEGEL, Daniel M.: Mechanical image and reality in Maxwell's electromagnetic theory. In: HARMAN, Peter M. (Ed.): *Wranglers and Physicists: Studies on Cambridge Physics in the Nineteenth Century*; pp. 180–201. Manchester 1985
- SIEGEL, Daniel M.: *Innovation in Maxwell's Electromagnetic Theory: Molecular Vortices, Displacement Current, and Light*. Cambridge 1991
- STEIN, Howard: Yes, but... Some skeptical remarks on realism and antirealism. *Dialectica* 43, 47–65 (1989)
- STEVENS, Stanley S.: On the theory of scales of measurement. *Science* 103, 677–680 (1946)
- SUPPES, Patrick, and ZINNES, Joseph L.: *Basic Measurement Theory*. Stanford 1962
- THOMSON, William: On the uniform motion of heat and its connexion with the mathematical theory of heat. *Cambridge Mathematical Journal* 3, 71–84 (1842). Reprint in: *Philosophical Magazine* 7, 502–515 (1854) and in: *Reprint of Papers on Electrostatics and Magnetism*; pp. 1–14. London 1872
- THOMSON, William: On a mechanical representation of electric, magnetic, and galvanic forces. *Cambridge and Dublin Mathematical Journal* 2 (1847). Reprint in: *Mathematical and Physical Papers Vol. 1*, 76–80
- THOMSON, William: On vortex atoms. *Proceedings of the Royal Society of Edinburgh* 6, 94–105 (1867) und *The Philosophical Magazine* 34, 17–24 (1867). Reprint in: *Mathematical and Physical Papers Vol. 6*, 1–12. Cambridge 1910
- TURNER, Joseph: Maxwell on the method of physical analogy. *British Journal for the Philosophy of Science* 6, 226–238 (1955)
- TURNER, Joseph: Maxwell on the logic of dynamical explanation. *Philosophy of Science* 23, 36–47 (1956)
- WHEWELL, William: *The Philosophy of the Inductive Sciences*. 2nd ed. London 1847 (2 Bde.) Reprint London 1967. (1st ed. 1840)

Prof. Dr. Michael HEIDELBERGER
 Philosophisches Seminar
 Universität Tübingen
 Bursagasse 1
 72070 Tübingen
 Bundesrepublik Deutschland
 Tel.: +49 7071 2978303
 Fax: +49 7071 295295
 E-Mail: michael.heidelberger@uni-tuebingen.de

Festakt zur Ernennung der Deutschen Akademie der Naturforscher Leopoldina zur Nationalen Akademie der Wissenschaften

Ceremony to Mark the Nomination of the German Academy of Sciences Leopoldina to the National Academy of Sciences

Nova Acta Leopoldina N. F., Bd. 98, Nr. 362

Herausgegeben vom Präsidium der Deutschen Akademie der Naturforscher Leopoldina
(2009, 76 Seiten, 50 Abbildungen, 21,95 Euro, ISBN: 978-3-8047-2551-5)

Die Deutsche Akademie der Naturforscher Leopoldina wurde am 14. Juli 2008 im Rahmen eines Festaktes in Halle zur Nationalen Akademie der Wissenschaften ernannt. Damit erhielt Deutschland – wie andere europäische Länder oder die USA – eine Institution, die Politik und Gesellschaft wissenschaftsbasiert berät und die deutsche Wissenschaft in internationalen Gremien repräsentiert. Der Band dokumentiert den Festakt mit der Übergabe der Ernennungsurkunde durch die Vorsitzende der Gemeinsamen Wissenschaftskonferenz und Bundesministerin für Bildung und Forschung Annette SCHAVAN. Er enthält die Reden von Bundespräsident Horst KÖHLER, Sachsens-Anhalts Ministerpräsident Wolfgang BÖHMER und Leopoldina-Präsident Volker TER MEULEN sowie den Festvortrag „Rolle und Verantwortung nationaler Akademien der Wissenschaften“ von Jules A. HOFFMANN, Präsident der *Académie des sciences*, Paris. Der Aufbau einer Nationalen Akademie ist ein richtungsweisender Schritt für die deutsche Forschungslandschaft, da für den kontinuierlichen Dialog von Wissenschaft und Politik eine solche Einrichtung erforderlich wurde. Der Publikation ist eine DVD mit dem Mitschnitt der Festveranstaltung beigelegt.

Die psychophysiologische Fundierung des Analogiebegriffs bei Ernst Mach

Hayo SIEMSEN, Wilhelmshaven¹

Mit 3 Abbildungen

Zusammenfassung

In seiner Erkenntnistheorie fordert Ernst MACH (1838–1916), dass Begriffe mit möglichst allen bekannten empirischen Tatsachen konsistent sein sollen. Die Gedanken werden an die Tatsachen und untereinander angepasst. Die Tatsachen haben jedoch längerfristig den Vorrang. Sonst besteht für MACH die Gefahr, dass Begriffe keiner empirischen Kontrolle unterliegen und somit beliebig werden, d. h. im Machschen Sinne ‚metaphysisch‘. Konsequenterweise leitet MACH seinen Analogiebegriff aus DARWINS Evolutionstheorie ab, also aus den biologischen, psychophysiologischen und kulturellen Grundlagen unseres menschlichen Denkens. Tatsachen z. B. aus Biologie, Psychologie oder Anthropologie bilden die Grundlagen für einen monistischen Analogiebegriff. MACHS Überlegungen haben dabei nicht nur für wissenschaftliche Forschung, sondern auch für die wissenschaftliche Bildung von Heranwachsenden eine erhebliche Bedeutung.

Abstract

Ernst MACH's (1838–1916) epistemology demands that concepts be consistent with every possible known empirical fact. Ideas are brought into conformity with one another as well as with facts. In the long run, however, facts take precedence. Otherwise, MACH perceived the danger that concepts would not be subjected to any kind of empirical controls and would thus become arbitrary, i.e., ‚metaphysical‘ in the Machian sense. MACH consistently deduced his concept of analogy from DARWIN's theory of evolution, hence from the biological, psychophysiological and cultural foundations of our human thought. Facts from biology, psychology or anthropology, for example, form the bases of a monistic concept of ‚analogy‘. MACH's considerations had substantial impact not only on scientific research but also on the training of aspiring scientists.

1. Einleitung

Ein grundsätzliches Problem bei der Rezeption von MACH ist seine epistemologische Sichtweise, die der üblichen Sicht und damit oft unserer davon geprägten Intuition widerspricht. Daher werde ich in diesem Artikel zunächst einen Überblick über den gedanklichen Ursprung von MACHS Fragestellung geben. Die Entwicklung von MACHS Fragestellung zu seiner späteren Sichtweise wird über den Bezug zu den Ideen anderer Wissenschaftler, die ähnliche

¹ SIEMSEN, Dr. Dipl.-Kfm. Hayo (hayo.siemsen@gmail.com) ist Mitglied des Ernst Mach Instituts für Erkenntnistheorie und des Instituts für Nachrichten- und Kommunikationstechnik (INK) an der Hochschule Emden/Leer. Er arbeitet zurzeit an seiner Habilitation über die wissenschaftspsychologischen Hintergründe der ideengeschichtlichen Einflüsse Ernst MACHS in Zusammenarbeit mit dem Institut Wiener Kreis.

Gedanken vollzogen haben, exemplarisch dargestellt. Im nächsten Schritt werde ich die Auswirkungen der Machschen Sichtweise anhand eines historischen Beispiels aus der Philosophie der Mathematik untersuchen: MACHS Kritik am Logizismus bzw. an dem Versuch einer rein logischen Fundierung der Mathematik. Anhand dieser Kritik wird – wie ich hoffe – der Unterschied zwischen einem *logisch* hergeleiteten Analogiebegriff und MACHS *psychophysiologischer* Herleitung deutlich. Auf Basis dieser Kritik schließe ich dann die eigentliche psychophysiologische Herleitung des Analogiebegriffs bei MACH an. Dafür gebe ich fünf Beispiele:

- (1.) die experimentalpsychologische Fundierung des Begriffs der Denkökonomie auf Basis der Informationstheorie,
- (2.) die Begriffs- und Ideengeschichte des Naturgesetzes und des Wahrheitsbegriffs als zentrale Begriffe der Physik und der Mathematik,
- (3.) die Auswirkungen von MACHS Sichtweise auf das bereits bei HENTSCHEL (in diesem Band) erläuterte Beispiel der Bohrschen Planetenalogie zur Entwicklung des Atommodells,
- (4.) der Einsatz der Analogie von MACH als Forschungsmethode anhand des Beispiels der Entwicklung der physikalischen und geometrischen Räume (RIEMANN) auf Basis psychophysiologischer Räume und
- (5.) MACHS genetische Herleitung des Zahlbegriffs. Die Beispiele sollen von unterschiedlichen Perspektiven aus den Sinn von MACHS Überlegungen – trotz ihres eher nicht intuitiven Charakters – verdeutlichen.

1.1 Machs Ausgangsfragestellung

1859 lieferte DARWIN ein theoretisches Modell einer einheitlichen und konsistenten Erklärung² für eine ganze Reihe von in den damaligen Theorien anomalen Phänomenen, welche Geologen (wie z. B. LYELL) und Biologen beschrieben hatten, bzw. DARWIN auf seinen Reisen selbst beobachtet hatte. DARWIN bezog sogar die Erfahrungen von Nutztierzüchtern als eine Art intuitive „Experimentatoren“ mit in seine Theorie ein, wobei er eine Analogie zwischen Artenveränderung durch künstliche Züchtung und solcher durch natürliche Auslese sah.³

Hat die Theorie von DARWIN Auswirkungen auf den Analogiebegriff? Nach MACHS Interpretation hat DARWINS Theorie Auswirkungen auf unser gesamtes menschliches Denken, einschließlich des wissenschaftlichen. Unsere Begriffe sind geprägt von einer Begriffsgenese. Begriffe lassen sich nicht grundsätzlich von ihrer (mythisch-historischen) Genese abstrahie-

2 Erklärung ist hier im Sinne MACHS zu verstehen, d. h. als das Verständlichmachen von Urteilen durch das Einfachere, Geläufigere.

3 Für DARWIN ist diese Beleuchtung der Unterschiede und Ähnlichkeiten durch diese Analogie zentral. In der deutschen Übersetzung (DARWIN 1859, 1989) ist der Begriff „Zuchtwahl“ sogar noch eindeutiger als das englische *selection*. In seiner Einführung geht DARWIN der Historie dieser Analogie nach (z. B. die Beobachtung von verwilderten Haustieren). Diese Beobachtungen widerlegen die These der Konstanz der Arten und werfen gleichzeitig die Frage nach dem „Mikromanagement“ in der Natur auf. Der Aufbau der „Entstehung der Arten“ lässt bereits im ersten Satz (DARWIN 1859, S. 31) keinen Zweifel an der Zentralität des Arguments: „Wenn wir die Individuen einer Varietät oder Untervarietät unserer alten Kulturpflanzen und Haustiere vergleichen, so fällt vor allem eines auf: dass sie gewöhnlich mehr voneinander abweichen als die einer Art oder Varietät im Naturzustand.“

ren. Bis zu diesem Punkt befindet sich MACH im Einklang mit vielen späteren Wissenschaftlern aus anderen Disziplinen.

1.2 Der Zeitbegriff in der Genese

MACHS Genesebegriff ist sehr allgemeingültig. Diese Allgemeingültigkeit erlangt MACH durch ein empirisch schärferes Verständnis der Zeitdimension des Genesebegriffs. Diese Begriffsveränderung soll im Folgenden jedoch nicht bei MACH;⁴ sondern beispielhaft anhand der wissenschaftsphilosophischen Beobachtungen späterer Wissenschaftler aus verschiedenen Disziplinen nachvollzogen werden. Deren Ähnlichkeiten und Unterschiede in der Interpretation des Zeitbegriffs der Genese lässt die Besonderheit von MACHS Sichtweise erkennen. Zudem zeigt sich in diesem Zusammenhang die breite Anwendbarkeit von MACHS Genesebegriff.

Grundsätzlich unterschiedliche Interpretationen entstehen zwischen den Sichtweisen von einigen Neokantianern (CASSIRER), Historikern (KOSELLECK), Soziologen (ZILSEL) oder Religionswissenschaftlern (ELIADE), erst bei der Frage, wie und woraus der Geneseprozess sich konstituiert, insbesondere bezüglich des darin enthaltenen Zeitbegriffs. Während CASSIRER nur eine kulturelle (mythische) Genese berücksichtigt,⁵ unterscheidet ELIADE schon eine mythische, eine heroische und eine historische Zeit (Genese)⁶.

KOSELLECK sieht verschiedene Zeitschichten als Basis jeder historischen Interpretation. Er bezieht zusätzlich den Beobachter (als Historiker) in die Beobachtung (d. h. Geschichtsschreibung) mit ein. Als Historiker kann man somit der Subjektivität nie entraten, „da ‚die Geschichte‘ den Historiker und die Historie dauernd überholt“.⁷ Die Historische Anthropologie versucht, metahistorische Kategorien zu finden, um die eigene zeitliche Abhängigkeit zumindest zu reduzieren. Jedoch „alle metahistorischen Kategorien schlagen im Zuge der Forschung um in historische Aussagen“.⁸ Die historische Forschungspraxis kommt nicht ohne Erkenntnistheorie aus.

„[In der Begriffsgeschichte] geht es darum, die zeitlichen Spezifika für unsere politischen und sozialen Begriffe theoretisch so vorzuformulieren, dass sich der Quellenbefund [nach diesem Kriterium] ordnen lässt. Nur so können wir aus einer philologischen Registratur zu einer Begriffsgeschichte vorstoßen.“⁹

Die eigenen mentalen Modelle bestimmen also unsere Begriffsstruktur, welche durch Beobachtung verändert wird. Diese Veränderung ihrerseits führt wiederum zur Anpassung¹⁰ der mentalen Modelle.

4 Da sich diese Begriffsveränderung bei MACH sehr früh vollzogen haben muss, fehlen hierfür die genetischen Details.

5 CASSIRER zitiert USENERS anthropologisch begründete „neue Frage für die Philosophie“ (CASSIRER 1923, 1953, S. 16): „Unsere Epistemologie wird keine echte Fundierung haben, bis Philologie und Mythologie die Prozesse der unwillkürlichen und unbewussten Begriffsbildung offenbart haben.“

6 „[...] wir erleben sogar den Konflikt der beiden Konzeptionen: der archaischen Konzeption, die wir archetypal und antihistorisch nennen könnten, und der modernen, nachhegelianischen, die sich historisch will.“ (ELIADE 1949, 1966, S. 114). ELIADE verwendet den Begriff „archetypal“ explizit als mythisches Paradigma und nicht im unterbewussten Sinne von JUNG.

7 KOSELLECK 2003, S. 300.

8 KOSELLECK 2003, S. 301.

9 KOSELLECK 2003, S. 302.

10 Anpassungen können sowohl in Verstärkung als auch Veränderung bestehen.

ZILSEL schließlich¹¹ sieht keinen prinzipiellen, nur einen graduellen Unterschied zwischen verschiedenen Formen des Geneseprozesses (im Sinne eines Metageneseprozesses): „Der Bereich der Geschichte umfasst die menschlichen Ereignisse und deren Ursachen, die eine Stufe langsamer sind als die Reaktionen der Individuen und eine Stufe schneller als die biologische Evolution.“¹²

1.3 Machs Genesebegriff

Für MACH konstituieren verschiedene Formen des Geneseprozesses einen Gesamtprozess, wobei wir niemals wissen, ob wir alle Teile des Prozesses kennen, bzw. inwieweit wir seine Teile begrifflich gefasst haben.¹³ Alle Teile des Prozesses beeinflussen sich kontinuierlich gegenseitig. Eine gegenseitige Abgrenzung ist also immer reduktionistisch und somit dem Problem unterworfen, dass bei dieser Abgrenzung bereits von etwas Wesentlichem abstrahiert worden sein könnte (wenn OCCAMS Rasiermesser an einer Stelle zuviel weggeschnitten hat). Schon zu dem Moment, wenn wir uns unserer Selbst bewusst werden, sind wir von dieser Genese sehr stark beeinflusst worden. Jedes *a priori* baut bei MACH also auf einem Geneseprozess auf, bei dem ein Großteil unbewusst, aber nicht unerforschbar ist. Im Gegenteil, die Erforschung dieses Geneseprozesses führt uns zu den Inkonsistenzen und Willkürlichkeiten unseres Denkens, z. B. in unseren Begriffen.

In diesem empirischen Anpassungsprozess verändern sich die Begriffe, auch zentrale und grundlegende Begriffe. Begriffe verhalten sich dann wie Polyseme, d. h., dasselbe Wort bezeichnet unterschiedlich begründete Gedankenelemente.

Was sind die Tatsachen, an die MACH die Anpassung der Gedanken fordert? Tatsachen sind zwar zunächst „gegeben“, können und sollten aber einer Untersuchung auf ihre Genese hin, z. B. bezüglich der Begriffsbildung, unterzogen werden.¹⁴ Sie sind nach MACH keine logischen Aussagen, sondern bereits Interpretationen auf empirischer Basis, deren anteiligen empirischen Gehalt wir nicht als Wahrheit, sondern nur heuristisch, bzw. statistisch (im Sinne von PEARSON 1911) begründen können. Der Rest ist Konvention (im Sinne von POINCARÉ).

Das Bewusstsein nimmt hierbei introspektiv nur das „innere“ Ende einer Relation wahr, die im „physikalisch-realen“ ihr „äußeres“ Ende hat. Wir wissen also nur sicher, dass es eine solche Relation gibt, jedoch weder, was das (von uns begrifflich momentan so genannte) „Psychologisch-Bewusste“, noch was das sogenannte „Physikalisch-Reale“ ist. Wie die Relation beschaffen ist, und inwiefern die physiopsychologischen Anteile der Relation den physikalischen Anteil verändern, können wir nur näherungsweise durch Untersuchung der Relation von verschiedenen Perspektiven aus (Psychologie, Physiologie, Physik, Anthropologie

11 Die hier implizierte Reihenfolge ist zwar eine gedanklich-genetische, aber keine zeitliche, da es sich um Ideen aus verschiedenen Fachgebieten handelt. Zudem wurde ZILSEL durch den Zweiten Weltkrieg und seinen frühen Tod leider wenig rezipiert (siehe auch COHEN 1968 oder STADLER 1997). KOSELLECK (2003, S. 298 und 300) sucht gezielt nach einer solchen Synthese zwischen der Geschichtswissenschaft und z. B. ethnologischen oder psychosozialologischen Ansätzen.

12 ZILSEL 1940, 1976, S. 214.

13 Für MACH sind Begriffe ökonomische Zusammenfassungen von Tatsachen (siehe Notizbuch MACHS von 1910, abgedruckt in BLACKMORE und HENTSCHEL 1985, S. 175). Diese Zusammenfassungen sind psychophysiologisch, d. h. als wichtig empfundene Aspekte und Relationen werden hervorgehoben, andere vernachlässigt. BRUNSWIK (1955) nennt diese zusammenfassende Abbildung wegen ihrer unbewussten Aspekte „ratiomorph“. Begriffe sind also nur scheinbar bewusst und rational (vgl. dazu auch die Untersuchungen z. B. von FRITH 2005).

14 Siehe auch MACH 1892.

etc.) erfahren. Aufgrund der empirischen Resultate seiner physikalischen, physiologischen und psychologischen Forschungen besteht für MACH kein epistemologisch bzw. begrifflich sauberer Schnitt, um den physikalischen vom physiologischen oder psychologischen Teil der Relation grundsätzlich zu trennen. Alle psychophysischen Phänomene haben immer einen physischen, einen physiologischen und einen psychologischen Anteil. Eine Reduktion auf nur einen Anteil abstrahiert immer von etwas Wesentlichem und führt deshalb langfristig zu genau den epistemischen Inkonsistenzen und sinnlosen Fragen, mit denen sich Physik, Physiologie und Psychologie seitdem herumschlagen.¹⁵ MACH sieht also den einzig epistemologisch konsistenten und begrifflich scharfen Weg darin, die Relationen als epistemische Basis im Ganzen zu belassen (von ihm „sinnliche Elemente“ genannt¹⁶) und alle anderen Begriffe zu dieser Basis konsistent zu machen.

2. Machs Kritik an der logizistischen Begründung der Mathematik

Der epistemologischen Sicht von MACH folgend, verändern sich viele Begriffe gleichzeitig, wenn sich das Weltbild (im Sinne von Meta- bzw. Fundamentalbegriffen) verändert. Sogar in der Mathematik verändern sich Begriffe, je nachdem, ob man intuitionistisch oder formalistisch denkt. Der Wahrheitsbegriff ist nicht derselbe, je nachdem, ob man „das dritte“ zwischen „wahr“ und „falsch“ ausschließt oder nicht. Auch die „Parallelen“ im Lobachevskyschen, bzw. Riemannschen Raum sind begrifflich nicht dieselben „Parallelen“ wie im Euklidischen Raum.¹⁷ MACHS Analogiebegriff entspricht damit nicht dem in der Philosophie gängigen Begriff. Er ist primär psychophysiologisch statt logisch begründet.

Im Prinzip sind beide dieser Denkweisen bzw. Philosophien der Mathematik bereits bei GAUSS angelegt. GAUSS schrieb in einem Brief an BESSEL: „Wir müssen in Demut zugeben, dass, wenn die Zahl bloß unseres Geistes Produkt ist, der Raum auch außer unserem Geist eine Realität hat, der wir a priori ihre Gesetze nicht vollständig vorschreiben können.“¹⁸ Aus-

15 Was MACH genau zu dieser Perspektivänderung geführt hat, beschreibt er in einer Diskussion mit Paul CARUS im *Monisten* (MACH 1892). Ähnliche Argumentationen finden sich auch in MACHS Antwort an PLANCKS Physikalismus (siehe MACH 1910, 1919, PLANCK 1908 und 1910) und an STUMPFs physikalischen Psychologismus (MACH 1923, Vorlesung Nr. 31). Laut PLANCKS eigener späterer Analyse (1932) gründet sich der von ihm propagierte Physikalismus nach der Ablösung der Newtonschen Mechanik durch das statistische Weltbild der Quantenmechanik nur noch auf die Konstanten (z. B. PLANCKS Quantum). Aus Sicht der heutigen Physik gibt es jedoch keine empirischen Grundlagen, anzunehmen, dass die Konstanten sich nicht im Laufe der Evolution des Universums verändert haben könnten, bzw. sich verändern, außer dass, wenn sie sich verändern, dies unterhalb unserer aktuellen Messgenauigkeitsgrenze liegt. Die Annahme von Konstanten als absolut invariant ist also metaphysisch und anthropomorph. Hier zeigt sich beispielhaft der psychologische Anteil der sinnlichen Elemente auch in Grundannahmen der Physik (siehe dazu auch WILCZEK 2004). Daher war MACH im Aufbau seines Weltbildes (zumindest aus Sicht mancher experimenteller Psychologen wie Alfred BINET 1907) so vorsichtig. Metaphysik und Anthropomorphismen lassen sich nie gänzlich vermeiden, nur reduzieren. Der erste Schritt dazu ist, ihre Existenz anzunehmen, damit man sie suchen kann, anstatt sich – in welcher Epistemologie auch immer – a priori ein Denkverbot zu erteilen. Oder um es mit FREGE (1884) auszudrücken: „So fehlt denn vielfach jene erste Vorbedingung des Lernens: das Wissen des Nichtwissens.“ Siehe dazu auch SIEMSEN 2009, 2010b.

16 Elemente sind bei MACH als Gestalten rekursiv definiert. Die unterste Gestaltebene bilden die Elemente in ihrer reduzierbarsten Form (nach aktuellem Forschungsstand). Diese temporär definierte Basis ist somit nur eine von mehreren möglichen Ausgangsebenen, die jedoch untereinander konsistent gemacht werden sollten.

17 MACH 1905, S. 415.

18 Zitiert nach MACH 1905, S. 391. MACH widerspricht GAUSS in der Frage der Zahl. DEDEKIND übernimmt diese Art von epistemologischem Dualismus von GAUSS zwischen „geistiger“ Zahl und empirischem Raum. Für MACH

gehend von dieser ambivalenten Sichtweise von GAUSS haben sich bei seinen Schülern zwei Denkschulen entwickelt: KRONECKER und die Intuitionisten (POINCARÉ, BROUWER, WEYL, GONSETH), bzw. die Logiker DEDEKIND, FREGE, PEANO, WITTGENSTEIN etc.

Die epistemologische Begründung der Begriffe betrifft für MACH vor allem die intuitive und damit unbewusste Ebene. Diese Ebene ist also nicht der bewussten Introspektion der Mathematiker zugänglich.¹⁹ Sie erfordert stattdessen Forschung bezüglich ihrer Genese, z. B. in der Kinderpsychologie oder der Anthropologie. Die empirische Problematik der Bewusstseinsebene ist in der Psychologie erst ab ca. 1904 erkannt worden,²⁰ und die systematische Erforschung des Unbewussten als Phänomen hat erst ab etwa 1910²¹ begonnen.²²

Psychologisch gesehen handelt es sich beim introspektiven „Ausgehen vom bewussten Selbst als epistemische Basis“ implizit um den Versuch der Zurückführung des Unbewussten auf das Bewusste. Dies führt leicht zur Verwechslung von Funktion und Inhalt,²³ bzw. eines Teils der Innenwelt, die durch den ständigen Versuch der Objektivierung zur scheinbaren Außenwelt wird. Richard AVENARIUS (1891) nennt dies das Problem der Introjektion. Zu dem Zeitpunkt, an dem wir uns unserer Selbst bewusst werden, ist die „Außenwelt“ als Teil unseres „Weltbegriffs“ schon intuitiv erlernt, und wir nehmen ihn daher als „natürlich“ gegeben an. Trotzdem bleibt die Außenwelt als Wahrnehmung Teil unserer Innenwelt. Die Trennung in Innen- und Außenwelt (und damit von Objekt und Subjekt) ist also eine intuitive Abstraktion. Die Einteilung der Wahrnehmung in Innen- und Außenwelt ist eine Vorform der Entwicklung des Bewusstseins. Bei Säuglingen ist diese Unterscheidung noch nicht gegeben. Das Selbst ist nicht von Geburt an gegeben, es entsteht etwa im Alter von 2 – 3 Jahren. Das Fremdpsychische wird also – entgegen der introspektiven Intuition – erfahren, bevor das Eigenpsychische erfahren wird (z. B. Gesichtserkennung, „Wahrnehmung“ fremder Gefühle).²⁴ Auch die grundsätzliche Unterscheidung zwischen Animiertem und Nichtanimiertem (Personen und Objekte) findet vor der Bildung des Begriffs des „Selbst“ statt (im Alter von ca. 3 Wochen).²⁵ KANTS Ausgangspunkt zäumt also – genetisch gesehen – das Pferd von hinten auf (was KANT jedoch empirisch noch nicht wissen konnte).

Das in Gedanken offenbar und unmittelbar Einleuchtende (von DEDEKIND „Grundelement“, von FREGE „Urintuition“ genannt) ist somit selbst Veränderungen unterworfen. Damit ist jedoch die Annahme, dass das unmittelbar Einleuchtende *a priori* für alle Menschen

sind Raum und Zahl empirische Gegebenheiten. Die genetische Herleitung der Zahl bei MACH selber findet sich im Beispiel unter 4.4. und 4.5 am Ende des vorliegenden Artikels.

19 Auch wenn z. B. POINCARÉ (1908) und BETH (BETH und PIAGET 1966, S. 88) den der Introspektion zugänglichen Anteil solcher Phänomene für Mathematiker beschrieben haben. MACH ist sich dieser Problematik durchaus bewusst (MACH 1905, S. 381), wenn er über die physiologischen und metrischen Erfahrungen schreibt, welche die Grundbegriffe der Geometrie bilden: „Diese Erfahrungen verschiedener Ordnung sind meist so innig verschmolzen, dass sie sich nur bei sorgfältiger Analyse trennen. Daher rühren auch die weit auseinandergehenden Ansichten über Geometrie. Bald wird dieselbe auf die bloße Anschauung, bald auf die physische Erfahrung zurückgeführt, je nachdem das eine Moment überschätzt wird oder unbeachtet bleibt. [...] Beide Momente [...] sind auch in der heutigen Geometrie [begrifflich] noch wirksam.“

20 Siehe JAMES 1904.

21 Siehe MÜNSTERBERG et al. 1910; Vorläufer dazu sind FREUD und CHARCOT.

22 Als besonders problematisch erweist sich hier die Trennung zwischen den empirischen und mystischen Anteilen der historisch gewachsenen Begriffe und den daraus gebildeten mentalen Modellen und Theorien (siehe Abschnitt 4.2.). Dies wirkt sich bis heute z. B. in den Kontroversen über FREUDS und JUNGS Theorien aus.

23 Siehe dazu auch MCDERMOTT in JAMES 1977, S. 200, Fußnote 62.

24 Siehe KAILA 1930 und CARTER 2002.

25 Siehe BRANSFORD et al. 1999.

gegeben ist, nicht gültig, zumindest nicht in der besagten anthropomorphen Form. Auch der empirische Sinn der Zahlen, z. B. der „1“ oder „0“, verändert sich.

WERTHEIMER hat in zwei Gründungsartikeln der Gestaltpsychologie²⁶ dargestellt, dass in anthropologischen Untersuchungen viele archaische Kulturen bezüglich der Arithmetik andere, in sich durchaus konsistente Systeme verwenden. So bilden ein Mensch und ein Pferd einen Reiter. Wenn man einen Speer zerbricht, hat man zwei Stöcke (also nutzentechnisch gesehen „nichts“). Wenn man Stöcke für das Dach eines Hauses sammelt, werden diese nur als Ganzes, bzw. als Prozentsatz der insgesamt benötigten Menge, und nicht einzeln wahrgenommen. Insofern spiegeln sich die von BERNAYS (1954) und seinem Schüler WITTENBERG (1957)²⁷ benannten Widersprüche und Inkonsistenzen auch zwischen verschiedenen mathematischen Systemen wieder.

Der Raum ist als Basis der Messung nicht wegzudenken: Nach HERODOT²⁸ hat XERXES sein Heer gezählt, indem er 10000 Mann dicht gedrängt aufstellte und den von diesen eingenommenen Platz umzäunt hat. Jede folgende Abteilung des Heeres, welche nachher in die Umzäunung hineingetrieben den Platz ausfüllte, galt wieder als 10000. So erklärt sich dann historisch FREGES postulierte „Unanschaulichkeit einer Zahl wie 10000“ nach MACH als räumliche Anschauung. Der geometrische Begriff der Fläche entwickelt sich aus dem Begriff des Körpers, abstrahiert von dessen Höhe. Die Vorstellung eines Dinges (bzw. Objektes) entwickelt sich genetisch als gedanklich abstrahierte Analogie zu einer Vorstellung eines Körpers, der von unserem eigenen Körper (Bezugspunkt der Wahrnehmung, von MACH auch „die Grenze U“ genannt) verschieden ist. In fast allen philosophisch inspirierten Beschreibungen von Objekten wird daher zunächst ein materielles Objekt gewählt (ein fester Körper). Dieses Objekt wird dann zudem nur äußerlich beschrieben, also im Aussehen seiner Oberfläche. Die (z. B. von FREGE) angenommene Farbe²⁹ eines Objektes ist physikalisch betrachtet eigentlich nur die Reflektionseigenschaft des Lichts auf seiner Oberfläche. In der Physik sagt diese Eigenschaft über den Körper selber so gut wie nichts aus, eignet sich also nicht zu seiner Beschreibung, erst recht nicht zu einer auf der quantenphysikalischen Ebene. Der Satz „der Schnee ist weiß“³⁰ ist daher – physikalisch gesehen – sinnlos.³¹ Nach MACH sind scheinbar immaterielle Objekte dann im Prinzip nur materielle Objekte, deren materielle Eigenschaften nicht mehr bewusst betrachtet werden. Trotzdem sind diese Eigenschaften psychisch noch vorhanden und bestimmen weiterhin den intuitiven Teil der Gedanken.³²

26 WERTHEIMER 1912, siehe auch ASH 1995.

27 Siehe dazu insbesondere die Dissertation von WITTENBERG *Vom Denken in Begriffen* (1957). Die Dissertation wurde geschrieben bei BERNAYS und GONSETH, siehe SIEMSEN 2008.

28 Das Beispiel findet sich bei MACH 1905, S. 358/359.

29 FREGE 1884, S. 57ff.

30 FREGE 1884, S. 52.

31 Auch z. B. anthropologisch gesehen ist der Satz sinnlos. Für Eskimos ist der Schnee begrifflich erheblich vielschichtiger als für uns. Was wir mit „weißem Schnee“ meinen, ist für Eskimos begrifflich unverständlich. Farben sind also nicht – wie FREGE meint – objektiv, sondern hängen von unserer Willkür, um genau zu sein, von unserer Erfahrung ab. Entgegen FREGES Auffassung (1884, S. 52) kann also unsere Auffassung sehr wohl die Farbe einer Fläche willkürlich verändern. Wie HERING (1884) festgestellt hat, entsteht die Lichtempfindung nicht am Ende der Ätherwelle, sondern am Ende des Nerven- bzw. im Neuronengewebe. Selbiges gilt auch für Zahlen. Für MACH entsteht die scheinbare Objektivität durch hinlängliche Ähnlichkeit der Wahrnehmung auf – biologisch bedingt – nahezu gleichen physiologischen Grundlagen und im Vergleich mit der Tatsachenwahrnehmung anderer Menschen innerhalb einer europäisch geprägten Kultur (siehe auch CARTER 2002).

32 Siehe dazu auch KAILA in seiner Kritik an CARNAPS „Aufbau“ (KAILA 1930, S. 31).

Karl MENGER (1959) hat eine ähnliche Idee in einem Gedankenexperiment zu Papier gebracht: Was wäre eine Arithmetik ohne „1, 2 und 3“? Auch MINKOWSKIS Weiterentwicklung des Riemannschen Raumes und dessen Verwendung von EINSTEIN in der Relativitätstheorie geht in diese Richtung. FREGES Einwand bezüglich des Verlustes der Anschaulichkeit ist durchaus berechtigt. Dürfen wir etwas denken, wenn dabei die Anschaulichkeit (und damit ein Teil der empirischen Überprüfbarkeit) verloren geht? MACHS Antwort darauf ist sehr vorsichtig: Wir müssen auch das Unanschauliche denken können, wenn sich keine andere adäquate Beschreibung der Phänomene finden lässt, aber wir sollten dann sehr vorsichtig bezüglich unserer Analogien sein, da wir dann kaum noch empirisch überprüfen können, wo deren Grenzen in dem neuen Bereich sind. Die Tendenz zur Metaphysik nimmt in diesem Fall stark zu.

3. Machs Analogiebegriff

Wie sieht nun MACHS monistischer Analogiebegriff aus? Für MACH handelt es sich beim Analogiebegriff um ein „Leitmotiv der Forschung“, genetisch hergeleitet aus einem volkstümlichen Ähnlichkeitsbegriff. MACH sagt dazu:

„Die sinnlich beobachtete Ähnlichkeit bedingt schon unbewusst und unwillkürlich ein ähnliches Verhalten, ähnliche motorische Reaktionen gegenüber den ähnlichen Objekten. Beim Erwachen des Intellekts wird sich auch dieser den ähnlichen Objekten gegenüber ähnlich verhalten, wie dies STERN [„Die Analogie im volkstümlichen Denken“] bezüglich des volkstümlichen Denkens ausführlich dargelegt hat. Übrigens enthalten die Schriften von TYLOR [„Die Anfänge der Kultur“] hierfür schon reichliche Belege. Wenn nun das begriffliche Denken erstarkt, so wird auch das absichtliche *zielbewusste* Streben, sich von einer praktischen oder intellektuellen Unbehaglichkeit zu befreien, ebenfalls durch Ähnlichkeiten, und bald auch durch tiefer liegende Analogien, geleitet sein.“³³

MACH leitet also den Analogiebegriff genetisch aus empirischen Studien der Psychologie (STERN) und der Anthropologie (TYLOR) her. Der Einsatz der Analogie entwickelt sich aus einem unbewussten Verhalten zu einem zielbewussten Streben, wobei die emotionalen und Ähnlichkeit erkennenden Ursprünge auch nach dem „Erwachen des Intellekts“ weiterhin unbewusst bleiben. Diese Ursprünge, aber auch die Analogie als Forschungsmotiv – also ein Wegweiser auf der Suche nach dem Neuen – bleiben psycho-physiologisch. Eine logische oder metalogische Anpassung der Begriffe ändert daran nichts. Der analoge Schluss, dass Begriffe in Axiomen durch Formalisierung und Konsistenzbeweis ähnlich der von diesen Axiomen konstruierten Objekte ihre empirische Basis verlieren, ist epistemologisch genauso wenig konsistent wie die Annahme, dass ein Metasystem auch sich selbst abschließen könne.

„Wenn ein Objekt der Betrachtung *M* die Merkmale *a, b, c, d, e* aufweist und ein anderes Objekt *N* mit Ersterem in den Merkmalen *a, b, c* übereinstimmt, so ist man sehr geneigt, zu erwarten, dass das letztere auch die Merkmale *d, e* aufweisen, mit *M* auch in diesen übereinstimmen werde. Diese Erwartung ist *logisch nicht berechtigt*. Denn das

³³ MACH 1905, S. 221. Gewisse Aspekte dieser Sichtweise finden sich sowohl bei GENTNER 1983, TOOBY und COSMIDES 1992 als auch bei LAKOFF und JOHNSON 1999. Auf eine ideengeschichtliche Analyse dieser Zusammenhänge soll hier jedoch verzichtet werden.

logische Verfahren verbürgt nur die Übereinstimmungen mit dem einmal festgesetzten, das Beibehalten desselben, schließt den Widerspruch gegen dieses aus. Unsere Neigung, unsere Erwartung ist aber in unserer *psychologisch-physiologischen* Organisation begründet. Schlüsse nach Ähnlichkeit und Analogie sind genau genommen kein Gegenstand der Logik, wenigstens nicht der formalen Logik, sondern nur der Psychologie. [...] Das eben Gesagte enthält also die einfache *biologische* und *erkenntnis-theoretische* Begründung der Wertschätzung des Schlusses nach Ähnlichkeit und Analogie.“³⁴

Analogie und Ähnlichkeit sind also ein Resultat der psychologisch-physiologischen Denkökonomie.

„Das Leitmotiv der Ähnlichkeit und Analogie erweist sich in mehrfacher Hinsicht als treibend und fruchtbar für die Erweiterung der Erkenntnis. Ein noch *wenig geläufiges* Tatsachengebiet *N* offenbare in irgendeiner Weise seine Analogie zu einem uns *geläufigeren*, der unmittelbaren Anschauung zugänglicheren Gebiet *M*. Sofort fühlen wir uns angezogen in Gedanken, durch Beobachtung und Experiment zu den bekannten Merkmalen oder Beziehungen der Merkmale von *M* die Homologen von *N* aufzusuchen. Unter diesen Homologen werden sich im Allgemeinen bislang unbekannte Tatsachen des Gebietes *N* finden, die wir auf diese Weise *entdecken*. Trifft unsere Erwartung nicht zu, finden wir unvermutet Unterschiede von *N* gegen *M*, so hat sich unser Trieb doch nicht vergebens betätigt. Wir haben das Tatsachengebiet *N* genauer kennen gelernt, unsere *begriffliche* Kenntnis desselben hat sich *bereichert*. Die Operation mit Hypothesen wird durch den Reiz der Ähnlichkeit und Analogie eingeleitet. Die Hypothese belebt die Anschauung, die Phantasie, und erregt durch diese die physische Reaktionstätigkeit. Die Funktion der Hypothese ist sonst teils eine sich selbst befestigende, verschärfende, teils eine sich *selbst zerstörende*, jedenfalls aber eine erkenntniserweiternde.“³⁵

In diesem Zusammenhang ist dann MACHS Definition des Analogiebegriffs zu verstehen „als eine Beziehung von Begriffssystemen, in welcher sowohl die Verschiedenheit je zweier homologer Begriffe als auch die Übereinstimmung in den logischen Verhältnissen je zweier homologer Begriffspaare zum klaren Bewusstsein kommt.“³⁶

4. Fünf Beispiele

Die folgenden fünf Beispiele zeigen die Auswirkungen der Verwendung von MACHS Analogiebegriff auf (1.) die empirische Psychologie am Beispiel des Begriffs der Denkökonomie, (2.) die historische Begriffsgenese am Beispiel des (Natur-)Gesetzes und des Wahrheitsbegriffs, (3.) die Wissenschaftsgeschichte am Beispiel von BOHR'S Atommodell, (4.) die Verwendung von Analogien als Forschungsmethode am Beispiel von MACH und RIEMANN und (5.) MACHS Hinweise auf den Ursprung des Zahlbegriffs. Die Beispiele (1.) bis (3.) sind genetisch-exemplarisch aufgebaut, d. h., das spätere Beispiel führt jeweils einen Punkt des vorherigen unter einer anderen genetischen Perspektive aus.

34 MACH 1905, S. 225/226.

35 MACH 1905, S. 226/227.

36 MACH 1905, S. 221.

Für alle Beispiele sollte betont werden, dass die genetische Methode besonders starke Auswirkungen hat, wenn sie ontogenetisch früh (bei Kindern) verwendet wird. In einigen Beispielen ist dies explizit ausgeführt. Ausgangspunkt für MACH ist nicht der fertig ausgebildete Wissenschaftler, sondern das lernende Kind. Nach MACH sind auch Wissenschaftler im Prinzip Kinder in allen Bereichen, die für sie neu sind, die also nicht zur Ausbildung gehört haben.

4.1 Machs Analogiebegriff im Spiegel der psychologischen und anthropologischen Empirie am Beispiel der Denkökonomie

Ist MACHS Analogiebegriff noch aktuell, d. h. entspricht er den empirischen Beobachtungen, welche die Psychologie und die Anthropologie seit seiner Zeit (seit STERN und TYLOR) gemacht haben? Die Grundfrage von MACH ist sicher noch aktuell, nämlich die Frage, *die Begriffe über unser Denken mit den empirischen Befunden, auf denen DARWINS Theorie aufgebaut ist, konsistent zu machen.*

In dem vorhergehenden Teil dieses Artikels finden sich bereits viele Beispiele für die Nähe von MACHS Ideen zur experimentellen Psychologie bis heute.³⁷ In diesem Beispiel soll ein Aspekt näher beleuchtet werden: die Denkökonomie.

MACH gründet seinen Analogiebegriff auf Denkökonomie. Der Begriff der Denkökonomie wird häufig vereinfachend als OCCAMS Rasiermesser oder als Minimalprinzip dargestellt.³⁸ Das Ökonomieprinzip bei Emanuel HERRMANN, von dem MACH die Idee übernommen hat, ist jedoch – wie der Ökonomiebegriff generell – nicht als Minimalprinzip, sondern als Optimierungsprinzip definiert.³⁹ Optimierte wird die Relation von *Input* und *Output* über die Zeit. Bei OCCAMS Rasiermesser wird dagegen in der Philosophie normalerweise der *Output* als konstant angenommen, der *Input* minimiert und von der Zeit abstrahiert. Das Machsche Ökonomieprinzip ist insbesondere auch auf biologische (*Bioeconomics*) oder psychophysiologische Vorgänge anwendbar.

Information⁴⁰ ist in vielen Fällen nicht als weißes Rauschen gleichverteilt (z. B. in einem binären schwarz/weißem Feld für jede Zelle $p = .50$; siehe Abb. 1), sondern zeigt innere Redundanzen. Auch weißes Rauschen zeigt eine formale Redundanz, nämlich die der Homogenität. Wahrnehmung ist ein ökonomischer Prozess der Verarbeitung dieser Art von Informationen bei Lebewesen (sofern sie für das Überleben wichtig sind). Würden wir Redundanzen nicht in irgendeiner Form im Wahrnehmungsprozess reduzieren – nähmen wir also alles wahr – könn-

37 Klaus HENTSCHEL hat in diesem Band schon auf die Nähe zwischen MACHS Untersuchung der heuristischen Bedeutung von Analogien in der Forschungspraxis und neuen kognitionspsychologischen Strömungen hingewiesen.

UEXRÜLL z. B. ist in seiner psychophysiologischen Epistemologie stark von MACH beeinflusst worden.

38 Das bereits oben von KAILA 1930 aus Machscher Sicht kritisiert wurde.

39 Darauf hat schon COHEN 1968 hingewiesen. MACH hat selber diese Begriffsveränderung in einigen Fällen noch nicht konsequent umgesetzt.

40 Der Begriff der Information im Bezug zur Psychologie wird im Folgenden wie bei den intellektuellen Erben der Gestaltpsychologie, z. B. bei ATTNEAVE 1954 verwendet. Im Prinzip handelt es sich bei der Informationstheorie (z. B. SIMON 1959) um die Frage der Ökonomie der Relation zwischen Beobachtetem und Beobachter. In der Informationstechnologie ist vor allen Dingen die Frage der Reduktion von Daten eines Senders von Bedeutung bei gleichzeitigem Erhalt der für einen Empfänger wichtigen Informationen. Für MACH findet jedoch schon bei der Messung der Daten eine Reduktion statt, so dass die im Folgenden genannten Beispiele (insbesondere Abb. 3) eine technomorphe Analogie darstellen. Die Prinzipien der Reduktion von Information durch ökonomische Anpassung sind jedoch ausreichend ähnlich. Die Limitierungen der Analogie lassen zudem im Folgenden durch die dadurch bedingte Verschiebung der Betrachtungsweise einen introspektiven Blick auf die psychophysiologischen Ursprünge zu.

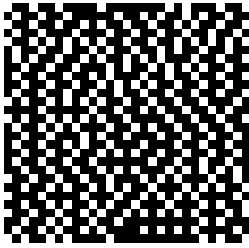


Abb. 1 Weißes Rauschen. WMAP (<http://map.gsfc.nasa.gov/>), adaptierter Ausschnitt

ten wir vor Reizüberflutung nicht mehr sinnvoll handeln, um zu überleben.⁴¹ Versuch und Irrtum sind demnach nicht „blind“. Fast alle potentiellen Versuche sind durch die unbewusste Vorverarbeitung von Information bereits von unseren psychophysischen Prozessen ausgeschlossen worden. Bewusst entscheiden wir nur die intuitiv vorgegebenen unentscheidbaren Resthandlungsmöglichkeiten.⁴² Wenn wir (oder ein Bakterium) blind suchten, würden wir sozusagen vor lauter Suche nie ans Ziel kommen (sprich: verhungern).

Redundanzen werden immer innerhalb einer gewissen Toleranzbandbreite als invariant wahrgenommen. Diese Toleranz ist integraler Bestandteil des Wahrnehmungsprozesses. Wie die Messung in der Quantenphysik vom Beobachter so stark beeinflusst wird, dass sich davon im Modell nicht mehr abstrahieren lässt, so beeinflusst auch die Toleranzbandbreite⁴³ der Wahrnehmung insbesondere in Rand- und Übergangsbereichen diese Wahrnehmung so stark, dass nur beide zusammen (ursprünglich bewusst gewordene Wahrnehmung und gemessene Toleranz) betrachtet werden können. In der Astrophysik sind diese Phänomene bereits seit längerem bekannt (z. B. bei dem Zusammenhang zwischen der scheinbaren Größe von Sternen und ihrer Nähe zum Horizont). Die Psychophysik hat dies systematisch untersucht (MACH z. B. bei seinen berühmten „Bändern“). Im Folgenden werden einige modernere Versuche in dieser Richtung beschrieben, die für die Synthese der modernen Kognitionstheorie aus Assoziationstheorie, Gestaltpsychologie und Behaviorismus wichtig gewesen sind.⁴⁴

Für MACH sind Objekte eigentlich Prozesse, von denen wir die zeitliche Varianz abstrahieren. Wenn z. B. die Wahrscheinlichkeitsverteilung für das schwarz/weiße Feld nicht $p = .50$, sondern $p = .501$ oder $p = .51$ wäre, so wäre unsere Wahrnehmung immer noch die eines weißen Rauschens. Dabei liegt die zeitliche Varianz entweder unterhalb unserer Wahrnehmungsschwelle, oder wir betrachten die zeitliche Varianz des Objektes nicht als zentral für unsere Begriffsbildung und abstrahieren davon, d. h. lenken unsere Aufmerksamkeit nicht darauf.

Betrachten wir nochmals Abbildung 1. Verändert sich das Bild in unserer Wahrnehmung, wenn wir wüssten, dass es sich hier nicht um eine Zufallsverteilung, sondern um ein gemessenes Bild handelt? Nehmen wir an, es handele sich um einen Ausschnitt aus der *Wilkinson*

41 Siehe dazu auch MANDLER 1962 oder KAUFFMAN 2000.

42 Siehe dazu auch CARTER 2002.

43 Der Begriff der „Fehler“-toleranz könnte hier irreführend sein (siehe auch WITTENBERG 1963, S. 131), da die Frage, ob die Wahrnehmungstoleranz zu einem Irrtum im Machschen Sinne (MACH 1905) führt oder nicht, eine erkenntnistheoretische und nicht eine psychologische ist.

44 Siehe auch BORING 1950.

Microwave Anisotropy Probe (WMAP) zur Erforschung von Unregelmäßigkeiten in der kosmischen Hintergrundstrahlung. Die Strukturen, die vorher als schlechte Bildauflösung erschienen, werden in einer solchen Interpretation eine unentwirrbare Mischung aus den Grenzen der Messgenauigkeit und der Variationen in der Strahlung des Urknalls (in einem anderen Ausschnitt, Abb. 2, wird dieser Unterschied dann deutlicher).⁴⁵ Den Unterschied macht die Information über den Ursprung des Bildes, die dann im selbstverstärkenden Wechsel unsere Aufmerksamkeit auf das Bild und unsere Interpretation des Bildes verändert.⁴⁶ Während dieser selbstverstärkende Effekt auftritt, scheint in unserer Wahrnehmung die Zeit stillzustehen.⁴⁷ In retrospektiver Introspektion wirkt es dann, als wäre die Interpretationsveränderung des Bildes zeitlos, d. h. sofort passiert. Experimentell ist diese Veränderung jedoch messbar, also ein Prozess. Rückwirkend erinnern wir nicht den Prozess, sondern nur sein Resultat. Dieses Beispiel möge als Anschauung dienen, warum Objekte für MACH immer Gedankendinge mit einem inhärenten metaphysischen (nicht-empirischen) Kern sind: die Abstraktion von der zeitlichen Dimension der Wahrnehmung.

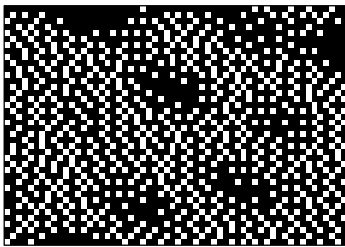


Abb. 2 Kosmische Hintergrundstrahlung.
WMAP (<http://map.gsfc.nasa.gov/>), adaptierter Ausschnitt

Die Frage, ob eine wahrgenommene Invarianz Resultat einer Abstraktion oder ein empirisches Resultat ist, lässt sich dabei für MACH nicht *a priori* klären (MACH 1905). Wenn die Begriffsbildung schon vor längerer Zeit stattgefunden hat (z. B. in der Kindheit), sind die mentalen Prozesse so intuitiv (unbewusst) umgesetzt, dass die Unterscheidung auch bei bewusster Reflektion nicht gelingt. Bedeutungen (*meanings*) werden nach TITCHENER und BRUNER⁴⁸ durch Wiederholung gelegt⁴⁹ und nicht durch die Frage der Unterscheidung zwischen der Anpassung der Gedanken an die Tatsachen (Empirie) oder der Gedanken aneinander (z. B. durch Logik). Nur weil viele intuitive Bedeutungen empirisch entstanden sind, darf dies nicht automatisch auf alle verallgemeinert werden. Es gibt z. B. empirisch keinen Anhaltspunkt, in den gefundenen Bedeutungen und Ähnlichkeiten Abbildungen der Gedanken der Götter (bzw. Gottes) zu sehen.⁵⁰

45 Bei Abb. 1 und 2 handelt es sich um adaptierte Ausschnitte aus den *Public-Domain*-WMAP-Bildern, zu finden unter <http://map.gsfc.nasa.gov/>.

46 Siehe dazu auch MANDLER 1962 und MANIER et al. 2004.

47 In der Psychologie *Flow*-Phänomen genannt (siehe CSIKSZENTMIHALYI 1990).

48 BORING 1950, BRUNER 1990.

49 Heutzutage lässt sich dies durch die Verstärkung der synaptischen Verbindungen neurologisch beobachten.

50 Eine begriffliche Klärung dieses Phänomens und seiner begriffsgeschichtlichen bzw. ideengeschichtlichen Details siehe im folgenden Beispiel (Abschnitt 4.2).

Das ökonomische Prinzip hat Auswirkungen auf unser Bewusstsein. Die Aufmerksamkeit z. B. fokussiert unsere Wahrnehmung und Gedanken und limitiert gleichzeitig das Wahrgenommene auf Ausschnitte. Zudem ist die Zahl der Ideen, die simultan zu einem gegebenen Zeitpunkt im Bewusstsein gehalten werden, begrenzt auf etwa 5 – 7 (MILLER 1956). Mehr Ideen lassen sich kurzfristig nur durch ein hierarchisches Strukturieren memorieren (*lumping*). Dies sind letztendlich die bio-physiologischen Grundlagen der Gestaltpsychologie. Die Ökonomie bei der Verarbeitung von Information wird deutlich, wenn man sich überlegt, wie Bilder wahrgenommen werden. Würden wir jeden einzelnen Bildpunkt (also die kleinste, durch unsere Wahrnehmung noch unterscheidbare Stelle) „scannen“, wie z. B. es ein Fax macht, wären wir nicht nur sehr lange mit jeder einzelnen Wahrnehmung beschäftigt, sondern hätten damit noch keine größeren Zusammenhänge erfasst.

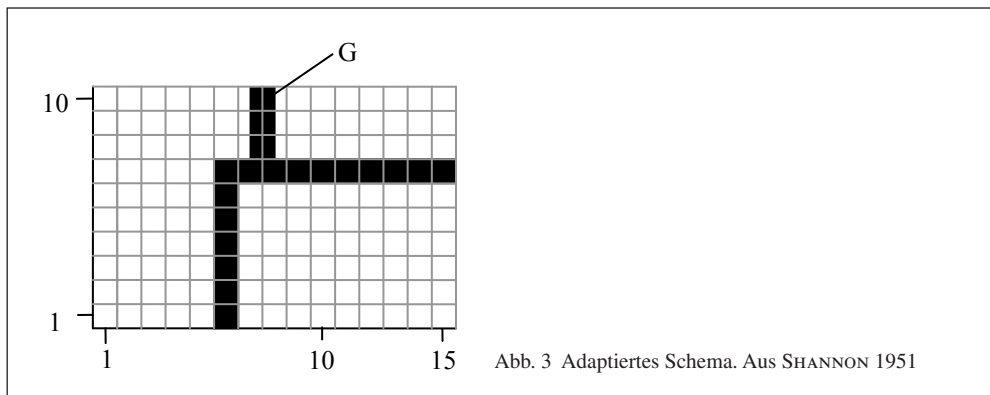


Abb. 3 Adaptiertes Schema. Aus SHANNON 1951

Den Unterschied zwischen einem Fax und der menschlichen Wahrnehmung in der Bildverarbeitung lässt sich durch ein „Gegenbeispiel“ zum weißen Rauschen beschreiben. Nehmen wir an, in Abbildung 3⁵¹ wären schematisch ausschnittsweise die Umrisse eines Tisches (Fuß und Tischkante) dargestellt. Auf dem Tisch steht ein Gegenstand G (z. B. ein Glas). In Abbildung 3 würde ein Fax oder Scanner, der alle (Spalten-)Bildpunkte von links nach rechts, sukzessive für jede Zeile von unten nach oben sequentiell erfasst, zunächst fünf Mal „nichts“, bzw. weiß erkennen, dann einmal „schwarz“. Der Rest der Zeile ist dann wieder Weiß. In der nächsten Zeile wird selbiges festgestellt, etc. Nun stellen wir uns statt des Scanners einen Menschen vor, der jeden Bildpunkt erraten soll, bevor er wahrgenommen wird.⁵² Spätestens nach der dritten oder vierten Zeile wären wir (als Menschen) versucht, den Prozess abzukürzen und die Ähnlichkeit „schwarz in der fünften Spalte“ für die weiteren Zeilen zu testen. Dieses Abkürzen ist ökonomisch bis Zeile sieben, siebte Spalte. Dort muss dann eine neue Regel („schwarz für den Rest der siebten Zeile“) erst erfahren, erkannt und dann auf Invarianz getestet werden. Ab Zeile Acht gilt dann wieder eine neue Regel.

Angenommen, man hätte eine Regel für 10000 Zeilen bestätigt gefunden. Sähe man sich dann tatsächlich noch jeden Bildpunkt einzeln an? Oder würde man stichprobenartig die Re-

51 Adaptiert aus SHANNON 1951, siehe auch ATTNEAVE 1954.

52 Es handelt sich hier um eine Variante des *guessing game*, bei dem die minimale Zahl an Fragen ermittelt wird (oft nur mit Ja oder Nein beantwortet), die mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit zur Lösung der Aufgabe führen.

gel überprüfen? Würde man also bemerken, dass der 10000. Rabe von HUME weiß und nicht schwarz ist? Der 10001. ist ja wieder schwarz.

Das Glas G steht jedoch für den Scanner so „ungünstig“ auf dem Tisch, dass die kleinsten gemessenen Bildpunkte jeweils genau halb bedeckt sind. Die Information, die der ratende Mensch erhält, hängt nun davon ab, ob der Algorithmus den jeweiligen Bildpunkt als schwarz oder weiß erkennt (notwendige Bedingung der Messung). Mancher Scanner würde die Bildpunkte als Schwarz („großes Glas“), manche als „Chaos“ (Zufallsprinzip $p = .5$ bei Schwarzanteil = $.5$) oder als vollständig weiß (nichts) messen. Welcher Scanner hat recht (d. h. „misst die Wahrheit“ bzw. „das Faktische“)? Das „ausgeschlossene Dritte“ führt hier zu zentralen Widersprüchen, ähnlich wie der „blinde Fleck“ bei der Annahme eines stetigen Sichtraumes. Die sich daraus ergebenden Paradoxien existieren jedoch nur scheinbar.⁵³

Wenn der Scanner 10000 Zeilen nichts gemessen hätte, würden wir dann auf dem Tisch nach einem Gegenstand suchen? Analog dazu lenken epistemische (d. h. systematische) Probleme in der Messung unsere wissenschaftliche Suche in Richtungen, von denen aus das Glas „immer systematischer“ übersehen wird.

Nehmen wir nun an, bei dem Tisch handle es sich um einen Begriff. Der Begriff sei in den Gedanken gebildet als ökonomische Zusammenfassung von ähnlichen Tatsachen, die von ähnlichen Umständen abhängen. Von den Umständen, die nicht ähnlich sind, wird der Begriff abstrahiert. Das Glas symbolisiere Tatsachen, deren unterschiedliche Umstände für die menschliche Wahrnehmung zunächst ähnlich erscheinen. Der Tisch repräsentiert nun begrifflich beides, Tisch und unbewusst ein Glas darauf, obwohl dies eigentlich nur am Nichterkennen der unterschiedlichen Umstände liegt. Damit wird eine Menge von Tatsachen, die eigentlich besser zu einem eigenen Begriff „Glas“ gehören, zu dem Begriff „Tisch“ unscharf zugeordnet. Dieser unbewusste Anteil des Begriffs kann im Machschen Sinne erst durch eine grundsätzliche Verschiebung der Wahrnehmung entdeckt werden (vielleicht aber auch nie). Durch einen erkenntnistheoretischen (bzw. wissenschaftspsychologischen) Ansatz müssen solche Verschiebungen methodisch gezielt gesucht und herbeigeführt werden.

Lässt sich z. B. aus einer gemessenen Punktverteilung eine stetige Funktion extrapolieren? Karl PEARSON hat dies in seiner *Grammar of Science*⁵⁴ klar verneint. Nur aus der Ferne betrachtet wirkt eine Punktverteilung wie eine Linie. Hans HAHN (1933, 1988b) diskutiert in diesem Zusammenhang die Frage der Anschaulichkeit von mathematischen Kurven⁵⁵ an-

53 Hier wird auch deutlich, dass es sich bei der Annahme vom ausgeschlossenen Dritten um eine vereinfachende Annahme, wie z. B. die des mechanistischen Weltbildes handelt. Vereinfachende Modelle haben zwar den Vorteil der besseren gedanklichen Handhabbarkeit, können jedoch leicht zur analogen Anwendung auch in Fällen führen, bei denen das Rasiermesser der Vereinfachung das Wesentliche schon durch die getroffenen Annahmen abschneidet. Dies kann in der sich anschließenden Untersuchung nicht mehr bemerkt werden. Die Entscheidung, ob vereinfachende Annahmen getätigt werden können oder nicht, hängt bei MACH auch von genetischen Voraussetzungen ab, die nicht alle als bekannt vorausgesetzt werden können. Bei der wiederholten Verwendung des vereinfachenden Modells werden diese Annahmen jedoch häufig nicht mehr grundlegend (durch genetische Untersuchung) überprüft und nach einer Weile unbewusst vorausgesetzt. Technomorphe Analogien (Computer = menschliches Gehirn) basieren z. B. notwendigerweise auf der Annahme des ausgeschlossenen Dritten, seit GÖDEL und VON NEUMANN dies für die Grundlagen der Entwicklung von Rechenmaschinen so entschieden haben. Bei der Verwendung von solchen technomorphen Analogien wird jedoch der vereinfachende Modellcharakter der Analogiebasis fast nie mehr erwähnt. BRUNER (1962) nennt dies die Verwechslung des Portraits mit dem Portraitierten.

54 In der 3. Auflage 1911, S. 152ff., *Contingency and Correlation*.

55 Diese Diskussion hat starke Bezüge zur oben ausgeführten Logizismusdiskussion. Eine Rückführung auf grundlegendere Begriffe bedeutet jedoch höchstens eine Reduktion der Anschauung im Kantschen (apriorischen) Sin-

hand von Beispielen, die er „Monster“ nennt (d. h. nichtanschauliche Kurven, wie etwa die von WEIERSTRASS). Selbst bei der Annahme einer stetigen Funktion kann die Punktverteilung grundsätzlich mit vielen Funktionen, z. B. solche mit einzelnen Ausreißern ins Extreme (Unendliche), abgebildet werden. Durch die Denkökonomie tendieren wir Menschen dazu, die einfachste Funktion anzunehmen, die näherungsweise zu den gegebenen Daten passt. Funktionen mit nicht-einfachem (sogenanntem „chaotischen“) Verhalten sind jedoch in der Chaostheorie keine Seltenheit.

Unser neurologisches Gedächtnis ist zwar groß (gemessen z. B. an der Anzahl der Kombinationsmöglichkeiten der Neuronen), aber immer noch begrenzt. Informationen müssen also ökonomisch gefiltert und zusammengeführt werden (wenn nicht gefiltert wird, bleiben die Zusammenhänge vor lauter Details unerkannt; dies ist eines der Probleme von Autisten). Häufig auftretende ähnliche Wahrnehmungen und Bewegungen werden, anstatt sie als einzelne, unzusammenhängende Gedanken aufzufassen, zusammengelegt. Dieser Prozess findet schon auf der physiologischen Ebene statt. Wir nehmen Unterschiede stärker wahr als Gleiches⁵⁶ und sehen dabei symmetrische Strukturen (z. B. Marskanäle), auch wo eigentlich keine symmetrischen Strukturen sind. Symmetriewahrnehmung ist ein sich während unseres Lebens selbstverstärkender Prozess.

Der Prozess des Gestaltwahrnehmens ist also von der Struktur her in den Genen angelegt, aber im Konkreten nicht durch Reflexe vorgegeben, sondern zu weiten Teilen plastisch, d. h. erlernt. Blindgeborene, wenn sie durch eine Operation im Erwachsenenalter plötzlich sehen können, sehen zunächst nur „Chaos“, und es dauert mehrere Wochen, bis sie die ersten Gestalten erkennen. Dabei werden zunächst die Gestalten erkannt, zu denen sie ein emotionales Verhältnis haben (Verwandte, Blindenhund) und motorisch bereits ertastete Gestalten.⁵⁷ Auch für Kinder sind Begriffe zunächst eine Handlung, bevor die Begriffe abstrakter eingesetzt werden.⁵⁸ Wie BRUNER (1968) gezeigt hat, trifft dies auch auf mathematische Begriffe zu. Begriffe sind zunächst „wiederholbare Handlung“,⁵⁹ Durch die Ökonomie der Hierarchiebildung werden Ober- und Unterbegriffe gebildet. Für Kinder ist z. B. am Anfang jedes Tier ein „Wauwau“, bevor durch die Eltern und durch den Umgang mit Tieren begriffliche Unterschiede gelernt werden.⁶⁰

Das Erkennen von Ähnlichkeiten hängt von der Größe des erkannten Unterschiedes ab. Zu ähnlichen Wahrnehmungen werden nach einer gewissen Zahl der Wiederholungen nicht mehr bewusst wahrgenommen (vor der Bewusstwerdung gefiltert). Zu große Unterschiede lassen keinen Ähnlichkeitsbezug zu. Was „groß“ oder „klein“ ist, wird auf verschiedenen physiologischen und psychologischen Ebenen anhand des Vergleichs mit bisherigen Erfahrungen (Gedächtnis) „entschieden“. Gedächtnis ist für MACH im Sinne von HERING nicht nur eine neuronale, sondern eine generelle Funktion der Evolution. Phylogenese, Ontogenese, Epigenese und kulturelle Genese sind hierbei verschiedene – sich untereinander beeinflussende – Ausprägungsformen desselben Prinzips unter unterschiedlichen, z. B. zeitlichen Bedingungen.

ne, nicht jedoch im genetischen. HAHN führt dies allein auf die Gewohnheit bei der Begriffsbildung zurück. Im Machschen Sinne übersieht er dabei die genetischen Abhängigkeiten der Begriffe untereinander (die abstrakteren Begriffe werden aus den empirisch begründeten gebildet).

56 So werden z. B. bei den sogenannten „Machschen Streifen“ Helligkeitsunterschiede optisch bei abrupten Farbübergängen überproportional wahrgenommen. Dieses Phänomen lässt sich auch bei rotierenden Scheiben fotografieren, d. h., es handelt sich hierbei nicht um eine „optische Täuschung“.

57 Siehe CARTER 2002.

58 Siehe z. B. STERN 1923, RAMACHANDRAN 2005.

59 Siehe auch SCHACK 2004.

60 Siehe auch TOOBY und COSMIDES 1992.

Der wesentliche Teil dieser Prozesse verläuft unbewusst, insbesondere bei Erwachsenen. Es ist die Basis für das, was wir Intuition nennen (LORENZ 1959). Die Wichtigkeit des unbewussten Teils von Ähnlichkeits- und Analogieprozessen im Denken wird auch von aktuellen psychologischen Untersuchungen, z. B. bei MARKMAN und GENTNER (2005) bestätigt.⁶¹ Intuitionen sind also das Resultat von teilweise bewussten und teilweise unbewussten Erkenntnis- bzw. Lernprozessen, wobei Intuitionen selber wiederum unbewusst sind.

4.2 Historische Begriffsgenese am Beispiel des (Natur-)Gesetzes und des Wahrheitsbegriffs

Wie wurden nun historisch diese empirisch gelernten unbewussten Intuitionen von den Menschen interpretiert? Welche Auswirkungen hatte diese Interpretation für MACHS oben beschriebene Kritik an der logizistischen (und der damit verwandten physikalistischen) Denkweise? Diese Fragen soll hier beispielhaft anhand einer kurzen Begriffs- und Ideengeschichte der Begriffe „(Natur-)gesetz“ als heutzutage zentral für die Physik und „Wahrheit“ als heutzutage zentral für die Logik beleuchtet werden.⁶² Sowohl der Begriff des „Gesetzes“ (soweit er sich auf die Natur und nicht auf zwischenmenschliche Gesetzmäßigkeiten bezieht; der eigentliche Begriff des Naturgesetzes taucht erst in der Neuzeit auf) als auch der Begriff der „Wahrheit“ sind von Anthropomorphismen und „Theomorphismen“ geprägt.

Beide Begriffe haben sowohl empirische als auch logisch-deduktive Wurzeln, die jeweils in einem religiös-mythischen Rahmen wahrgenommen und interpretiert worden sind. In MACHS Begrifflichkeiten ausgedrückt, handelt es sich um drei psychophysiologische Phänomene:

- (1.) die Anpassung der Gedanken an die Tatsachen, d. h. empirisches Lernen im Sinne von HUME, welches nur als bewusst wahrgenommen wird (oft Induktion genannt);
- (2.) die Anpassung der Gedanken aneinander, d. h. die Herstellung der inneren (logischen) Konsistenz, wahrgenommen durch den bewussten Anteil an der Reflektion (oft Deduktion genannt); und
- (3.) das wahrnehmbare Resultat der unbewussten Denkprozesse, wobei vor der begrifflichen Fassung des Unbewussten (also frühestens ab 1910) bei unbewusstem Lernen mangels introspektiver Beobachtbarkeit z. B. nicht grundsätzlich zwischen empirischen und nichtempirischen Denkprozessen unterschieden werden kann.⁶³

Unbewusste Denkprozesse sind zum Zeitpunkt ihres Auftretens bereits stark mit bewussten Prozessen verwoben, welche retrospektiv leicht als die Ursache interpretiert werden. Zum

61 Der unbewusste Anteil des Denkens wurde in der bisherigen Kognitionstheorie wenig beachtet (siehe z. B. MARKMAN und GENTNER 2005). Allerdings ist für diesen Aspekt der Erkenntnis in den letzten Jahren wieder verstärkt das Interesse der Psychologen erwacht (sogar bei denselben Autoren, siehe z. B. MARKMAN und GENTNER 2001 im Vergleich zu MARKMAN und GENTNER 2005, letzterer Beitrag erschienen in HASSIN et al. 2005 mit dem aussagekräftigen Titel *The New Unconscious*).

62 Die Untersuchung baut auf der Untersuchung von KRAFFT (1964) über den Unterschied zwischen dem *Physikos* und dem *Mathematikos* auf. Da andere Begriffe als bei KRAFFT untersucht werden, ist die Verbindung hier eher epistemischer Natur.

63 An diesem Punkt lässt sich auch erkennen, welche (bereits oben angesprochenen) begrifflichen Probleme MACH bei der Unterteilung von Induktion und Deduktion hat. Im Sinne der Empirie sind die Begriffe unscharf. Insbesondere der Begriff der Induktion vernebelt eher, als dass er klärt. Er erklärt vor allem nicht „die psychische Operation, durch welche neue Einsichten gewonnen werden“ (MACH 1905, S. 318/319; wobei MACH interessanterweise zuletzt in Wien den Lehrstuhl für die „Philosophie der induktiven Wissenschaften“ innehatte, eine Bezeichnung, die auf einen Vorschlag von BRENTANO zurückgeht).

Zeitpunkt, an dem der Wissenschaftler seine introspektive Reflektion ansetzt, sind die empirischen Grundlagen seiner Intuitionen dem Bewusstsein längst nicht mehr zugänglich.⁶⁴

Wie werden also die drei Phänomene erklärt? Die ersten beiden Phänomene sind der Introspektion zugänglich und daher leichter begrifflich fassbar. Hier findet schon früh eine wissenschaftliche Arbeitsteilung statt. Das Gebiet der ersteren Phänomene untersucht der *Physikos*, die zweiten der *Mathematikos*. Doch auch hier hat die epistemologische Rolle von Tatsachen, Phänomenen und der Empirie bereits in der Antike zu begrifflichen Konfusionen geführt.⁶⁵ Das dritte Phänomen hingegen ist empirisch noch schwerer zu fassen und entzieht sich somit den erkenntnistheoretischen Erklärungsansätzen und Denkmodellen. Es wird daher in religiös-metaphysischen Modellen anthropomorph oder theomorph (als göttlicher Gedanke, der in den Menschen gepflanzt oder ihm offenbart worden ist) in verschiedenen synthetischen Relationen zu den ersteren beiden Phänomenen erklärt. Diese Erklärungsmuster finden zum Teil bis heute Verwendung. Im Folgenden wird darüber ein kurzer historisch-genetischer Überblick gegeben.⁶⁶

Regelmäßigkeiten, wie der Lauf der Sonne, werden bei ANAXIMANDER und HERAKLIT zunächst empirisch beobachtet, gelten dann als offenbar und werden als göttliches Gesetz unterstellt (hier wird die Nähe zwischen der Rolle der Intuition und der göttlichen Offenbarung deutlich). Diese göttlichen Gesetze sind jedoch nicht selber teleologisch, sondern werden von göttlichen Gesetzeshütern (z. B. den „Schergen der Dike“, also der Göttin der Gerechtigkeit) überwacht. Die Gesetzeshüter sind für die Festlegung von Strafen bei Übertretungen der Gesetze zuständig. Gleichzeitig wird deutlich, dass es sozusagen „strengere“ (Meta-) Gesetzmäßigkeiten gibt, die auch von den personifizierten Göttern nicht gebrochen werden dürfen.⁶⁷ Hierunter fallen dann z. B. Symmetrien (oben-unten, rechts-links, also interessanterweise die von MACH beschriebenen Urinstinkte des haptischen Raumes.⁶⁸ An diesem Punkt sind die physikalischen Gesetze der Urgötter (z. B. Schöpfungsgötter, namenlose Götter oder Dämonen) also den Gesetzen der späteren Götter (Zeus etc.) vorgelagert. Die Urgesetze bilden einen absoluten Rahmen, in dem sich der gesetzliche Rahmen der späteren Götter bewegt. Die späteren Götter sind also ersteren Gesetzen unterworfen, während die zweite Stufe der Gesetze für sie zwar gelten, aber (unter Androhung von Strafe) übertreten werden können. Hier werden Ursprünge der späteren Unterscheidung von Theorie und Metatheorie deutlich. Durch die zunehmende Rolle von Zeus im Sinne eines Einflusses der von ZOROASTER geprägten monotheistischen Interpretation des Göttervaters von der persischen auf die griechische und später griechisch-römische Kultur dreht sich auch die Interpretation der zwei Gesetzesebenen um. Das Gesetz des Zeus (später in der Gestalt des Jupiter mit der Sonne gleichgesetzt als *Sol Invictus*), d. h. die idealen Gedanken des Zeus, bestimmen die Naturgesetze, welche nur ein Schatten der ersteren sind.⁶⁹ In dieser religiösen Synthese liegt die platonische Denkweise begründet.

64 Zur experimentalpsychologischen Untersuchung von verwandten Phänomenen siehe FRITH 2005 oder GIGERENZER 2002. Zur Unbewusstheit von Willensurteilen siehe z. B. HAGGARD et al. 2004.

65 Siehe KRAFFT 1964.

66 Siehe ZILSEL 1942/1976, auf dem das Folgende in stark verkürzter und Machianisch adaptierter Form aufbaut.

67 Meist sind diese von älteren „Urgöttern“ eingeführt (ELIADE 1975). Sogar Zeus erkennt in der *Ilias* im Fall Sarpedion an, dass Dike (als Personifizierung der Gesetze des Universums) den Vorrang vor ihm selber hat (siehe auch ELIADE 1975, Bd. I, S. 242).

68 MACH 1923, Vorträge Nr. 7 und 19, oder MACH 1894.

69 Siehe ELIADE 1978, S. 348ff.

Bei den weniger mythisch-religiös, sondern eher juristisch geprägten Sophisten beschreibt dann das „Gesetz“ nicht die Natur, sondern im Gegensatz dazu das, was durch menschliche Konventionen eingeführt worden ist. Bei den Stoikern hingegen werden moralische Vorschriften durch Vernunft begründet. Damit wird das göttliche Gesetz (*nomos*) selber teleologisch (es wird zum Schicksal), indem es gleichbedeutend mit der göttlichen Vernunft (*logos*), also dem göttlichen Gedanken gesetzt wird. *Astronomie* und *Astrologie* werden über lange Zeit synonym verwendet. Je nach epistemischer Neigung des jeweiligen Autors bevorzugt er den einen oder das anderen Begriff. Bei den Begriffsveränderungen von ANAXIMANDER bis zu den Stoikern handelt es sich vermutlich um enkulturierende⁷⁰ Synthesen verschiedener religiös-ontologischer Ideen bei den Griechen,⁷¹ einen Vorgang, der schon bei HERODOT beschrieben wird.⁷²

In ZILSELS Interpretation besteht im antiken Denken eine Tendenz zur Bevorzugung der Vernunft gegenüber der Empirie, da erstere mit dem Denken der freien Leute (Mathematik bzw. Rhetorik; man bemerke hier die naheliegende Gleichsetzung des „freien Menschen“ mit den „freien Schöpfungen des menschlichen Geistes“), letztere jedoch mit den Tätigkeiten der im Wesentlichen unfreien Handwerker und manuell arbeitenden Sklaven gleichgesetzt wurde. ZILSEL leitet hiervon den Vorzug der deduktiven Methode z. B. bei ARCHIMEDES ab, obwohl ARCHIMEDES in seiner Methodenlehre beschreibt, dass er eigentlich genetisch (intuitiv und suchend) vorgeht und nur nachträglich deduktiv konstruiert.⁷³ Dies betrifft bei ARCHIMEDES sowohl seine physikalischen als auch seine mathematischen Untersuchungen. Nach ZILSEL konnte sich durch diese Einseitigkeit die Physik in der Antike nur schlecht entwickeln (Ausnahmen bilden nur die in den griechischen Kolonien – also außerhalb des Kernlandes – lebenden Gelehrten wie ARCHIMEDES). Dieses Erkenntnishindernis wurde erst in der Renaissance durch den gesellschaftlichen Aufstieg der Handwerker nach Abschaffung des Sklaventums in den Städten überwunden.

Der naturwissenschaftliche Gesetzesbegriff durchläuft also eine Genese: Ausgehend von den menschlichen Gesetzen werden metaphorisch die Gesetze der Götter untereinander entwickelt (von CORNFORD [1912] auf *moira* zurückgeführt, was ursprünglich etwas wie „zugeleiteter Anteil“ im Sinne von „Erbe“ bedeutet⁷⁴ und später die Bedeutung der Prädestination annimmt). „Anomalien“ werden in diesem frühen Sinne als „Gesetzesübertretungen“ der Götter interpretiert und müssen somit der unteren Gesetzesebene angehören. Daraus wird

70 Zum Begriff der Enkulturation, siehe COLE 2000.

71 Siehe dazu auch ELIADE 1975, Bd. 1, S. 230ff.

72 CORNFORD 1912, S. 37. Ähnliche Fragestellungen nach dem Verhältnis von menschlichem und göttlichem Wissen finden sich auch in anderen Kulturen, z. B. der jüdischen Tradition in der Diskussion zwischen KOHELET und BEN SIRA (siehe ELIADE 1978, 2002, Bd. 2, S. 224ff.), oder auch in der indischen Mahabharata bei der Interpretation der Rolle des Gottes Dharma (wörtlich „das was erhält“, oft übersetzt als „Gesetz“) und den Fragen, die er seinem Sohn Yudhishthira stellt (siehe dazu ELIADE 1978, 2002, Bd. 2, S. 201ff.).

73 In der Methodenlehre beschreibt ARCHIMEDES (1972, in der Übersetzung von HEIBERG S. 383) für ERATOSTHENES seine „eigentümliche Methode [...], um einige mathematische Fragen durch die Mechanik zu untersuchen. Und dies ist nach meiner [ARCHIMEDES] Überzeugung ebenso nützlich, auch um die Lehrsätze selbst zu beweisen; denn manches, was mir vorher durch die Mechanik klar geworden, wurde nachher bewiesen durch die Geometrie, weil die Behandlung durch jene Methode noch nicht durch Beweis begründet war; es ist nämlich leichter, wenn man durch diese Methode vorher eine Vorstellung von den Fragen gewonnen hat, den Beweis herzustellen, als ihn ohne eine vorläufige Vorstellung zu erfinden.“

74 Es handelt sich hier offenbar um eine frühe anthropomorphe Form der Genese. Zum Problem der Begriffsgenese des Genesebegriffs (nach MACH 1892 also der „doppelten Abhängigkeit“) siehe z. B. SIEMSEN und SIEMSEN 2009 und SIEMSEN 2010b.

dann bei AUGUSTINUS das „ewige Gesetz“ Gottes und später das Newtonsche Naturgesetz, bei dem Gott die Rolle des Uhrmachers spielt.⁷⁵

Der Wahrheitsbegriff durchläuft eine ähnliche Genese: Den Pythagoräern galt die aus dem „harmonischen“ Verhältnis von Saitenlängen zu deren Klang abgeleitete „göttliche Sphärenharmonie“ als Offenbarung. Symmetrie wird mit dem göttlichen Gesetz gleichgesetzt. In der Scholastik werden daraus die „metatheoretischen Grundmuster von der gedoppelten Wahrheit“,⁷⁶ d. h., die Wahrheit wird aufgeteilt in die empirische, die von den „schwachen Unzulänglichkeiten der menschlichen Vernunft“ abhängt, und die von Gott in der Bibel geoffenbarte Wahrheit.

Zwischendurch überschneiden und überlagern sich die empirischen, die initiatorischen und die bewusst auf ihre innere Konsistenz hin reflektierten (logische Deduktion, bzw. *logos*) Aspekte im Gesetzes- und im Wahrheitsbegriff. Bei KEPLER z. B. bilden der eher empirisch geprägte Gesetzesbegriff und der religiös geprägte Wahrheitsbegriff eine Synthese. Bei den Pythagoräern, bei KEPLER und BOHR sind die Gesetze der Natur nichts anderes als die göttlichen Prinzipien der mathematischen Schönheit. In FREGES Unterteilung zwischen Sinn und Bedeutung tritt ein ähnlicher Wahrheitsbegriff auf, nur dass hier „Gottes Offenbarung“ durch die wissenschaftliche Diskussion bzw. die daraus resultierende Konvention ersetzt wird.

Nach dem Wissenschaftstheoretiker DUHEM (1908) und dem Religionshistoriker ELIADE (2002) ist dies seit dem modernen Genese- und Wissenschaftsbegriff eigentlich keine Frage der Theologie, sondern der Wissenschaftstheorie. Seit DARWIN sind naturwissenschaftliche Prozesse nicht mehr *a posteriori* teleologisch begründbar. In der Anwendung von DARWINS Genesebegriff auf die menschliche Erkenntnis durch MACH können finale Ziele nur noch als Glaube religiös begründet werden.⁷⁷ Ansonsten sind sie theomorph, d. h. eigentlich unbewusst religiös begründet. Auch aus theologischer Sicht würden viele Theologen vermutlich zustimmen, dass es in der Wissenschaft anmaßend sei, zu meinen, man würde göttliche Gedanken kennen oder sogar verstehen.

4.3 Empirie und Analogie am Beispiel des Bohrschen Atommodells

Ein bekanntes Beispiel aus der Physik, welches HENTSCHEL in seinem Beitrag in diesem Band ausgeführt hat, ist das Atommodell, wie es Niels BOHR in Analogie zu KEPLERS bzw. NEWTONS Planetensystem entwickelt hat. Elektronen „kreisen“ in Bahnen um den Atomkern. Sie haben sogar einen „Spin“, also eine angenommene Eigenrotation wie z. B. die Erde. Dies ist das Atommodell, wie es im Schulunterricht weltweit in der Physik und Chemie gelehrt wird. Für das Grundmodell der Quantenphysik, also einem Bereich der Physik, der unserem Alltagserleben so gut wie nicht zugänglich ist, wird somit eine Analogie aus der klassischen Physik verwendet. Diese Analogie stammt interessanterweise aus dem entgegengesetzten Bereich der Größenskala (Astronomie), gesehen vom Standpunkt unserer Alltagserfahrung als anthropomorpher Mitte zwischen submikroskopischer Quanten- und „super“makroskopischer Astrophysik. Die prinzipielle direkte Unerfahrbarkeit der atomaren Welt durch unsere psychophysiologischen Sinnesorgane stellt ein empirisches (und für MACH ein epistemologisches)

⁷⁵ ZILSEL 1942, 1976.

⁷⁶ Siehe KROHN im Vorwort bei ZILSEL 1976, S. 28.

⁷⁷ Daher MACHS berühmter „Austritt aus der Kirche der Physik“, sobald aus seiner Sicht die theomorphe Epistemologie PLANCKS in die Physik Einzug gehalten hatte.

Problem dar. Wir können die Phänomene der atomaren Welt nur durch Messinstrumente (Erfahrungsprothesen) erfahren. Um diese Messinstrumente zu bauen, müssen wir bereits grundlegende Annahmen über die zu messende submikroskopische Welt treffen.

Wenn BOHR ein Newtonsches bzw. Keplersches Modell an den Beginn des Verständnisses eines Atoms stellt – übernimmt er damit indirekt auch (Teile von) NEWTONS bzw. KEPLERS Weltbild? Die Frage, ob BOHR dies getan hat, sei hier zunächst zurückgestellt.⁷⁸ Dass Millionen von Kindern NEWTONS Weltbild durch die Bohrsche Analogie in ihr Verständnis der atomaren Welt aufnehmen (und ihr Leben lang beibehalten), ist kaum zu übersehen. Dazu kann man – wie Martin WAGENSCHNEIN es beispielhaft getan hat – einige „einfache“ Fragen stellen, z. B. welche Farbe Elektronen haben. Fast jeder Nichtphysiker in Deutschland wird hierauf antworten, dass Elektronen gelb und Protonen rot sind (weil sie in den Physikbüchern so abgebildet sind; in Rumänien sind Elektronen z. B. blau dargestellt und werden somit auch als „blau“ beschrieben).⁷⁹ Physiker wissen, d. h. lernen im Studium, dass unsere Farbwahrnehmung in der submikroskopischen atomaren Welt keinen Sinn macht (ob sie sich dies vorstellen können, ist eine andere Frage). Sie wissen auch, dass Elektronen nicht „rotieren“ und auch keine Teilchen im Sinne von relativ konstanten, individuellen Körpern sind (und nicht rund wie ein Planet, bei welchem die Kugelförmigkeit auch nur näherungsweise gilt).

Macht also die Planetenanalogie das Verständnis der atomaren Welt schwieriger oder leichter? Sie macht die atomare Welt zunächst einmal für das Verständnis von Schülern zugänglich. Langfristig aber verhindert die Analogie anscheinend für die Mehrzahl der Schüler ein grundsätzliches Verständnis der Andersartigkeit der Phänomene der atomaren Welt. Trotz der experimentellen Erfolge der Quantenphysik gilt also MACHS Grundsatzkritik am Atom bis heute: „Ham’s oans g’sehn?“

Nun stellt sich die Frage, ob die Bohrsche Analogie Auswirkungen auf die Physiker hat. Für MACH muss dies selbstverständlich so sein.⁸⁰ Das Modell (schon die Idee eines Atoms) hat als Gestalt eine intuitiv wirkende Konstanz, die die Anpassung des Modells an – dem Modell widersprechende – experimentelle Resultate und alternative Paradigmen verhindert. Dieser Prozess ist nicht bewusst steuerbar, wie z. B. PERROTT et al. (2005) gezeigt haben, aber er hat Auswirkungen auf wissenschaftliche Denkweisen, wie KUHN (z. B. 1957) dargelegt hat.

Aus Sicht der aktuellen Physik beschreibt z. B. WILCZEK (2002)⁸¹ eine weitere wichtige, aber intuitive Dimension von BOHRs Analogie. BOHR übernimmt von KEPLER nicht nur das Planetenmodell, sondern auch die „Musik der Sphären“. Diese stammt aus metaphysischen Spekulationen der Pythagoräer, welche aus dem ganzzahligen Verhältnis der Länge einer Seite zur musikalischen Harmonie auf eine mathematische Harmonie von Allem (im Sinne von „Alles ist Zahl“) geschlossen hatten. Die mathematische Symmetrie von Allem wurde verkörpert durch die als ideal angesehenen fünf platonischen Körper. Dies wurde zu KEPLERS Ausgangspunkt, seiner Urintuition der „Harmonie des Universums“, welche durch sein zuerst

78 Ginge man z. B. nach der Kritik von PAULI (siehe LAURIKAINEN 1989), würde die Antwort eindeutig „ja“ lauten. Nach PAULI ist nicht nur der Beobachter Teil des Systems, sondern auch dessen Psychologie (und nach MACH auch dessen Physiologie).

79 Diese Fehlinterpretation hat bis heute vieldiskutierte und ungeklärte Fragen in der Chemiedidaktik ausgelöst.

80 Siehe MACH 1892.

81 Ein weiteres Beispiel findet sich in BASS 2007 zum Begriff des „Spins“. BOHR hatte zur Veranschaulichung des Spins einen Stehaufkreisel zu einer Tagung mitgebracht, um das Phänomen, wie der Kreisel sich durch seine Drehung von seinem „dicken Bauch“ auf den „dünnen Stiel“ dreht, mit seinen Kollegen angeblich stundenlang zu diskutieren.

postuliertes „Nulltes Gesetz“ (*Zeroth Law*)⁸² ihm in einer Erleuchtung eingegeben worden war. Als KEPLER dann mit Tycho BRAHES Daten sein Gesetz überprüfen wollte, musste er es als empirisch gescheitert erklären. Auf diesem metaphysischen Misserfolg gründete KEPLER dann seine drei Gesetze, für die er heute bekannt ist.⁸³ BOHR „reinkarniert“ in seinem Atommodell nun im Wesentlichen nicht die drei Gesetze von KEPLER, sondern das „Nullte“. WILCZEK schreibt:

„the leitmotiv of Bohr’s model is unmistakably ‘Things are Number’. Through Bohr’s model, Kepler’s idea that the orbits that occur in nature are precisely those that embody a conceptual ideal emerged from its embers, reborn like a phoenix, after three hundred years’ quiescence. If anything, Bohr’s model conforms more closely to the Pythagorean ideal than Kepler’s, since its preferred orbits are defined by whole numbers rather than geometric constructions. Einstein responded with great empathy and enthusiasm, referring to Bohr’s work as ‘the highest form of musicality in the sphere of thought’.”⁸⁴

Die späteren Arbeiten von HEISENBERG und SCHRÖDINGER ersetzen zwar die intuitive Anschaulichkeit von BOHRs metaphysischer Idee durch mathematische Beschreibung, diese ist aber identisch zur mathematischen Beschreibung der Resonanz von Musikinstrumenten. KEPLERS Pythagoräische Idee ist denkökonomisch, allerdings in KEPLERS Fall zu einfach für eine adäquate Beschreibung des Planetensystems. Planetenbahnen entwickeln sich z. B. aus kleinen zufälligen Unregelmäßigkeiten, die über lange Zeiträume in selbstverstärkenden Prozessen große Wirkungen entfalten (wie oben im Übergang von Abbildung 1 zu Abbildung 2 gezeigt), oder aus seltenen Ereignissen (Kollisionen von Galaxien). Solche Systeme haben einen stark chaotischen Charakter, da sich die wesentlichen Prozesse außerhalb unseres anthropozentrischen Wahrnehmungsspektrums abspielen (also „klein“, „lange Zeiträume“, „selten“). Planetenbahnen müssen daher beobachtet werden, d. h., sie lassen sich nicht aus anderen, grundlegenden Beobachtungen logisch ableiten. WILCZEK beschreibt nun die Auswirkungen der Keplerschen „Musikdimension“ im Bohrschen Atommodell für die aktuelle Physik der Quantenelektrodynamik (QED) der Elektronen und der Quantenchromodynamik (QCD) des Atomkerns:

„Starting with precisely four numerical ingredients, which must be taken from experiment, QED and QCD cook up a concept-world of mathematical objects whose behavior matches, with remarkable accuracy, the behavior of real-world matter. These objects are vibratory wave patterns. Stable elements of reality – protons, atomic nuclei, atoms – correspond, not just metaphorically but with mathematical precision, to pure tones. Kepler would be pleased. [...] On the other hand, if we attempt to do justice to the properties of many exotic, short-lived particles discovered at high-energy accelerators, things get much more complicated and unsatisfactory. We have to add pinches of many new ingredients to our recipe, until it may seem that rather than deriving a wealth of insight from a small investment of facts, we are doing just the opposite. That’s the state of our knowledge of fundamental physics today – simultaneously triumphant, exciting, and a mess.”⁸⁵

82 Nach diesem Gesetz entsprechen die Abstände der fünf Planeten von der Sonne genau ein- und umgeschriebenen Kugeln zu den fünf platonischen Körpern.

83 Dieser Gedankenprozess wird sowohl von MACH (1905, S. 288/289) als auch von KUHN (1957, 1997, S. 219) als wissenschaftsphilosophisch interessantester Punkt bei KEPLER angesehen.

84 WILCZEK 2002, S. 144.

85 WILCZEK 2002, S. 146.

4.4 Die Analogie als Forschungsmethode nach Mach am Beispiel des psychophysiologischen, physikalischen und geometrischen Raumes

Folgt man den Gedanken MACHS, liegen die Anfänge des Analogiebegriffs in der Mathematik, wo die „klärende, vereinfachende, heuristische Funktion der Analogie sich deutlich offenbart hat“.⁸⁶ Zu dieser Funktion und deren Verwendung gibt MACH ein Beispiel bei der Frage nach dem Raum und der Zeit.⁸⁷ Bei der genetischen Herleitung von RIEMANN'S Idee der n-fachen Mannigfaltigkeit als „Idealisierung von Erfahrungen“ beginnt MACH mit der oben zitierten Aussage des Lehrers von RIEMANN, GAUSS, in dessen Brief an BESSEL. RIEMANN sucht daraufhin – ausgehend von GAUSS' Standpunkt über die Ursprünge der Geometrie – gezielt nach Analogien. Er findet, „dass die Orte der Sinnesgegenstände und die Farben wohl die einzigen Begriffe sind, deren Bestimmungsweisen eine mehrfache ausgedehnte Mannigfaltigkeit bilden“.⁸⁸

MACH führt nun RIEMANN'S Analogie aus und stellt fest, dass sie teilweise funktioniert. So entspricht dem System der Raumempfindungen (oben-unten, rechts-links, vorne-hinten) ein System der Farbempfindungen (schwarz-weiß, rot-grün, gelb-blau). Bei der Messung der Differenzen versagt die Analogie. Farbempfindungen können zwar inzwischen auf Farbskalen verglichen werden (wofür der Machianer Wilhelm OSTWALD die Pionierarbeit geleistet hat), aber bei weitem nicht mit derselben intersubjektivität (Objektivierung), wie die Metrik bei Raumempfindungen. MACH gibt zu bedenken, dass für manche geometrischen Begriffe (z. B. für „Entfernung“) durch das Versagen der Analogie für künftige Weiterentwicklungen der Idee die Erfahrungen fehlen. Somit wird die Idee beliebig und empirisch unscharf, d. h. auch die „Fruchtbarkeit und fördernde Kraft“⁸⁹ der Idee nimmt ab.⁹⁰

MACH nimmt an dieser Stelle sozusagen eine Analyse der Strukturübertragung⁹¹ vor, indem er alternative Analogien (Farb-, Zeit- und Tonempfindungen als analoge Mannigfaltigkeiten zur Raumempfindung) miteinander vergleicht bezüglich ihrer Wirksamkeit und Begrenzungen. MACH schließt daraus: „Analogien haben immer etwas Willkürliches, da es auf die Übereinstimmungen ankommt, auf die man die Aufmerksamkeit richtet.“⁹²

4.5 MACH'S Hinweise zum Ursprung des Zahlbegriffs

Nachdem MACH zunächst in seinen Artikeln über mathematische Themen sich stark auf die genetische Herleitung des Zahlbegriffs bei Moritz CANTOR berufen hat (z. B. MACH 1900), entwickelt er für *Erkenntnis und Irrtum* eine eigene Herleitung, die im Folgenden in Auszügen zitiert ist. Hierbei wird nochmals die in Abschnitt 2 bereits ausgeführte Kritik an der

86 MACH 1905, S. 221.

87 Siehe MACH 1905, S. 353ff.

88 RIEMANN 1867, zitiert nach MACH 1905, S. 353ff.

89 MACH 1905, S. 397.

90 Interessanterweise ist der von EINSTEIN verwendete Minkowski-Raum eine (einfache) Unterart einer verallgemeinerten Form der Riemannschen Mannigfaltigkeit. Dadurch entsteht einerseits wieder eine empirische „Fruchtbarkeit“ im MACH'Schen Sinne. Auf der anderen Seite stellen die durch die unvollständige Analogie auf der intuitiven Ebene entfernten empirischen Grundlagen jedoch ein offenkundiges Problem beim genetischen Verständnis der Relativitätstheorie (zumindest für nichtstudierte Physiker) dar.

91 Siehe HENTSCHEL in diesem Band.

92 MACH 1905, S. 393. Dies sei nur ein kurzer Anriss von MACH'S Analyse, die sich in der vollständigen Fassung in MACH 1905, S. 389ff., findet.

arithmetisch-logizistischen Sichtweise von GAUSS und seinen Nachfolgern aus der logizistischen Schule deutlich.

„Man bezeichnet die Zahlen oft als ‚freie Schöpfungen des menschlichen Geistes‘. Die Bewunderung des menschlichen Geistes, welche sich hierin ausspricht, ist sehr natürlich gegenüber dem fertigen, imposanten Bau der Arithmetik. Das Verständnis dieser Schöpfungen wird aber weit mehr gefördert, wenn man den *instinktiven Anfängen* derselben nachgeht und die Umstände betrachtet, welche das Bedürfnis nach diesen Schöpfungen erzeugten. Vielleicht kommt man dann zur Einsicht, dass die ersten hierher gehörigen Bildungen unbewusste und biologisch durch materielle Umstände *erzwungene* waren, deren Wert erst erkannt werden konnte, als sie schon vorhanden waren, und sich vielfach als nützlich bewährt hatten. Nur der an solchen einfacheren Bildungen geschulte Intellekt konnte sich allmählich zu freieren, bewussten, dem jeweiligen Bedürfnis rasch entsprechenden Erfindungen erheben.“⁹³

„Versuchen wir nun den *Ursprung der Zahlvorstellung* und des Zahlbegriffes aus dem unmittelbaren oder mittelbaren *biologischen* Bedürfnis psychologisch aufzuklären. Kinder, welche noch keinen Begriff vom Zählen haben, etwa im Alter von 2 bis 3 Jahren, merken es sofort, wenn man in einem unbewachten Moment aus einer kleinen Gruppe von gleichen Münzstücken oder Spielsachen etwas wegnimmt oder hinzutut. Gewiss ist auch schon das Tier durch sein biologisches Bedürfnis getrieben, kleine Gruppen von gleichen Früchten z. B. in Bezug auf ihren Gehalt zu unterscheiden, und die gehaltreichere Gruppe der anderen vorzuziehen. In dem Bedürfnis der feineren Ausbildung dieser Fähigkeit der Unterscheidung liegt der Ursprung des *Zahlbegriffes*.“⁹⁴

MACH führt diese Anfänge dann weiter aus:

„Verkehr und Handel, Kauf und Verkauf *fordern* die Entwicklung der Arithmetik. [...] Die materielle Umgebung ist also durchaus nicht so unschuldig an der Entwicklung der arithmetischen Begriffe, als man zuweilen annimmt. Würde die physische *Erfahrung* nicht lehren, *dass eine Vielheit äquivalenter, unveränderbarer, beständiger Dinge existiert*, würde das biologische Bedürfnis nicht dazu drängen, dieselben in Gruppen zusammenzufassen, so hätte das Zählen gar keinen Zweck und Sinn.“⁹⁵

5. Ausblick und die nächste Generation von Wissenschaftlern

MACH schreibt:

„Ich gestehe, dass ich als junger Student über jede Ableitung mit Symbolen, deren Bedeutung nicht ganz klar und anschaulich war, mich empörte. Das historische Studium ist aber wohl geeignet den Hang zur Mystik zu beseitigen, der durch die traumhafte Anwendung solcher Methoden leicht begünstigt und anerzogen wird, indem dasselbe den heuristischen Wert dieser Methoden kennen lehrt, und zugleich erkenntnistheoretisch aufklärt, *worin* die Hilfe, die sie leisten, besteht. Eine symbolische Darstellung einer Rechnungsoperati-

93 MACH 1905, S. 327.

94 MACH 1905, S. 323/324.

95 MACH 1905, S. 327–329.

on hat für den Mathematiker dieselbe Bedeutung, wie ein Modell oder eine anschauliche Arbeitshypothese für den Physiker. Das Symbol, das Modell, die Hypothese geht dem Darzustellenden parallel. Aber der Parallelismus kann weiter reichen, oder weiter geführt werden, als bei Wahl dieser Mittel ursprünglich beabsichtigt war. Indem das Dargestellte und das Darstellungsmittel doch *verschieden* ist, fällt an dem einen auf, was an dem anderen verborgen bleiben würde.“⁹⁶

So mag denn MACHS eigene Erfahrung als Student zunächst als Einzelfall erscheinen. Doch es gibt mittlerweile viele empirische Hinweise darauf, dass diese Überlegungen für Heranwachsende erhebliche Bedeutung haben und dass dies zu großen Problemen z. B. im mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterricht an den Schulen führt.⁹⁷

WILCZEK (2002) bestätigt MACHS Überlegungen auf der wissenschaftsphilosophischen Ebene bezüglich der Entwicklung wissenschaftlicher Urteilsfähigkeit auch für die heutige Physik (wobei sicherlich die Studenten des Nobelpreisträgers WILCZEK in den USA bereits eine Elite darstellen):

„All too often, we ignore goals, genres, or values, or we assume that they are so apparent that we do not bother to highlight them. Yet judgements about whether an exercise – a paper, a project, an essay response or an examination – has been done intelligently or stupidly are often difficult for students to fathom. And since these evaluations are not well understood, few if any lessons can be drawn from them. Laying out the criteria by which judgements of quality are made may not suffice in itself to improve quality, but in the absence of such clarification, we have little reason to expect our students to go about their work intelligently.“

Die Mathematik eröffnet erst den Zugang zu vielen wissenschaftlichen Studiengängen. Die Frage nach der Didaktik der Mathematik ist damit zentral geworden. Hans HAHN hat die damit zusammenhängenden Probleme so formuliert:

„Haben sich die Mathematiker seit den Tagen Euklids damit abgefunden, dass es zu ihrer Wissenschaft keinen *Königsweg* gibt, so darf doch andererseits der Zugang zu ihr nicht über die langwierigsten und halsbrecherischsten Hochgebirgspfade führen, so dass die Mehrzahl aller Beschreiter unterwegs scheitern müsste, die wenigen aber, denen es gelänge, deren Schwierigkeiten zu überwinden, zu Tode erschöpft ankämen, und zwar nicht am Ziele, sondern dort, wo nun die eigentliche Mathematik erst beginnen soll.“⁹⁸

Wissenschaftsphilosophie hat direkte Auswirkungen nicht nur darauf, wie Wissenschaft heute oder morgen betrieben wird. Sie hat ihre eigentlichen Auswirkungen in der Art und Weise, wie übermorgen die nächste Generation Wissenschaft betreiben wird.

96 MACH 1905, S. 396.

97 Siehe dazu SIEMSEN und SIEMSEN 2009, SIEMSEN 2010a.

98 HAHN 1919, 1988a, S. 68.

Dank

Hiermit möchte ich mich insbesondere bei Herrn Prof. Dr. Klaus HENTSCHEL und Herrn Prof. Dr. Fritz KRAFFT für ihr Beisteuern wichtiger Grundfragestellungen zu diesem Beitrag bedanken. Außerdem gebührt meinem Vater, Prof. Dr. Karl Hayo SIEMSEN der Dank für seine unermüdete Korrektur- und Diskussionsbereitschaft.

*Literatur*⁹⁹

- ARCHIMEDES: Werke. Darmstadt: Wissenschaftliche Buchgesellschaft 1972
- ASH, Mitchell Graham: Gestalt Psychology in German Culture 1890–1967. Holism and the Quest for Objectivity. Cambridge: University of Cambridge 1995
- ATTNEAVE, Fred: Some informational aspects of visual perception. *Psychological Review* 61/3, 183–193 (1954)
- AVENARIUS, Richard: Der menschliche Weltbegriff. Leipzig: Elibron Classics 1891/2005
- BASS, Steven D.: How does the proton spin? *Science* 315/5819, 1672–1673 (2007)
- BERNAYS, Paul: Bemerkungen zu der Betrachtung von Alexander Wittenberg: Über adequate Problemstellung in der mathematischen Grundlagenforschung. *Dialectica* 8/2, 147–151 (1954)
- BETH, Evert Willem, and PIAGET, Jean: *Mathematical Epistemology and Psychology*. Dordrecht: Reidel 1966
- BINET, Alfred: *The Mind and the Brain*. London: Kegan 1907
- BLACKMORE, John, und HENTSCHEL, Klaus: *Ernst Mach als Aussenseiter*. Wien: Braumüller 1985
- BORING, Edwin G.: *A History of Experimental Psychology*. Englewood Cliffs: Prentice Hall 1950, 1957
- BRANSFORD, John D., BROWN, A. L., and COCKING, R. R. (Eds.): *How People Learn: Brain, Mind, Experience, and School*. Washington (D.C.): National Academy Press 1999
- BRUNER, Jerome S.: *On Knowing. Essays for the Left Hand*. New York: Atheneum 1962, 1969
- BRUNER, Jerome S.: *Toward a Theory of Instruction*. New York: Norton 1968
- BRUNER, Jerome S.: *Acts of Meaning*. Cambridge: Harvard University Press 1990, 2000
- BRUNSWIK, Egon: “Ratiomorphic” models of perception and thinking. *Acta Psychol.* 11, 108–109 (1955)
- BÜHLER, Karl: *Die Krise der Psychologie*. Frankfurt (Main): Ullstein, 1927, 1929, 1978
- BUNGE, Mario: *Analogy in quantum theory: From insight to nonsense*. *British Journal for the Philosophy of Science* 18, 265–286 (1967)
- CARTER, Rita: *Mapping the Mind*. London: Phoenix 1998, 2002
- CARTER, Rita: *Exploring Consciousness*. Berkeley: University of California 2002
- CASSIRER, Ernst: *Philosophie der symbolischen Formen*. (Bd. 1: Die Sprache, 1923; Bd. 2: Das mythische Denken, 1925; Bd. 3: Phänomenologie der Erkenntnis, 1929)
- CSIKSZENTMIHALYI, Mihály: *Flow. The Psychology of Optimal Experience*. New York: Harper 1990
- COHEN, Robert S.: Ernst Mach: Physics, perception and the philosophy of science. *Synthese* 18/2–3, 132–170 (1968)
- COLE, Michael: *Bruner and Hybridity*. Talk Presented at the Meeting of the American Anthropological Association. San Francisco, Nov. 17th 2000
- CORNFORD, Francis MacDonald: *From Religion to Philosophy. A Study in the Origins of Western Speculation*. Minneola: Dover 1912, 2004
- DARWIN, Charles: *Die Entstehung der Arten*. Stuttgart: Reclam 1859, 1989
- DEPAULI-SCHIMANOVICH, W., KÖHLER, E., and STADLER, Friedrich (Eds.): *The Foundational Debate. Complexity and Constructivity in Mathematics and Physics*. Dordrecht: Kluwer 1995
- DUHEM, Pierre: *Sozein ta Phainomena*. In: ARIEW, R., and BAKER, P. (Eds.): *Essays in the History and Philosophy of Science*. Indianapolis, Cambridge: Hackett 1908, 1996
- ELIADE, Mircea: *Kosmos und Geschichte*. Düsseldorf: Rowohlt 1949, 1966
- ELIADE, Mircea: *Geschichte der religiösen Ideen*. Bd. 1. Freiburg: Herder 1975, 2002
- ELIADE, Mircea: *Geschichte der religiösen Ideen*. Bd. 2. Freiburg: Herder 1978, 2002
- FREGE, Gottlob: *Die Grundlagen der Arithmetik*. Stuttgart: Reclam 1884, 2005
- FREGE, Gottlob: *Logische Untersuchungen. Dritter Teil: Gedankengefüge*. *Beiträge zur Philosophie des Deutschen Idealismus III*, S. 36–51 (1923)
- FREUDENTHAL, Hans: *Didactical Phenomenology of Mathematical Structures*. Dordrecht: Reidel 1983

99 Anmerkung: Um Auflagenverwechslungen bei Zitaten zu vermeiden sind im Text und im Literaturverzeichnis gegebenenfalls mehrere Auflagen genannt (erste A. / letzte veränderte A. / zitierte A.). Bei Mach z. B. sind die Veränderungen zwischen den Auflagen zum Teil erheblich.

- FRITH, Christopher D.: The self in action: Lessons from delusions of control. *Consciousness and Cognition* 14, 752–770 (2005)
- GABRIEL, G., KAMBARTEL, F., und THIEL, C. (Hrsg.): Gottlob Freges Briefwechsel mit D. Hilbert, E. Husserl, B. Russel, sowie ausgewählte Einzelbriefe Freges. Hamburg: Meiner 1980
- GENTNER, Dedre: Structure-mapping: A theoretical framework for analogy. *Cognitive Science* 7, 155–170 (1983)
- GIGERENZER, Gerd: Das Einmaleins der Skepsis. Berlin: Berliner Taschenbuch Verlag 2002, 2005
- HAGGARD, Patrick, CARTLEDEGE, P., DAFYDD, M., and OAKLEY, D. A.: Anomalous control: When 'free-will' is not conscious. *Consciousness and Cognition* 13, 646–654 (2004)
- HAHN, Hans: Besprechung von Alfred Pringsheim: Vorlesungen über Zahlen- und Funktionslehre. 1919. In: MCGUINNESS, Brian (Hrsg.): *Empirismus, Logik, Mathematik*. S. 66–85. Frankfurt (Main): Suhrkamp 1988a
- HAHN, Hans: Die Krise der Anschauung. 1933. In: MCGUINNESS, Brian (Hrsg.): *Empirismus, Logik, Mathematik*. S. 86–114. Frankfurt (Main): Suhrkamp 1988b
- HELLER, K. D.: Ernst Mach: Wegbereiter der modernen Physik. Wien, New York: Springer 1964
- HERING, Ewald: Über die spezifischen Energien des Nervensystems. Neudruck, Amsterdam: Bonseth 1884, 1969
- HOLTON, Gerald: Ernst Mach and the fortunes of positivism in America. *Isis* 83/1, 27–60 (1992)
- JAMES, William: Does "consciousness" exist? In: MCDERMOTT, John J. (Ed.): *The Writings of William James – A Comprehensive Edition*; pp. 169–183. Chicago: University of Chicago Press 1904, 1967, 1977
- KAILA, Eino: Der Logistische Neupositivismus – Eine Kritische Studie. Turku: *Anales Universitatis Aboensis Serie B/XIII* 1930
- KAUFFMAN, Stuart: *Investigations*. New York: Oxford University Press 2000
- KOLÁRVÁ, E.: John Amos Comenius and the theatre. In: PESKOVA, J., CACH, J., and SVATOS, M. (Eds.): *Homage to J. A. Comenius*; pp. 235–242. Prag 1991
- KOSELLECK, Reinhart: *Zeitschichten. Studien zur Historik*. Frankfurt (Main): Suhrkamp 2003
- KRAFFT, Fritz: Der Mathematiker und der Physiker. Bemerkungen zu der angeblichen Platonischen Aufgabe, die Phänomene zu retten. *Beiträge zur Geschichte der Wissenschaft und der Technik* 5, 5–24 (1964). Wiesbaden: F. Steiner 1965
- KUHN, Thomas S.: *The Copernican Revolution. Planetary Astronomy in the Development of Western Thought*. Cambridge: Harvard University Press 1957, 1997
- LAKOFF, George, and JOHNSON, Mark: *Philosophy in the Flesh. The Embodied Mind and Its Challenge to Western Thought*. New York: Basic Books 1999
- LAURIKAINEN, Kalervo V.: *Beyond the Atom: The Philosophical Thought of Wolfgang Pauli*. Berlin: Springer 1989
- LORENZ, Konrad: Gestaltwahrnehmung als Quelle wissenschaftlicher Erkenntnis. In: *Vom Weltbild des Verhaltensforschers*. München: dtv 1959, 1968
- MACH, Ernst: Facts and mental symbols. *The Monist* 2/2 (1892), APS Online pg. 198
- MACH, Ernst: Names and Numbers. *The Open Court* 14/524 Januar (1900), APS Online pg. 37
- MACH, Ernst: Erkenntnis und Irrtum: Skizzen zur Psychologie der Forschung. 5. Aufl. Leipzig. Neudruck durch Berlin, Düsseldorf: rePRINT, 1905, 1926, 2002. [Zitierte Seitenzahlen beziehen sich auf die Ausgabe von 1926.]
- MACH, Ernst: Die Leitgedanken meiner naturwissenschaftlichen Erkenntnislehre und ihre Aufnahme durch die Zeitgenossen. In: *Zwei Aufsätze von Ernst Mach*. Leipzig: Wirth 1910, 1919
- MACH, Ernst: *Populärwissenschaftliche Vorlesungen*. 5. Aufl. Wien, Köln, Graz: Böhlau, 1923, 1987
- MANDLER, George: From association to structure. *Psychological Review* 69/5, 415–427 (1962)
- MANIER, Daniel, APETROAIA, I., PAPPAS, Z., and HIRST, W.: Implicit contributions of context to recognition. *Consciousness and Cognition* 13, 471–483 (2004)
- MARKMAN, Arthur B., and GENTNER, Dedre: Thinking. *Annual Review of Psychology* 52, 223–247 (2001)
- MARKMAN, Arthur B., and GENTNER, Dedre: Nonintentional similarity processing. In: HASSIN, T., BARGH, J., und ULEMAN, J. (Eds.): *The New Unconscious*; pp. 107–137. New York 2005
- MENGER, Karl: Gulliver in the land without one, two, three. *The Mathematical Gazette* 43, 241–250 (1959)
- MILLER, George A.: The magical number seven, plus or minus two: some limits on our capacity for processing information. *Psychological Review* 63/2, 81–97 (1956)
- MÜNSTERBERG, Hugo, RIBOT, T., JANET, P., JASTROW J., HART, B., and PRINCE, M.: *Subconscious Phenomena*. London: Rebman 1910
- OESER, E.: Hans Hahn and the foundational debate. In: DEPAULI-SCHIMANOVICH, W., KÖHLER, E., and STADLER, Friedrich (Eds.): *The Foundational Debate. Complexity and Constructivity in Mathematics and Physics*. Dordrecht 1995

- PEARSON, Karl: *The Grammar of Science. Part I: Physical*. 3. Auflage, London: Black 1911 [Anmerkung: Die betreffenden Zitate sind nur in der 3. Auflage zu finden und in späteren Editionen oft nur als Zusammenfassung enthalten.]
- PERROTT, David A., GENTNER, Dedre, and BODENHAUSEN, Galen V.: Resistance is futile: The unwitting insertion of analogical inferences in memory. *Psychological Bulletin & Review* 12/4, 696–702 (2005)
- PLANCK, Max: Die Einheit des Physikalischen Weltbildes. (1908) In: HEILBRONN, J. L. (Hrsg.): *Max Planck. Ein Leben für die Wissenschaft 1858–1947*. Stuttgart: Hirzel 1988a
- PLANCK, Max: Zur Machschen Theorie der Physikalischen Erkenntnis. Eine Erwiderung. (1910) In: HEILBRONN, J. L. (Hrsg.): *Max Planck. Ein Leben für die Wissenschaft 1858–1947*. Stuttgart: Hirzel 1988b
- PLANCK, Max: Der Kausalbegriff in der Physik. (1932) In: HEILBRONN, J. L. (Hrsg.): *Max Planck. Ein Leben für die Wissenschaft 1858–1947*. Stuttgart: Hirzel 1988c
- POINCARÉ, Henri: La relativité de l'espace. *L'Année Psychologique* XIII, 1–17 (1906)
- POINCARÉ, Henri: L'invention mathématique. *L'Année Psychologique* XV, 445–459 (1908)
- POINCARÉ, Henri: *Science and Method*. New York: Dover Publications 1908, 2003
- RAMACHANDRAN, Vilayanur: *Eine kurze Reise durch Geist und Gehirn*. Reinbek: Rowohlt 2003, 2005
- RIEMANN, Bernhard: *Über die Hypothesen, welche der Geometrie zu Grunde liegen*. Göttingen 1867
- SCHACK, Thomas: The cognitive architecture of complex movement. *International Journal of Sport and Exercise Psychology, Special Issue Part II: The Construction of Action – New Perspectives in Movement Science* 2/4, 403–438 (2004)
- SHANNON, Claude Elwood: Prediction and entropy of printed english. *Bell Systems Technology Journal* 30, 50–64 (1951)
- SIEMSEN, Hayo: Elite für Alle. Der Bildungsvisionär Alexander Israel Wittenberg. *Kultur & Technik* 1 (2008)
- SIEMSEN, Hayo: Conceptual adaptation: Bridging spatial and temporal relations through cognitive wormholes. In: ALBERT, Mathias, BLUHM, Gesa, HELMIG, Jan, LEUTZSCH, Andreas, and WALTER, Jochen (Eds.): *Transnational Political Spaces Agents – Structures Encounters*; pp. 264–296. Frankfurt (Main): Campus 2009
- SIEMSEN, Hayo: Ernst Mach and genetic epistemology in Finnish science education. *Sciences & Education* (published online October 2010) (2010a)
- SIEMSEN, Hayo: The Mach-Planck debate revisited: Democratization of science or elite knowledge? *Public Understanding of Science* 19/3, 293–310 (2010b)
- SIEMSEN, Hayo: Alfred Binet – Ernst Mach. Similarities, differences and influences. *Revue Recherches & Éducatives* 3, 351–403 (2010c)
- SIEMSEN, Hayo: Intuition in the scientific process and the intuitive “error” of science. In: COLUMBUS, Alexandra M. (Ed.): *Advances in Psychological Research* Vol. 72, pp. 1–62. Hauppauge: Nova Science 2010d
- SIEMSEN, Hayo, and SIEMSEN, Karl Hayo: Resettling the Thoughts of Ernst Mach and the Vienna Circle to Europe – The Cases of Finland and Germany. *Science & Education* 18/3, 299–323 (2009)
- SIMON, Herbert A.: Theories of decision-making in economics and behavioral science. *The American Economic Review* 49/3, 253–283 (1959)
- STADLER, Friedrich: *Studien zum Wiener Kreis. Ursprung, Entwicklung und Wirkung des Logischen Empirismus im Kontext*. Frankfurt (Main): Suhrkamp 1997
- STERN, William: *Psychologie der frühen Kindheit bis zum sechsten Lebensjahre*. Leipzig: Quelle & Meyer 1923, 1927
- THIELE, Joachim: *Wissenschaftliche Kommunikation: Die Korrespondenz Ernst Machs*. Kastellaun: A. Henn 1978
- TOOBY, John, and COSMIDES, Leda: The psychological foundations of culture. In: BARKOW, J. H., COSMIDES, Leda, and TOOBY, John (Eds.): *The Adapted Mind*. New York, Oxford: Oxford University Press 1992
- WERTHEIMER, Max: Über das Denken der Naturvölker I: Zahlen und Zahlgebilde. *Zeitschrift für Psychologie* 60, 321–378 (1912)
- WILCZEK, Frank A.: On the world's numerical recipe. *Daedalus* 131/1, 142–147 (2002)
- WILCZEK, Frank A.: Total Relativity: Mach 2004. *Physics Today* April, 10–11 (2004)
- WITTENBERG, Alexander Israel: Über adequate Problemstellung in der mathematischen Grundlagenforschung. *Dialectica* 7/3, 232–254 (1953)
- WITTENBERG, Alexander Israel: Über adequate Problemstellung in der mathematischen Grundlagenforschung. Eine Antwort. *Dialectica* 8/2, 152–157 (1954)

WITTENBERG, Alexander Israel: Vom Denken in Begriffen. Mathematik als Experiment des reinen Denkens. Basel, Stuttgart: Birkhäuser 1957

WITTENBERG, Alexander Israel: May Philosophy of Science Preach Empiricism and Practice Apriorism? *Dialectica* 16/1 (1962). Vortrag gehalten in Sektion 4 des „International Congress for the Philosophy of Science“, Stanford 1960

WITTENBERG, Alexander Israel: Bildung und Mathematik. Stuttgart: Klett 1963, 1990

ZILSEL, Edgar: Die sozialen Ursprünge der neuzeitlichen Wissenschaft. Hrsg. von Wolfgang KROHN. Frankfurt (Main): Suhrkamp 1976

Dr. Dipl.-Kfm. Hayo SIEMSEN
Fasanenweg 18
66787 Wadgassen
Bundesrepublik Deutschland
E-Mail: hayo.siemsen@gmail.com

4. Teil:
Analogien in Querschnittsdisziplinen

Analogien und mathematisches Denken

Eberhard KNOBLOCH ML, Berlin

Mit 6 Abbildungen

Zusammenfassung

Fünf Fallstudien zeigen die Verwendung von Analogien im mathematischen Denken auf. (1.) ARCHIMEDES übertrug Strukturen zwischen verschiedenen dimensionierten geometrischen Objekten bzw. zwischen Größen und Nichtgrößen. (2.) CLAVIUS linearisierte ein Flächenteilungsproblem, um eine allgemeine Theorie der Flächenteilung zu entwickeln. (3.) KEPLER verwandte Analogien, um Zusammenhänge zwischen scheinbar völlig unterschiedlichen Fällen herzustellen. (4.) LEIBNIZ übertrug die Regeln des Endlichen auf das Unendliche. Er quantifizierte Nichtgrößen. (5.) Auch EULER übertrug die Strukturen des Endlichen auf das Unendliche, freilich mit unterschiedlichem Erfolg.

Abstract

Five case studies reveal the use of analogies in mathematical thinking. (1.) ARCHIMEDES transferred structures between geometrical objects of different dimensions or between quantities and non-quantities. (2.) CLAVIUS linearized a problem of dividing areas in order to elaborate a general theory of dividing areas. (3.) KEPLER used analogies in order to show the connections between seemingly completely different cases. (4.) LEIBNIZ transferred the rules of the finite to the infinite. He quantified non-quantities. (5.) EULER, too, transferred the structures of the finite to the infinite, though with various successes.

Einleitung

VITRUV (1. Jh. v. Chr.), der römische Architekturtheoretiker, überliefert uns die berühmte Geschichte, wie ARCHIMEDES (287–212 v. Chr.) den Betrug des Goldschmiedes gegenüber König HIERON VON SYRAKUS (ca. 306–215 v. Chr.) aufgedeckt hat:

„Obwohl es aber viele bewundernswerte und vielfältige Erfindungen des ARCHIMEDES gab, scheint mir nämlich unter allen diejenige, die ich darlegen will, durch unendliche Geschicklichkeit zustande gekommen zu sein.“¹

ARCHIMEDES bemerkte, dass ein Körper so viel Wasser verdrängte, wie seinem Körpervolumen entsprach.

„Er sprang von Freude angetrieben aus der Badewanne, lief nackt nach Hause gewandt und verkündete mit lauter Stimme gefunden zu haben, was er suchte.“²

1 VITRUV, *De architectura* IX, Vorrede.

2 Ebenda.

„Eine Kugel ist einem Kegel gleich, dessen Grundfläche der Oberfläche der Kugel, dessen Höhe dem Radius der Kugel gleich ist.“

$$V_{\text{Kugel}} = V_{\text{Kegel } 1}$$

ARCHIMEDES hat den Satz in seiner Schrift *Über Kugel und Zylinder*⁴ bewiesen: Er gilt allgemeiner für jedes Kugelsegment und jeden zugehörigen Teil der Kugeloberfläche. Entscheidend ist seine dreifache Analogie:

- Die Kreisfläche wird zum Kugelvolumen,
- die Dreiecksfläche wird zum Kegelvolumen,
- die Begrenzung (Kreisumfang) wird zur Kugeloberfläche.

Die Dimension wird bei der Strukturübertragung je um Eins erhöht. Sollte der Satz richtig sein, so benötigte ARCHIMEDES das Maß der Kugeloberfläche. Nun wusste er:

„Der Inhalt der Kugel ist viermal so groß wie der eines Kegels, dessen Grundfläche gleich der Fläche des größten Kugelkreises und dessen Höhe gleich dem Radius der Kugel ist.“⁵

$$V_{\text{Kugel}} = 4 \times V_{\text{Kegel } 2}$$

Die beiden Gleichungen zum Kugelvolumen unterscheiden sich rechts nur um den Faktor 4. Der Radius der Kugel, d. h. die Höhe des Kegels, ist derselbe. Demnach muss der Faktor in die Größe der Grundfläche des Kegels 1 eingehen, die mit der Oberfläche der Kugel übereinstimmt. Wenn der vermutete, noch nicht bewiesene Satz richtig sein sollte, dann müsste die Oberfläche der Kugel viermal so groß wie die Fläche eines größten Kugelkreises sein. ARCHIMEDES beweist diesen richtigen Satz als Satz I, 33 der Schrift *Über Kugel und Zylinder*. Der durch Analogie gewonnene Satz I, 44 hatte Voraussagekraft, hatte seinerseits heuristische Kraft.

1.2 Die archimedische Indivisiblenmethode

ARISTOTELES (384–323 v. Chr.) hatte in der *Metaphysik* (V, 13) den Begriff der Größe (*posón*) erklärt:

„*posón* heißt das, was in die in ihm enthaltenen Teile geteilt werden kann (*diaretón*). Davon gibt es zwei Arten. *plēthos* ist eine Menge, die gezählt werden kann (*arithmētón*), *mégēthos* ist eine Größe, die gemessen werden kann (*metrētón*).“⁶

Stets spricht ARISTOTELES im Modus der Möglichkeit, auch bei der Charakterisierung des Kontinuums: Es kann immer weiter geteilt werden. Dementsprechend heißt es bei EUKLID (um 300 v. Chr.):

„Dass sie ein Verhältnis zueinander haben, sagt man von Größen, die vervielfältigt einander übertreffen können.“⁷

4 Satz I, 44.

5 *Über Kugel und Zylinder* I, 34.

6 ARISTOTELES, *Metaphysik* V, 13.

7 *Elemente* V, Definition 4.

ARISTARCH (ca. 320–250 v. Chr.) hatte, wie ARCHIMEDES in seiner *Sandzahl* (I, 5f.) berichtet, die Fixsternsphäre als so groß beschrieben, dass sich die Peripherie der Erdbahn zum Abstand der Fixsterne wie der Mittelpunkt (*kéntron*) der Kugel zu deren Oberfläche verhalte. ARCHIMEDES wies diese Bemerkung zurück, da (gemäß der aristotelischen Größenlehre) der Mittelpunkt keine Größe hat, ein Verhältnis zu ihm also nicht bestehen kann.

Er selbst hatte als fünfte Annahme (*perilambanómenon*) sein später nach ihm benanntes Maßaxiom formuliert:

„Von den ungleichen Strecken und den ungleichen Flächen und den ungleichen Körpern überragt das Größere das Kleinere um soviel, dass dies, zu sich selbst aneinandergesetzt, in der Lage ist, jedes Vorgesetzte der beiden aufeinander Bezogenen zu übertreffen.“⁸

In der *Éphodos* erlaubt sich ARCHIMEDES eine gewagte Analogie. Er überträgt die Struktur der Größen auf Nichtgrößen: Eine Grenzüberschreitung im Bewusstsein, dass die Nichtgrößen die bisherigen Regeln für Größen nicht befolgen. Er verhielt sich, *als ob* dies dennoch der Fall war. Seine Methode (*trópos*) in der *Éphodos* bestand darin, mittels Schwerpunktlehre und Statik Schnitte von Flächen oder Körpern, Indivisiblen, also Nichtgrößen, gegeneinander aufzuwiegen, „Betrachtungen mittels mechanischer Begriffe“ (*theorein dià tōn mechanikōn*) anzustellen, an anderer Stelle die so gewonnenen Ergebnisse „geometrisch zu beweisen“ (*geometrikōs apodeiknūnai*). Die Objekte sind Schnitte, also keine Infinitesimalen, sondern Indivisiblen. Zwischen diesen Indivisiblen und den geschnittenen Größen besteht kein Verhältnis. Dennoch sagt ARCHIMEDES gemäß seiner Analogie:

„das Dreieck besteht (*synésteke*) aus den Strecken“,
„die Kreise füllen (*symplēroun*) den Zylinder“⁹

Von einer Summation von unendlich vielen Linien sprach ARCHIMEDES nicht, konnte er nach dem Gesagten im Gegensatz zu jüngst gemachten Behauptungen auch nicht sprechen.¹⁰ Tatsächlich beging er wissentlich ein dreifaches Sakrileg:

- Er verletzte methodische Vorschriften (Vermischung von Mechanik und Geometrie).
- Er verwandte nichtmathematische Objekte (Nichtgrößen).
- Er verletzte das nach ihm benannte Axiom.

Und er ersetzte den Modus der Möglichkeit durch aktuell vollzogenes Tun (*symplēroun*).

2. Verallgemeinerungen und Vereinfachungen: Clavius

Ein besonders schönes Beispiel, wie Denken in Analogien zu einer wesentlichen Verallgemeinerung bisheriger Erkenntnisse führen kann, ist die Flächenteilungstheorie von Christoph CLAVIUS (1538–1612). Sie beruhte auf Ideen von Simon STEVIN (1548–1620).¹¹ Verallgemeinern war neben kritischer Bewertung und Verbesserung der Ergebnisse seiner Vorgänger eines seiner erklärten Ziele, als CLAVIUS seine mathematischen Lehrbücher verfasste. Dies setzte freilich seine Fähigkeit voraus, die Möglichkeit dazu an der entscheidenden Stelle zu

8 *Über Kugel und Zylinder*, Postulat 5.

9 *Éphodos* ed. Heidelberg 64r col.2, 58r col. 1.

10 NETZ und NOEL 2008, S. 188.

11 CLAVIUS 1604, S. 147–157.

erkennen und dadurch eine Strukturübertragung im Sinne GENTNERS vorzunehmen. Nach EUKLID *Elemente VI*, 1 gilt:

„Teilt man das Dreieck ABC durch eine Linie AD, so verhalten sich die Teilflächen F_1 , F_2 zueinander wie die Linienabschnitte BD, DC.“

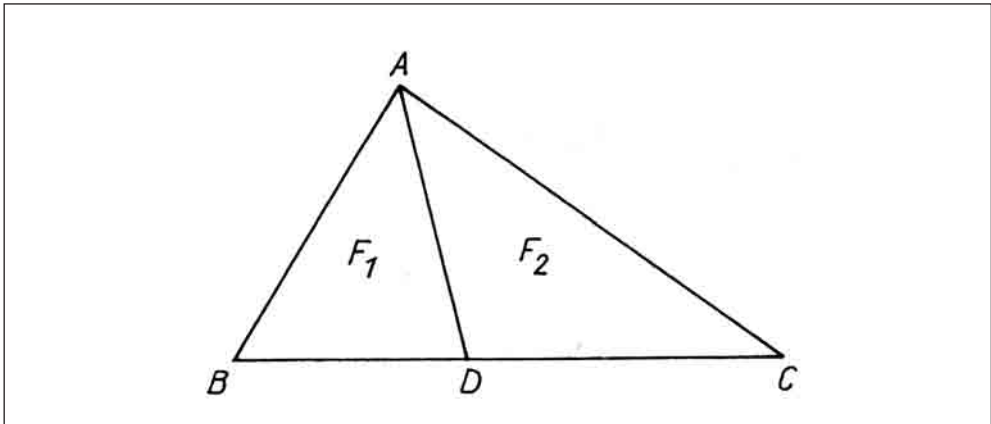


Abb. 2 Teilung eines Dreiecks nach EUKLID

So einfach der Sachverhalt ist, so zieht er doch einen entscheidenden Vorteil nach sich: Das zweidimensionale Flächenproblem wird linearisiert, wenn der Satz zur Lösung des Teilungsproblems herangezogen wird, denn Dreiecke (und Parallelogramme) mit gleicher Höhe verhalten sich danach zueinander wie ihre Basen.

Diesen Aspekt erkannte und verwandte CLAVIUS, um – anders als seine Vorgänger – eine allgemeine Teilungstheorie von Polygonflächen zu entwickeln. Tatsächlich war in der ebenen Geometrie das Polygon die natürliche Verallgemeinerung des Dreiecks.¹²

CLAVIUS löste zunächst nur folgende Aufgaben in seiner Euklid-Ausgabe: Man teile ein Dreieck in einem gegebenen Verhältnis durch eine Gerade, die durch einen Seitenpunkt D geht.



Abb. 3 Teilung eines Dreiecks nach CLAVIUS

¹² POLYA 1954, S. 37.

Die Lösung besteht in drei Schritten:

- (1.) F teile die Basis BC in gegebenem Verhältnis (Linearisierung nach *Elemente* VI, 1).
- (2.) Die Parallele zu AD durch F schneide AC in G.
- (3.) DG ist die gesuchte Transversale (Beweis mittels Scherung).

Wiederum liegt in dieser einfachen Aufgabe der Keim zu einer Verallgemeinerung, die STEVIN im Anschluss an CLAVIUS bemerkt hat. Die Situation ist neu zu interpretieren:

- (1.) Man trianguliert von D aus das Polygon (Dreieck).
- (2.) Man teilt das Dreieck DAC von D aus in dem Verhältnis, in dem DC geteilt wird (Linearisierung wird rückgängig gemacht).

Wir werden auf diesen Schritt zurückkommen. Die Vorgänger von CLAVIUS, LEONARDO VON PISA, MOHAMMED AUS BAGDAD, Frederico COMMANDINO hatten sich in ermüdender Weise hintereinander Drei-, Vier-, Fünf-, Sechs-, Siebenecke vorgenommen, um immer wieder von neuem das Problem zu lösen, solche Polygone in einem gegebenen Verhältnis zu teilen. Die Teilungsgerade sollte dabei besonderen Bedingungen genügen:

- (1.) Sie sollte entweder durch eine Ecke oder einen beliebigen Punkt einer Polygonseite gehen.
- (2.) Oder sie sollte zu einer Polygonseite parallel sein.

Konstitutiv für die allgemeine Teilungstheorie sind ein Satz und eine Konstruktion, deren Richtigkeit bzw. Möglichkeit CLAVIUS – im Gegensatz zu STEVIN – in allen Einzelheiten in seiner *Geometria practica* zeigte, und zwar nunmehr seinerseits angeregt durch STEVINS *Problemata geometrica*. Hier mag deren Kenntnis reichen, um das folgende mathematisch rechtfertigen zu können:

Satz über zwei zu einander proportional zerlegbare Größen: Eine Größe G_1 sei in n Teile zerlegt, eine zweite Größe G_2 ebenfalls in n Teile, die zu den anderen n Teilen in derselben Reihenfolge wie jene proportional seien.

- (1.) Fasst man eine beliebige Anzahl von r Teilen von G_1 zusammen, so hat diese Zusammenfassung zu allen übrigen $n - r$ Teilen insgesamt dasselbe Verhältnis wie die entsprechenden r Teile von G_2 insgesamt zu den entsprechenden $n - r$ restlichen Teilen insgesamt.
- (2.) Ein beliebiger Teil T von G_1 werde in einem beliebigen Verhältnis in zwei Teile geteilt, der T entsprechende Teil von G_2 werde in demselben Verhältnis geteilt. Dann werden beide Größen G_1 , G_2 insgesamt durch die beiden neuen Teilungspunkte in demselben Verhältnis geteilt.

2.1 Konstruktion eines Trapezes

Man konstruiere zu einem gegebenen Polygon ein flächengleiches Trapez mit vorgegebener Grundseite. Die Verallgemeinerung des Teilungsproblems mittels Analogie betrifft:

- die Figuren: Anzahl und Größen der Winkel sind beliebig, auch nichtkonvexe Punktmen-gen sind zugelassen;
- die Probleme: Das Verhältnis der Figurenteile zueinander ist beliebig, alle Punkte des Polygonzuges, durch die die schneidende Gerade verlaufen soll, sind gleichberechtigt (die Ecken sind nur Spezialfälle der Seitenpunkte);
- die Lösungsmethode: Sie umfasst zwei Hauptfälle:

- (1.) Die Transversale geht durch einen Punkt des Polygonzuges. Die Lösung stützt sich auf eine Triangulation des Polygons und Sätze der Proportionentheorie.
- (2.) Die Transversale ist zu einer gegebenen Geraden parallel, die eine Polygonseite sein kann, aber nicht muss. Die Lösung stützt sich auf die Konstruktion eines Trapezes, das so groß wie eine gegebene gradlinige Figur ist.

Danach können wir den ersten Hauptfall lösen. Die Lösung besteht aus vier Schritten:

- (1.) Triangulation
Das Polygon wird trianguliert. Dabei wird vorausgesetzt, dass dies so geschehen kann, dass jedes so entstehende Einzeldreieck mindestens eine Seite mit dem Polygon gemeinsam hat.
- (2.) Linearisierung
Die Flächenmaßzahlen der Einzeldreiecke dienen zu einer entsprechenden proportionalen Teilung einer Gesamtstrecke.
- (3.) Teilung der Gesamtstrecke
Die Gesamtstrecke wird im gegebenen Verhältnis geteilt. Im Allgemeinen wird dies zur Teilung eines, etwa des r -ten Streckensegments, führen (im Sonderfall geht die Teilung durch den Anfangs- bzw. Endpunkt einer Strecke).
- (4.) Teilung des Polygons
In dem triangulierten Polygon wird das r -te Dreieck in dem Verhältnis geteilt, in dem das r -te Streckensegment geteilt wurde. Dazu wird die mit dem Polygon gemeinsame Seite (siehe erster Schritt) geteilt. Der Satz EUKLID *Elemente* VI, 1, wird also umgekehrt, die Linearisierung rückgängig gemacht.

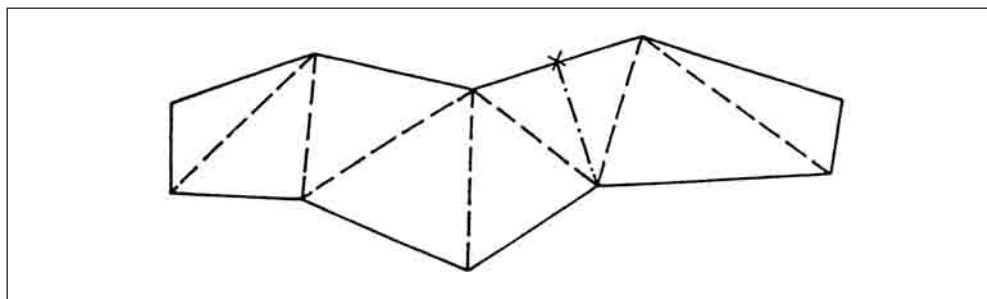


Abb. 4 Teilung des Polygons nach EUKLID

Nur wenn es die im ersten Schritt geforderte gemeinsame Seite von Einzeldreieck und Polygonzug gibt, führt die Teilung des Teildreiecks zu der gewünschten Teilung des gesamten, triangulierten Polygons. Tatsächlich braucht diese Voraussetzung im Falle nichtkonvexer Polygone nicht erfüllt zu sein. Die vorgestellte Methode versagt dann, obwohl auch ein solches Polygon in einem vorgegebenen Verhältnis geteilt werden kann, ein Fall, den CLAVIUS nicht erwähnt. Entscheidend ist, dass GENTNERS *structure-mapping* zwischen den zueinander in Analogie gesetzten Bereichen Dreieck – Streckensegmente in beiden Richtungen durchgeführt wird.

Auch der zweite Hauptfall der Polygonteilung (Transversale parallel zu einer Polygonseite) stützt sich auf eine Linearisierung. Die Teilung eines Quadrates wird auf die Teilung einer Seite zurückgeführt, bietet aber gegenüber dem ersten Hauptfall für die vorliegende Thematik

nichts wesentlich Neues und soll deshalb hier nicht weiter erörtert werden.¹³ Das Ergebnis bestätigt jedenfalls eindrucksvoll Hermann WEYLS (1885–1955) Feststellung: „Eine natürliche Verallgemeinerung führt zu einer Vereinfachung.“¹⁴

3. Platonische Zusammenhänge und Induktion (Semantik I): Kepler

Von überragender Bedeutung waren Analogien für Johannes KEPLER (1571–1630). Er war sozusagen deren Hohepriester. Sie erlaubten ihm, das Gemeinsame im Verschiedenen zu sehen, etwa wenn es um Kegelschnitte ging. So beschrieb er in der *Astronomiae pars optica* die projektive Erzeugung der Kegelschnitte auf Grund des Stetigkeitsprinzips.

Von der Geraden komme man so über Hyperbel, Parabel, Ellipse zum Kreis: Die flachste Hyperbel sei die Gerade, die spitzeste Hyperbel die Parabel, die spitzeste (unendliche) Ellipse sei die Parabel, die flachste Ellipse der Kreis. Analogie bezeichnet hier die durchgehende Verwandtschaft der Kegelschnitte untereinander. Dazu sagt KEPLER:

„Oportet enim nobis servire voces Geometricas analogiae: plurimum namque amo analogias, fidelissimos meos magistros, omnium naturae arcanorum conscios: in Geometria praecipue suspiciendos, dum infinitos casus interiectos intra sua extrema mediumque, quantumvis absurdis locutionibus concludunt, totamque rei alicuius essentiam luculenta ponunt ob oculos.“¹⁵

Woher hatte KEPLER die Überzeugung, dass Analogien sichere Lehrmeister der mathematischen Heuristik sind? Kein Zweifel, er war Platoniker, für den die Welt nach mathematischen Gesetzen aufgebaut war, die es zu entdecken galt. Fünfzehn Jahre nach seiner Optik erschien seine *Harmonice mundi*. Dem vierten Buch stellte er ein Zitat des Neuplatonikers Proklos DIADOCHOS (410–485) voran, das sich in dessen Kommentar zum ersten Buch der *Elemente* EUKLIDS findet:

„Für die Betrachtung der Natur leistet sie (die Mathematik) das Bedeutendste, indem sie die Wohlordnung der Verhältnisse aufzeichnet, nach der das Ganze geschaffen wurde, und die Analogie, die alles in der Welt miteinander verbindet, wie Timaios einmal sagt, und Kämpfendes aussöhnt und Fernliegendes in Zusammenhang und Sympathie bringt.“¹⁶

Damit spielte Proklos auf PLATONS (427–347 v. Chr.) Dialog *Timaios* an, wo es heißt:

„Das schönste aller Bänder ist nun das, welches sich selbst und das Verbundene soviel wie möglich zu Einem macht; das aber vermag seiner Natur nach am schönsten die Analogie. Und deswegen wurde aus diesen derartigen, der Zahl nach vierfachen Bestandteilen der durch Analogie übereinstimmende Körper des Kosmos erzeugt.“¹⁷

13 KNOBLOCH 2000a, S. 299.

14 WEYL 1984, S. 274.

15 KEPLER 1604, S. 92. „Uns müssen nämlich die geometrischen Stimmen der Analogie zu Diensten sein. Denn am meisten liebe ich die Analogien, meine zuverlässigsten Lehrmeister, die alle Geheimnisse der Natur kennen. Auf sie ist in der Geometrie besonders zu blicken, wenn sie unendlich viele Fälle, die zwischen ihren Extremen und der Mitte eingeschaltet sind, wenn auch mit noch so abwegigen Benennungen zusammenschließen und das gesamte Wesen einer Sache hell vor Augen stellen.“

16 Procli in *I. Euclidis Elementorum librum commentarii*, ed. Friedlein, 22, S. 17–22.

17 PLATON, *Timaios* 31c 3.

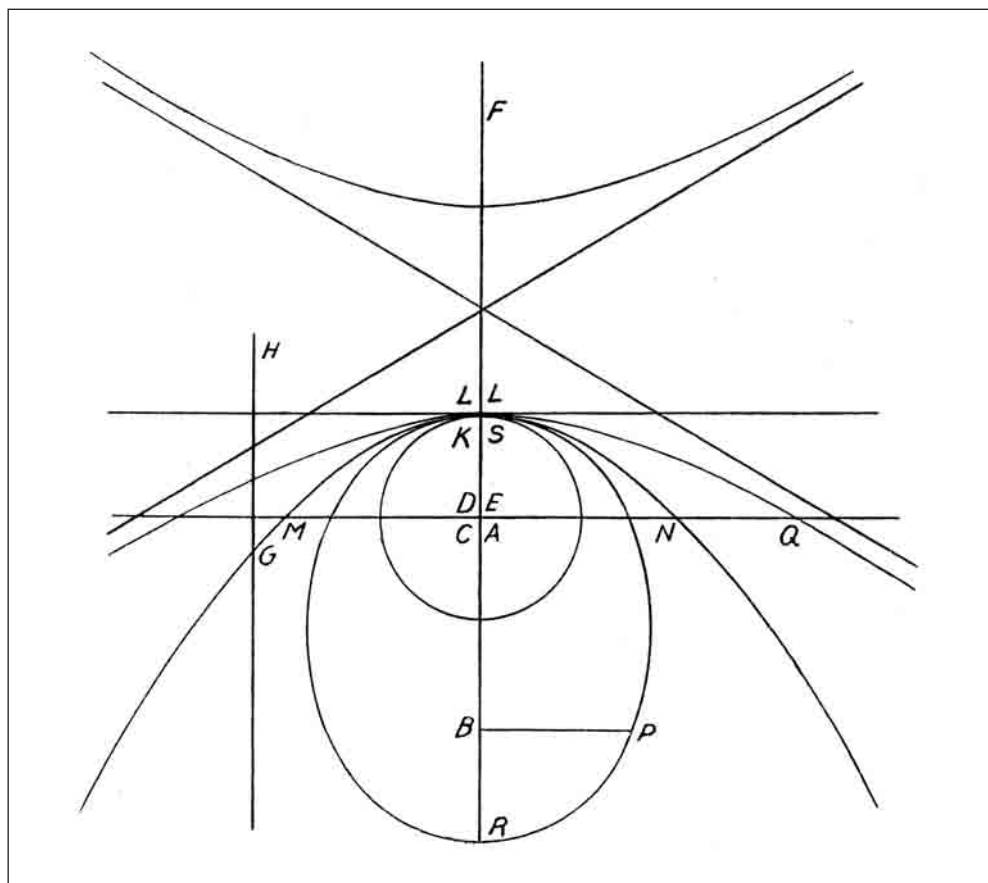


Abb. 5 Projektive Erzeugung der Kegelschnitte (KEPLER 1604, S. 91)

PLATON zielte auf die Analogie als Verhältnisgleichheit mit einer mittleren Proportionalen der Form $a:b = b:c$ ab, die ihm das Prinzip des Weltbaus lieferte.¹⁸ Für KEPLER war die Analogie das Stetigkeitsprinzip der Verwandtschaft. Diese erfasst insbesondere Extremfälle, deren Benennungen die Zusammengehörigkeit untereinander und mit dem übrigen Fällen verdecken, die irreführen können.

Dies sei in einem Beispiel KEPLERS verdeutlicht, das zugleich seine Unterscheidung zwischen erkenntnisleitender Analogie und erkenntnisbegründender Geometrie verdeutlicht.¹⁹ In seiner *Nova stereometria doliorum vinariorum*²⁰ behandelt KEPLER die Fläche einer Kugelkappe, die ARCHIMEDES in seiner Schrift *Über Kugel und Zylinder*²¹ bestimmt hatte:

¹⁸ KRAFFT 1971, S. 335.

¹⁹ KNOBLOCH 1989, S. 37.

²⁰ KEPLER 1615, S. 20f.

²¹ Buch I, Sätze 42, 43.

„Die Fläche einer Kugelkappe ist gleich der Fläche eines Kreises, dessen Radius der Verbindungslinie des Scheitelpunktes der Kappe mit einem Punkt der Peripherie des Grundkreises gleich ist.“

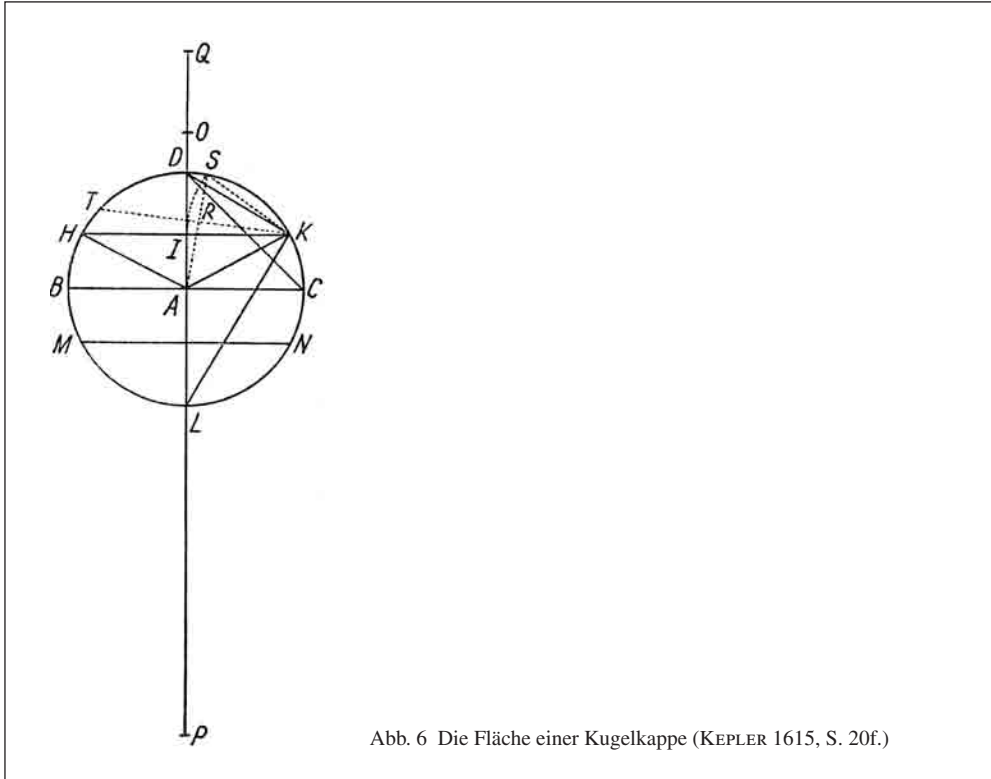


Abb. 6 Die Fläche einer Kugelkappe (KEPLER 1615, S. 20f.)

KEPLER erörterte im Sinne seines Analogieverständnisses die beiden Extremfälle, dass die Kugelkappe erstens die gesamte Kugeloberfläche, zweitens die Oberfläche der Halbkugel ist.

Ist r der Kugelradius, dann ist im ersten Fall die Länge der Verbindungslinie vom Scheitel zum Grundkreis (der zum gegenüberliegenden Scheitelpunkt ausgeartet ist) $2r$, die Oberfläche der Kugelkappe, als der gesamten Kugeloberfläche, $(2r)^2\pi = 4\pi r^2$, ein richtiges Ergebnis.

Im Falle der Halbkugel beträgt die Länge der Verbindungslinie nach dem Satz des PYTHAGORAS $\sqrt{2r^2} = \sqrt{2}r$, also die Oberfläche der Halbkugel $2\pi r^2$, erneut ein richtiges Ergebnis. KEPLER kommentiert die beiden Ergebnisse mit den Worten:

„Demonstrationem vide apud Archimedes. Primam vero fidem tibi faciet analogia. Nam cum sit comparatum cum tota superficie et cum dimidia: probabile est, eandem rationem obtinere etiam in segmentis caeteris.“²²

22 KEPLER 1615, S. 21. „Den Beweis siehe bei Archimedes. Den ersten Glauben wird Dir die Analogie vermitteln. Denn da es so mit der gesamten und der halben Oberfläche eingerichtet ist, ist es wahrscheinlich, dasselbe Verhältnis auch in den übrigen Segmenten zu erhalten.“

Es ist bemerkenswert, dass Max CASPAR in seinem Nachbericht kritisch anmerkte, es handle sich hier überhaupt um keinen eigentlichen Analogieschluss, sondern um Stichproben mit Spezialfällen und eine daran geknüpfte Vermutung.²³ Ein unberechtigter Einwand: Hatte doch KEPLER klar in seiner Optik gesagt, was er unter Analogie verstand, eben das, was er im Fall der Kugelkappen vorfand und anwandte.

4. Harmonien und Kontinuitätsgesetz (Semantik II): Leibniz

Gottfried Wilhelm LEIBNIZ (1646–1716) hat sich in den Jahren seines Aufenthaltes in Paris (1672–1676) intensiv mit dem Begriff *indivisible* auseinandergesetzt.²⁴ Der ursprünglichen Wortbedeutung nach ist eine Indivisible etwas, was keinen Teil hat, also nach aristotelischer Definition²⁵ eine Nichtgröße, wie wir im ersten Beispiel besprachen.

Dieser Befund veranlasste LEIBNIZ, nach einer geeigneten Definition von Indivisiblen zu suchen. Im Frühjahr 1673 vermerkt er in der sogenannten *Collectio mathematica*²⁶:

„Nota: Indivisibilia definienda sunt infinite parva, seu quorum ratio ad quantitatem sensibilem (vel differentia) infinita est.“²⁷

LEIBNIZ hatte damit freilich das Problem nicht gelöst, sondern nur verschoben. Er muss nunmehr erklären, was „unendlich klein“ bedeuten sollte. Seine beiden Antworten waren nicht äquivalent. Die erste Antwort lässt sich durch die Gleichung wiedergeben:

endlich: „unendlich klein“ = unendlich

Die zweite Antwort beruht auf einer Hinzufügung von LEIBNIZ, führt in die Irre und soll hier nicht weiter betrachtet werden. Was aber bedeutete „unendlich“? In der betreffenden Studie heißt es auf demselben Blatt:

„Certum est enim istam summam $\frac{1}{1} \frac{1}{2} \frac{1}{3}$ etc. esse majorem quolibet numero finito assignabili.“²⁸

LEIBNIZ sagt nicht *assignato*, „zugeordnete“, sondern *assignabili*, „zuordbar“. Diese Forderung kann nicht von einer potentiellen Unendlichkeit erfüllt werden, sondern nur von einer Kardinalzahl oberhalb jeder natürlichen Zahl, das heißt vom aktuellen Unendlichen. LEIBNIZ geht auf diese zwingende Schlussfolgerung nicht ein. Hier wie im Falle von „unendlich klein“ kommt er bald zu anderen, besseren Lösungen.

Noch in der *Collectio mathematica* probierte LEIBNIZ eine längere Reihe von Erklärungen für „unendlich klein“ aus²⁹:

- (1.) *pars inassignabilis* nicht zuordbarer Teil
- (2.) *aliquota inassignabilis* echter, nicht zuordbarer Teil

23 KEPLER 1615, S. 486.

24 KNOBLOCH 2008, LEIBNIZ 2008a, b.

25 ARISTOTELES, *Metaphysik*, V, 13.

26 LEIBNIZ 2008, S. 161.

27 „Achtung: Indivisiblen sind als unendlich klein zu definieren oder als solche, deren Verhältnis zu einer wahrnehmbaren Größe (oder Differenz) unendlich ist.“

28 „Denn es ist sicher, dass jene Summe $\frac{1}{1} \frac{1}{2} \frac{1}{3}$ usf. größer als jede beliebige endliche zuordbare Zahl ist.“

29 LEIBNIZ 2008a, Nr. 164.

- (3.) *magnitudo inassignabilis* nicht zuordbare Größe
- (4.) *punctum seu quantitas inassignabilis* Punkt oder nicht zuordbare Quantität (Größe)
- (5.) *differentia minor assignabili quavis* kleinere als jede zuordbare Differenz
- (6.) *differentia erit nulla vel quod idem est assignabili minor* die Differenz wird Null sein oder, was dasselbe ist, kleiner als eine zuordbare
- (7.) *differentia inter duas minimas applicatas minor est qualibet recta quae non dicam cogitari, sed fingi posset* die Differenz zwischen zwei kleinsten Ordinaten ist kleiner als eine beliebige Gerade, die ich will nicht sagen, gedacht, sondern sich vorgestellt werden könnte

Es ist bemerkenswert, dass LEIBNIZ in der sechsten Formulierung den richtigen Schluss zog: Was kleiner als eine zuordbare Differenz ist, muss Null sein. Eine höchst unerwünschte Konsequenz, da sie zu neuen Problemen führte. Sie zwang LEIBNIZ, nach besseren Erklärungen zu suchen. In der siebenten Formulierung verwandte LEIBNIZ KEPLERS undefinierte, schlimmer: undefinierbare Terminologie.³⁰

Aber vom Frühjahr 1630 an verwandte LEIBNIZ für „unendlich klein“ oft die Charakterisierung „kleiner als eine beliebig gegebene (sc. Größe)“³¹: Danach ist eine „unendlich kleine Größe“ eine Variable, keine konstante Größe. Das entscheidende Wort ist *data*, gegeben. Es erlaubt, diesen Leibnizschen Begriff unendlich klein unmittelbar in eine ε - δ -Abschätzung des 19. Jahrhunderts zu übersetzen. Damit hat LEIBNIZ eine konsistente Definition von „unendlich klein“ bzw. eine konsistente Quantifizierung von Indivisiblen gegeben, die er in seiner grundlegenden Schrift zu dieser Thematik, der *Arithmetischen Kreisquadratur*³² von 1675/76, durchgängig verwendet hat. So treten dort folgende Sprechweisen auf:

ad differentiam assignata quavis minorem sibi appropinquare, sich auf eine Differenz nähern, die kleiner als eine beliebige zugeordnete ist

differre quantitate minore quavis data, sich um eine Größe unterscheiden, die kleiner als eine beliebige, gegebene ist

differentia dato aliquo spatio minor reddi (assumi, sumi) potest (fit), die Differenz kann (wird) kleiner gemacht (angenommen, genommen) werden als irgendein gegebener Zwischenraum

intervallum indefinitae parvitatatis assumptum, ein von unbestimmter Kleinheit angenommenes Intervall

Tatsächlich ist eine variable Größe von unbestimmter Kleinheit. Zu Recht stellt LEIBNIZ deshalb fest³³:

„Adeoque methodus indivisibilium, quae per summas linearum invenit areas spatiorum, pro demonstrata haberi potest.“³⁴

Zu seiner strengen Grundlegung der Integrationstheorie mittels derart interpretierter Indivisiblen heißt es wenig später³⁵:

30 KNOBLOCH 2000b, S. 90.

31 LEIBNIZ 2008a, S. XIX.

32 LEIBNIZ 1993.

33 LEIBNIZ 1993, S. 29.

34 „Deshalb kann die Indivisiblenmethode, die die Flächeninhalte von Räumen mittels Summen von Linien findet, als bewiesen gelten.“

35 LEIBNIZ 1993, S. 33.

„Hac propositione supersedissem lubens, cum nihil sit magis alienum ab ingenio meo quam scrupulosae quorundam minutiae in quibus plus ostentationis est quam fructus, nam et tempus quibusdam velut caeremoniis consumunt, et plus laboris quam ingenii habent, et inventorum originem caeca nocte involvunt, quae mihi plerumque ipsis inventis videtur praestantior. Quoniam tamen non nego interesse Geometriae ut ipsae methodi ac principia inventorum tum vero theoremata quaedam praestantiora severe demonstrata habeantur, receptis opinionibus aliquid dandum esse putavi.“³⁶

Das Unendliche wird von ihm in Analogie zum Endlichen behandelt. In den *De arte inveniendi theoremata* vom 7. September 1674 heißt es³⁷:

„Analogia autem in eo fundatur, ut quae in multis conveniunt aut opposita sunt ea in datis quoque vicinis ad priora convenire aut opposita esse suspicemur ... opus autem est diariis in eam rem, ac velut tabulis ... ad harmonias quasdam, sive analogias constabiliendas.“³⁸

LEIBNIZ hat in diesem Sinn endlich und unendlich analog behandelt, Analogien als Harmonien verstanden. An Pierre VARIGNON (1654–1722) schrieb er am 2. Februar 1702³⁹:

« Il se trouve que les règles du fini réussissent dans l’infini, comme s’il y avait des atomes (c’est-à-dire des éléments assignables de la nature), quoiqu’il n’y en ait point la matière étant actuellement sousdivisée sans fin; et vice versa les règles de l’infini réussissent dans le fini, comme s’il y avait des infiniment petits métaphysiques, quoiqu’on n’en ait point besoin. »

LEIBNIZ vertritt also den „als ob“-Standpunkt:

„Die Regeln des Endlichen gelten im Unendlichen als ob es Atome, das heißt zuordenbare Elemente der Natur gäbe, obwohl es davon keine gibt, da die Natur in Wirklichkeit ohne Ende unterteilt ist; und umgekehrt gelten die Regeln des Unendlichen im Endlichen, als ob es metaphysisches unendlich Kleines gibt, obwohl man seiner nicht bedarf.“

Am 11. März 1706 problematisiert LEIBNIZ nochmals diese Analogien in einem Brief an Bartholomaeus DES BOSSES (†1738)⁴⁰:

„Quemadmodum enim de Numero infinito dici nequit, par sit an impar, ita nec de recta infinita, utrum datae rectae sit commensurabilis an secus; ut adeo impropriae tantum hae

36 „Ich hätte gerne auf diesen Satz verzichtet, da meinem Geist nichts fremder ist als die pedantischen Einzelheiten einiger, in denen mehr Zurschaustellung als Ergiebigkeit liegt. Denn sie verbrauchen Zeit gleichsam für einige feierliche Handlungen und umfassen mehr Mühe als Scharfsinn und hüllen den Ursprung der Erfindungen in blinde Nacht, der mir meistens wichtiger als die Erfindungen selbst erscheinen. Da ich dennoch nicht leugne, dass es im Interesse der Geometrie ist, die Methoden selbst und die Prinzipien der Erfindungen als auch in der Tat einige hervorragendere Sätze streng bewiesen zu haben, glaubte ich, den überkommenen Ansichten etwas nachgeben zu müssen.“

37 LEIBNIZ 1980, S. 425f.

38 „Eine Analogie aber beruht darauf, dass wir vermuten, dass das, was in vielem übereinstimmt oder entgegengesetzt ist, auch in dem zum Früheren benachbarten Gegebenem übereinstimmt oder entgegengesetzt ist [...] Dazu bedarf es aber Tagebücher und gleichsam Tafeln [...] um einige Harmonien oder Analogien zu bekräftigen.“

39 GERHARDT 1849–1863, Bd. IV, S. 93f.

40 LEIBNIZ 1879, S. 305.

de infinito velut una magnitudine sint locutiones, in aliqua analogia fundatae, sed quae si accuratius examines, subsistere non possunt.“⁴¹

Es verdient hervorgehoben zu werden, dass LEIBNIZ ebenso wie KEPLER von *locutiones* spricht, von Benennungen, Redewendungen. Dem entsprechend äußerte er sich im 1712 veröffentlichten Aufsatz *Über den wahren Sinn der Infinitesimalmethode*⁴²:

„Infinitum continuum vel discretum proprie nec unum, nec totum, nec quantum est, et si analogia quaedam pro tali a nobis adhibeatur, ut verbo dicam, est modus loquendi; cum scilicet plura adsunt, quam ullo numero comprehendi possunt, numerum tamen illis rebus attribuemus analogice, quem infinitum appellamus.“⁴³

5. Grenzüberschreitungen II (neue Begriffe): Euler

Die von Mathematikern wie LEIBNIZ, aber auch von Leonhard EULER (1708–1783) praktizierte Analogie zwischen dem Endlichen und dem Unendlichen ist von so grundlegender Bedeutung, dass diese an einem gelungenen und einem misslungenen Beispiel aus EULERS Studien abschließend veranschaulicht werden soll.

5.1 Das gelungene Beispiel: Das Basler Problem

Das Problem, die reziproken Quadratzahlen zu summieren, hatte Pietro MENGOLI (1625–1686) 1650 aufgeworfen. Es blieb bis EULER ungelöst. Jakob BERNOULLI (1657–1705) klagte noch 1689 über die Schwierigkeit der Aufgabe:

„Sollte jemand das, was unseren Anstrengungen bis jetzt entgangen ist, finden und uns mitteilen, so werden wir ihm sehr dankbar sein.“⁴⁴

Das Problem ging als Basler Problem in die Wissenschaftsgeschichte ein. Es wurde von EULER im Herbst 1735 gelöst. Das Ergebnis teilte er seinem Freund Daniel BERNOULLI (1700–1782) mit: „Die Summe der reziproken Quadratzahlen ist $\frac{\pi^2}{6}$.“⁴⁵ EULERS Grundgedanke war, Potenzreihen als Polynome unendlich großen Grades anzusehen. Das bedeutete, er übertrug die Faktorzerlegung von Polynomen auf transzendente Funktionen.⁴⁶ Danach gilt⁴⁷:

$$\sin x = \frac{x}{1} - \frac{x^3}{3!} + \frac{x^5}{5!} - \frac{x^7}{7!} \pm \dots = 0$$

41 „So wie man nämlich von der unendlichen Zahl nicht sagen kann, ob sie gerade oder ungerade ist, so auch nicht von der unendlichen Geraden, ob sie mit einer gegebenen Geraden kommensurabel ist oder nicht, so dass eben diese Benennungen vom Unendlichen gleichsam wie von einer Größe, gegründet auf irgendeiner Analogie, nur uneigentlich sind. Wenn man diese aber genauer prüft, können sie nicht bestehen.“

42 LEIBNIZ 1712, S. 389.

43 „Das stetige oder diskrete Unendliche ist im eigentlichen Sinn weder Eines noch ein Ganzes noch ein Quantum. Und wenn von uns für so etwas eine gewisse Analogie verwendet wird, ist es, um es mit einem Wort zu sagen, eine Sprechweise. Wenn nämlich mehr vorhanden ist als durch irgendeine Zahl erfasst werden kann, so ordnen wir jenen Dingen dennoch auf analoge Weise eine Zahl zu, die wir unendlich nennen.“

44 STÄCKEL 1925, S. 160.

45 STÄCKEL 1925, S. 162.

46 EULER 1748, Kap. 10.

47 POLYA 1954, S. 41–46, SIMMONS 2007, S. 267–269.

hat die unendlich vielen Wurzeln $0, \pm\pi, \pm2\pi, \pm3\pi, \dots$

Division durch x ergibt:

$$\frac{\sin x}{x} = 1 - \frac{x^2}{3!} + \frac{x^4}{5!} - \frac{x^6}{7!} \pm \dots = 0$$

Diese „unendliche Gleichung“ hat nur noch die Wurzeln $\pm\pi, \pm2\pi, \pm3\pi, \dots$ und wird von EULER als gerade Funktion wie ein Polynom geraden Grades behandelt.

Nun lässt sich ein Polynom geraden Grades $2n$ mit den $2n$ verschiedenen Wurzeln $\pm a_1, \pm a_2, \dots, \pm a_n$ ($a_i \neq 0$) folgendermaßen zerlegen:

$$b_0 - b_1 x^2 + b_2 x^4 \dots + (-1)^n b_n x^{2n} = b_0 \left(1 - \frac{x^2}{a_1^2}\right) \left(1 - \frac{x^2}{a_2^2}\right) \dots \left(1 - \frac{x^2}{a_n^2}\right)$$

Nach den Girard-Newton-Leibniz-Formeln zu Gleichungskoeffizienten und Gleichungswurzeln gilt:

$$b_1 = b_0 \left(\frac{1}{a_1^2} + \frac{1}{a_2^2} + \dots + \frac{1}{a_n^2} \right), \text{ also analog}$$

$$\frac{\sin x}{x} = \left(1 - \frac{x^2}{\pi^2}\right) \left(1 - \frac{x^2}{4\pi^2}\right) \left(1 - \frac{x^2}{9\pi^2}\right) \dots$$

Nun ist für $\frac{\sin x}{x}$ nach der oben genannten Potenzreihe $b_0 = 1, b_1 = \frac{1}{3!}$,

$$\text{also } \frac{1}{3!} = 1 \cdot \left(\frac{1}{\pi^2} + \frac{1}{4\pi^2} + \frac{1}{9\pi^2} + \dots \right)$$

$$\text{oder } \frac{\pi^2}{6} = 1 + \frac{1}{4} + \frac{1}{9} + \dots$$

EULER hatte eine Regel auf einen Fall angewandt, für den sie nicht gemacht war, nämlich auf nicht-algebraische statt algebraische Gleichungen: Ein Analogieschluss, der ihm sogar erlaubte, die Summe reziproker Potenzen für gerades n zu berechnen.

Kein Wunder, dass sein Vorgehen bei Johann I. (1667–1748), Nikolaus I. (1687–1759) und Daniel BERNOULLI Kritik hervorrief. EULER sah sich veranlasst, das richtige Ergebnis auf andere unanfechtbare Weise (Integrationsmethode) abzuleiten, und schrieb deshalb 1743:

„Methodus ... utique erat nova et in eiusmodi instituto plane non usitata; nitebatur enim in resolutione aequationis infinitae, cuius omnes radices, quarum numerus erat infinitus, nosse oportebat.“⁴⁸

5.2 Das misslungene Beispiel: Divergente Reihen

EULERS Ziel war, nichtkonvergenten Reihen im modernen Sinn eine Daseinsberechtigung in der Mathematik zu verschaffen. In seinem 1754/55 verfassten Aufsatz *De seriebus divergentibus*, der 1760 erschien, verwandte er folgende Definitionen:

⁴⁸ EULER 1743, S. 139. „Die Methode war [...] jedenfalls neu und bei einem derartigen Unternehmen völlig ungebrauchlich; sie stützte sich nämlich auf die Lösung einer unendlichen Gleichung, deren gesamte Wurzeln, deren Zahl unendlich groß war, man kennen musste.“

Konvergent heißen Reihen, deren Terme eine streng monotone Nullfolge bilden.

EULER verwandte nur eine notwendige, nicht auch hinreichende Bedingung im Sinne des modernen Konvergenzbegriffs. Denn danach wäre auch die harmonische Reihe

$$1 + \frac{1}{2} + \frac{1}{3} + \dots$$

konvergent, obwohl die Folge ihrer Partialsummen jeden endlichen Wert übersteigt.

Divergent heißen Reihen, deren „unendlichste“ Terme endlich bleiben oder ins unendliche wachsen („Termini infinitesimi non in nihilum abeunt.“).

EULER verwandte nur eine hinreichende, nicht auch notwendige Bedingung im Sinne des modernen Divergenzbegriffs. Denn danach wäre die harmonische Reihe nicht divergent, also konvergent.

Wir müssen akzeptieren: EULER verwandte einen anderen Konvergenzbegriff als wir heute. Er betrachtete die Reihenentwicklung

$$\frac{1}{1+x} = 1 - x + x^2 - x^3 \pm \dots$$

bzw.
$$\frac{1}{1-x} = 1 + x + x^2 + x^3 + \dots$$

Er ließ die Konvergenzradian außer Acht und erhielt die Gleichungen

$$\frac{1}{2} = 1 - 1 + 1 - 1 \pm \dots$$

$$\frac{1}{3} = 1 - 2 + 4 - 8 \pm \dots$$

$$\frac{1}{4} = 1 + 2 + 4 + 8 + \dots$$

bzw.
$$-1 = 1 + 2 + 4 + 8 + \dots$$

$$-\frac{1}{2} = 1 + 3 + 9 + 27 + \dots$$

Es war für ihn ausgemacht, dass z. B. $\frac{1}{2}$ und die unendliche, alternierende Reihe äquivalente Größen sind. Die Frage war für ihn, ob man die linken Werte der Gleichungen Summen der betreffenden unendlichen Reihen nennen kann. Dass ab der ersten dieser fünf Gleichungen die Akzeptanzprobleme immer größer wurden, war ihm bewusst:

„Multo minus cum solitis ideis conciliari potest.“⁴⁹

Sein vorläufiger, gewagter Lösungsvorschlag lautete:

„Interim tamen veritati consentaneum videtur, si dicamus easdem quantitates quae sint nihilo minores, simul infinito maiores censi posse.“⁵⁰

49 EULER 1755, S. 79. „Dies kann noch viel weniger mit den gewohnten Ideen in Einklang gebracht werden.“

50 EULER 1760, S. 592. „Einstweilen scheint es indessen mit der Wahrheit übereinzustimmen, wenn wir sagen, dass dieselben Größen, die kleiner als Null sind, zugleich als *größer als unendlich* eingeschätzt werden können.“

Freilich erklärte EULER nicht, was für Größen dies sein könnten, die *größer als unendlich* sind. Die Lösung des Problems sah er in einer Neufassung des Begriffs *Summe*:

„Si igitur receptam summae notionem ita tantum immutemus, ut dicamus cuiusque seriei summam esse expressionem finitam, ex cuius evolutione illa series nascatur, omnes difficultates ... sponte evanescent.“⁵¹

Dies traf nun allerdings nicht zu. EULER hätte zeigen müssen, dass seine Definition wohldefiniert ist, dass es nur genau einen *endlichen* Ausdruck gibt, dessen Entwicklung zur betrachteten Reihe führt. FABERS Gegenbeispiel zeigte, dass dies nicht der Fall war.⁵² Dennoch meinte EULER optimistisch:

„Ope huius definitionis utilitatem serierum divergentium tueri atque omnibus iniuriis vindicare poterimus.“⁵³

Er hatte Gründe, seinen Ergebnissen zu vertrauen, nämlich

- erstens das Permanenzprinzip: die neue Definition fiel mit der alten zusammen, wenn es sich um konvergente Reihen handelte;
- zweitens seine Transformationsmethode im Falle alternierender Reihen: die Ergebnisse stimmten mit denen überein, die diese Methode lieferte.

Sei $S = a_1 - a_2 + a_3 - a_4 \pm \dots$

Die ersten, zweiten usf. Differenzen sind danach

$$\Delta a = a_2 - a_1, a_3 - a_2, a_4 - a_3, \dots$$

$$\Delta^2 a = a_3 - 2a_2 + a_1, a_4 - 2a_3 + a_2, \dots$$

$$S = \frac{1}{2}a_1 - \frac{1}{4}\Delta a + \frac{1}{8}\Delta^2 a \mp \dots$$

Im Falle der alternierenden Reihe $1 - 1 + 1 - 1 \pm \dots$ gilt:

$\Delta a = 0, 0, 0, \dots, a_1 = 1$ ⁵⁴, also $S = \frac{1}{2}$. Dementsprechend erhält man für die folgenden beiden alternierenden, divergenten Reihen $S = \frac{1}{3}$ bzw. $S = \frac{1}{4}$.

Entscheidend ist, dass EULER die durch Analogie erhaltenen Ergebnisse nicht bezweifelte, sondern zu rechtfertigen versuchte. Daher fragte er nicht „Was ist?“, sondern „Wie definiere ich?“

51 EULER 1760, S. 593. „Wenn wir also nur den überkommenen Begriff *Summe* so ändern, dass wir sagen, die Summe jeder Reihe sei der endliche Ausdruck, aus dessen Entwicklung jene Reihe entsteht, werden alle Schwierigkeiten [...] von selbst verschwinden.“ KNOBLOCH 1990, S. 226.

52 FABER 1935, S. XIII.

53 EULER 1755, S. 82. „Mit Hilfe dieser Definition werden wir die Nützlichkeit divergenter Reihen schützen und vor allen Ungerechtigkeiten bewahren können.“

54 GRATTAN-GUINNESS 1970, S. 68–70.

Epilog

EULERS Beispiele gemahnen zur Vorsicht. Und doch bleibt richtig, was der Mathematiker S. BUTLER gesagt hat: “Though analogy is often misleading, it is the least misleading thing we have.”⁵⁵

Literatur

Bemerkung: Die Veröffentlichungen von Leonhard EULER werden nach dem Wiederabdruck in den *Opera omnia* zitiert.

- ARCHIMEDES: De sphaera et cylindro libri II. In: Archimedis opera omnia, vol. I. Iterum edidit I. L. HEIBERG. Leipzig 1910
- ARCHIMEDES: Ad Eratosthenem methodus. In: Archimedis opera omnia, vol. II. Iterum edidit I. L. HEIBERG. Leipzig 1913
- ARCHIMEDES: Arenarius. In: Archimedis opera omnia, vol. II. Iterum edidit I. L. HEIBERG. Leipzig 1913
- ARISTOTELES: Metaphysica. Recognovit Werner JAEGER. Oxford 1957
- BEINEKE, L. W.: Desert island theorems. *Journal of Graph Theory* 10, 325–329 (1986)
- CLAVIUS, Christoph: Geometria practica. Rom 1604 (Ich zitiere den Wiederabdruck in: CLAVIUS, Christoph: Opera mathematica. Bd. II, 1. Zählung, Mainz 1611)
- EUKLID: Elementa. 4 Bde. Post I. L. HEIBERG edidit Evangelos S. STAMATIS. Leipzig 1969–1973
- EULER, Leonhard: De summis serierum reciprocarum et potestatis numerorum naturalium ortarum dissertatio altera in qua eadem summationes ex fonte maxime diverso derivantur. *Miscellanea Berolinensia* 7, 172–192 (1743) (*Opera omnia*. Bd. I, 14, S. 138–155)
- EULER, Leonhard: Introductio in analysin infinitorum. Lausanne 1748 (*Opera omnia*. Bd. I, 8 und 9)
- EULER, Leonhard: Institutiones calculi differentialis cum eius usu in analysi finitorum ac doctrina serierum. Berlin 1755 (*Opera omnia*. Bd. I, 10)
- EULER, Leonhard: De seriebus divergentibus. *Novi commentarii academiae scientiarum Petropolitanae* 5, 205–237 (1760) (*Opera omnia*. Bd. I, 14, S. 585–617)
- FABER, Georg: Übersicht über die Bände 14, 15, 16, 16* der ersten Serie. In: EULER, Leonhard: *Opera omnia*. Bd. I, 16, 2, S. VII–XCVI, CVI–CXII
- GRATTAN-GUINNESS, Ivor: *The Development of the Foundations of Mathematical Analysis from Euler to Riemann*. Cambridge, Mass. 1970
- GERHARDT, Carl Immanuel (Hrsg.): *Gottfried Wilhelm Leibniz: Mathematische Schriften*. 7 Bände. Berlin, Halle 1849 – 1863 (Nachdruck Hildesheim 1962)
- KEPLER, Johannes: *Ad Vitellionem Paralipomena, quibus astronomiae pars optica traditur*. Frankfurt (Main) 1604 (Ich zitiere den Wiederabdruck in: *Gesammelte Werke*. Bd. II. München 1939)
- KEPLER, Johannes: *Nova stereometria doliorum vinariorum, inprimis Austriaci, figurae omnium aptissimae*. Linz 1615 (Ich zitiere den Wiederabdruck in: *Gesammelte Werke*. Bd. IX. München 1960)
- KNOBLOCH, Eberhard: Analogie und mathematisches Denken. *Berichte zur Wissenschaftsgeschichte* 12, 35–47 (1989)
- KNOBLOCH, Eberhard: L’analogie et la pensée mathématique. In: RASHED, Roshdi (Ed.): *Mathématiques et philosophie de l’antiquité à l’âge classique. Hommage à Jules Vuillemin*; pp. 217–235. Paris 1990
- KNOBLOCH, Eberhard: Analogy and the growth of mathematical knowledge. In: GROSHOLZ, Emily, and BREGER, Herbert (Eds.): *The Growth of Mathematical Knowledge*; pp. 295–314. Dordrecht, Boston, London 2000a
- KNOBLOCH, Eberhard: Archimedes, Kepler and Guldin: The role of proof and analogy. In: THIELE, Rüdiger (Hrsg.): *Mathesis, Festschrift zum siebzigsten Geburtstag von Matthias SCHRAMM*. S. 82–100. Berlin: Diepholz 2000b
- KNOBLOCH, Eberhard: Generality and infinitely small quantities in Leibniz’s mathematics – The case of his arithmetical quadrature of conic sections and related curves. In: GOLDENBAUM, Ursula, and JESSEPH, Douglas (Eds.): *Infinitesimal Differences, Controversies between Leibniz and His Contemporaries*; pp. 171–183. Berlin, New York 2008

55 BEINEKE 1986, S. 325.

- KRAFFT, Fritz: Geschichte der Naturwissenschaft I. Die Begründung einer Wissenschaft von der Natur durch die Griechen. Freiburg 1971
- LEIBNIZ, Gottfried Wilhelm: *Observatio quod rationes sive proportiones non habeant locum circa quantitates nihilo minores, et de vero sensu methodi infinitesimalis*. Acta Eruditorum April, 167–169 (1712) (Ich zitiere den Wiederabdruck in: GERHARDT, Carl Immanuel (Hrsg.): Gottfried Wilhelm Leibniz: Mathematische Schriften. Bd. V, 387–389)
- LEIBNIZ, Gottfried Wilhelm: Die philosophischen Schriften. In: GERHARDT, Carl Immanuel (Hrsg.): Gottfried Wilhelm Leibniz: Mathematische Schriften. Bd. 2. Berlin 1879
- LEIBNIZ, Gottfried Wilhelm: Sämtliche Schriften und Briefe. Reihe VI, Bd. 3. Berlin 1980
- LEIBNIZ, Gottfried Wilhelm: *De quadratura arithmetica circuli ellipseos et hyperbolae cuius collarium est trigonometria sine tabulis*. Kritisch herausgegeben und kommentiert von Eberhard KNOBLOCH. Göttingen 1993
- LEIBNIZ, Gottfried Wilhelm: Sämtliche Schriften und Briefe. Reihe VII, Bd. 4. Berlin 2008a
- LEIBNIZ, Gottfried Wilhelm: Sämtliche Schriften und Briefe. Reihe VII, Bd. 5. Berlin 2008b
- NETZ, Reviel, und NOEL, William: Der Kodex des Archimedes. Das berühmteste Palimpsest der Welt wird entschlüsselt. 4. Aufl. München 2008
- PLATON: Timaeus. In: *Platonis opera, tomus IV, recognovit Ioannes BURNET*. Oxford 1902
- POLYA, Georg: Mathematik und plausibles Schließen. Bd. 1: Induktion und Analogie in der Mathematik. 2. Aufl. Basel, Stuttgart 1954
- SIMMONS, George F.: *Calculus Gems. Brief Lives and Memorable Mathematics*. With portraits by Maceo MITCHELL. Washington DC 2007
- STÄCKEL, Paul: Eine vergessene Abhandlung Leonhard Eulers über die Summe der reziproken Quadrate der natürlichen Zahlen. *Bibliotheca Mathematica* 3. Folge 8, 37–54 (1907/08) (Ich zitiere den Wiederabdruck in: Leonhard EULER: *Opera omnia*, Reihe I, Bd. 14, 156–176)
- VITRUV: *De architectura*. Libri decem, edidit et annotavit Curt FENSTER-BUSCH. Darmstadt 1981
- WEYL, Hermann: Axiomatic versus Constructive Procedures In Mathematics. *The Mathematical Intelligencer* 7 (1985) 12–17, 38. (Ich stütze mich auf die französische Fassung: *Comparaison entre procédures axiomatiques et procédures constructives en mathématiques*. In: LARGEAULT, Jean (Übersetzer): Herman Weyl, *Le continu et autres écrits*; pp. 265–279. Paris 1994)

Prof. Dr. Eberhard KNOBLOCH
Institut für Philosophie, Literatur-,
Wissenschafts- und Technikgeschichte
Technische Universität Berlin
Straße des 17. Juni 1935
10623 Berlin
Bundesrepublik Deutschland
Tel.: +49 30 4019072
Fax: +49 30 4013613
E-Mail: eberhard.knobloch@tu-berlin.de

Gedenken an die Leopoldina-Mitglieder, die in Konzentrationslagern des nationalsozialistischen Regimes zu Tode kamen

Einweihung einer Gedenkstele am 1. Oktober 2009 in Halle (Saale)

Nova Acta Leopoldina N. F. Supplementum Nr. 22
Herausgegeben vom Präsidium der Deutschen Akademie der Naturforscher
Leopoldina
(2010, 24 Seiten, 16 Abbildungen, 5,00 Euro, ISBN: 978-3-8047-2808-0)

Zum Andenken der Mitglieder der Deutschen Akademie der Naturforscher Leopoldina, die in nationalsozialistischen Konzentrationslagern oder an den Folgen der Lagerhaft zwischen 1942 und 1945 ums Leben kamen, wurde in Halle im Oktober 2009 eine Gedenkstele enthüllt. Der vorliegende Band dokumentiert die Veranstaltung und setzt damit auch das Bestreben der Akademie fort, in Publikationen und Vorträgen die Geschichte der Leopoldina in den Jahren zwischen 1933 und 1945 aufzuarbeiten. Dem kulturellen Gedächtnis der Leopoldina wird mit der Gedenkstele ein weiterer Mosaikstein hinzugesetzt, weil die Entstehung, die Entwicklung und die Bewahrung einer Erinnerungskultur zu den Grundlagen unserer Freiheit und damit zu den Grundlagen der Demokratie in Deutschland gehören. Die Beiträge sind in deutscher und englischer Sprache verfasst.

Usage of the Terms “Likewise” and “Like” in Texts for Algorithms. Algorithmic Analogies in Ancient China

Karine CHEMLA ML, Paris

With 1 Figure and 10 Tables

Abstract

The article focuses on texts for algorithms found in the earliest extant mathematical sources in Chinese. It brings to light that these texts regularly make use of analogy. On the one hand, the author shows that the texts use several techniques to prescribe by analogy. On the other hand, she highlights that in addition to a prescriptive dimension, these algorithm texts regularly possess an assertive dimension, stating analogies by the way in which they are formulated. She analyzes how analogies are thereby stated, proving that commentators on these texts interpreted this dimension of the text and read in it the assertion of an analogy at the level of the reasons underlying the correctness of the algorithm.

Zusammenfassung

Der Artikel beschäftigt sich mit Texten für Algorithmen, die in den frühesten vorhandenen mathematischen Quellen in Chinesisch gefunden wurden. Er verdeutlicht, dass diese Texte regelmäßig Gebrauch von Analogien machen. Auf der einen Seite zeigt die Autorin, dass die Texte verschiedene Techniken zur Beschreibung durch Analogien verwenden. Auf der anderen Seite betont sie, dass in Ergänzung zu dieser umschreibenden Dimension diese Algorithmentexte in der Regel eine erklärende Dimension besitzen, Analogien nebenbei angehend, in denen sie formuliert sind. Sie analysiert, wie Analogien dabei ausgewiesen werden, belegend, dass die Kommentatoren an diesen Texten diese Dimension des Textes interpretierten und in ihnen Erklärungen der Analogien auf der Ebene der Gründe lasen, die der Korrektheit der Algorithmen zugrunde lagen.

I. Introduction

How did practitioners write texts for algorithms? And how did the readers or users deal with these texts? The widespread idea about these issues is the following: the text of an algorithm is a list of operations that the practitioner reads one after the other, each operation corresponding to an action to carry out on a computing instrument. Note that if that were true, this would mean that texts for algorithms were basically the same, wherever and whenever they may have been written.

Agathe KELLER has introduced the idea that this view required qualification.¹ Inspired by her work, I have worked in this direction from various viewpoints.² For instance, I have

1 KELLER 2010, in preparation.

2 We developed these ideas in the context of the seminar “History of science, History of text,” and especially during the years when I co-organized it with Jacques VIRBEL (2002–2008). It is my pleasure to thank the participants of

argued³ that in some cases texts for algorithms were not purely prescriptive, showing systematic ways in which these texts pointed out reasons for the correctness of the algorithm at the same time as they indicated which operations had to be executed. Moreover, I have argued⁴ that use of such a text adhered to the scholarly culture within the framework of which it had been written and that it required a specific treatment to be translated into adequate action. My point was that the author of a text and its user had to acquire the same specific competencies to write and use a text in the same way; that is, they had to share the same competencies, characteristic of a given scholarly culture, for a text written by the former to be correctly understood by the latter. One can identify in mathematics various scholarly cultures, which elaborated different types of text to write down algorithms. In fact, conversely, stable differences in how algorithms were written down is one way through which distinct scholarly cultures can be identified (CHEMLA 2007).

In this paper, I would like to take up this issue again, but from a different perspective. The approach here will be focused on analogy, raising the question of the part devoted to analogy in writing, and thus using, texts for algorithms. My claim is that analogy plays a key role in how algorithms are written down. The fact is general, and the examples analyzed below show why it is so. However, depending on the scholarly culture in which texts were produced, the phenomenon took different forms, as we shall also see when we examine specific texts. Whatever the case may be, the management of analogy will provide a fruitful perspective from which to examine the cognitive operations that a reader was expected to carry out to make sense of a text and derive actions from it.

I shall examine these general issues on the basis of the earliest extant mathematical books written in Chinese.⁵ Let me start by describing the main features of the two sets of documents on which I shall rely.

The earliest of the two records, the *Book of Mathematical Procedures* (*Suanshu shu* 算數書), was excavated in 1984 from a tomb sealed ca. 186 B.C.E. In other words, this writing came back to light after more than two thousand years during which it remained untouched by human intervention. It was written on a medium common at that time, that is, bamboo strips bound together with cords. However, over the centuries during which they remained

the seminar for their contributions, which helped me tremendously to formulate my views on texts for algorithms. In the book that we are preparing on the basis of the work done during these years, several chapters deal with mathematical sources: Agathe KELLER discusses the texts for algorithms recorded in Sanskrit sources, Christine PROUST discusses the formulation of operations in Mesopotamian clay tablets, and I deal with texts for algorithms in Chinese texts. The reader will thus have a multi-cultural approach to these issues. Moreover, I have the pleasure to thank Ann and Klaus HENTSCHEL for their support and the remarks they made on this article. They considerably helped me clarify my arguments.

3 In CHEMLA 1991, 2010.

4 In CHEMLA 2009.

5 Alexei VOLKOV devoted several articles to the question of analogical reasoning in these texts or cognate issues (see VOLKOV 1987, 1992, 1994, 2008). The 1992 article relates the phenomenon in mathematical sources to philosophical debates. Moreover, it introduces a formal model to account for the transfer of a reasoning between specific cases and the evaluation of the extension of such a transfer. In 1994 and 2008, A. VOLKOV argues in favour of the thesis that the principle of extension by analogy bore not only on specific reasoning, but on patterns of reasoning that were transferred between objects of different nature. The latter article was included in a volume devoted to the question of analogy in scientific practice (DURAND-RICHARD 2008). The main focus of the book is to analyze the uses of analogy in scientific practice from a historical perspective. In his pioneering book *Polarity and Analogy* LLOYD also concentrated on the use of analogy in arguments and explanations in ancient Greece. My approach here continues these previous lines of analysis, relying on another type of historical evidence.

in tombs the cords usually disintegrated, and books written on that material were found in separate strips. The task of the philologists who worked on a critical edition of the *Book of Mathematical Procedures* involved suggesting a solution for the order in which the bamboo strips were originally bound together.⁶

The second set of documents on which I shall rely survived by means of a completely different historical process. *The Nine Chapters on Mathematical Procedures* (*Jiuzhang suanshu* 九章算術, hereafter, *The Nine Chapters*), probably completed in the first century C. E., came down to us through the written tradition, being regularly the object of editions and even printing projects, both carried out by imperial institutions. One may assume that this was due to the fact that from early on *The Nine Chapters* was perceived as a “canon *jing*.” For that reason the book was included in the collection of *Ten Mathematical Canons* (*Suanjing shishu* 算經十書), completed in 656 under LI CHUNFENG 李淳風’s supervision and immediately thereafter used as a textbook within the framework of the state university.⁷ In the seventh century edition of the book, a commentary on *The Nine Chapters*, the one completed by LIU HUI in 263, was selected to be included in the collection together with the canon. Moreover, the group of scholars working with LI CHUNFENG added a subcommentary to *The Nine Chapters* and its third century commentary. The three layers acquired a cohesion that was so strong that there is no ancient edition of any of them that does not contain the two others. This indicates that since at least the seventh century, *The Nine Chapters* was read together with commentaries. This was most probably the case much earlier, if we rely on the testimony provided by the bibliographies included in the official dynastic histories compiled from the first century on.⁸

- 6 The first critical edition was PENG HAO 彭浩 2001. Other suggestions for the critical editions soon followed: GUO SHIRONG 郭世榮 2001, GUO SHUCHUN 郭書春 (2001). More recently, another order for the bamboo strips was published: (張家山漢簡『算數書』研究会編 *Chōka san kankan Sansūsho kenkyūkai. Research Group on the Han Bamboo Strips from Zhangjiashan Book of Mathematical Procedures* 2006). In 2004, C. CULLEN published on internet a first version of his critical edition and translation into English of *The Book of Mathematical Procedures* (CULLEN 2004). DAUBEN (2008) constitutes an English translation independent from the previous one. In between, a translation into modern Chinese was published (HORNG WANN-SHENG 洪萬生 et al. 2006). In what follows, unless otherwise specified, I shall rely on PENG HAO 彭浩 (2001). In particular, I shall refer to a passage in the *Book of Mathematical Procedures* by the number of the bamboo strips on which it was written, as provided by PENG HAO.
- 7 On the teaching institutions in mathematics in 7th century China, see STU and VOLKOV 1999. On *The Nine Chapters* as a canon, compare CHEMLA 2008. Recent critical editions of the *Ten Mathematical Canons* include: QIAN BAOCONG 錢寶琮 (1963), GUO SHUCHUN 郭書春 and LIU DUN 劉鈍 (1998).
- 8 LI YAN 李儼 (1958, 25–26) lists the books mentioned in these bibliographies clearly devoted to mathematics and with titles including *The Nine Chapters*. Since the 1980s, many books and issues of journals were devoted to *The Nine Chapters* and its commentaries. In particular, several critical editions of the set of documents (GUO SHUCHUN 郭書春 1990, LI JIMIN 李繼閔 1993) and translations into modern Chinese (SHEN KANGSHEN 沈康身 1997, GUO SHUCHUN 郭書春 1998, LI JIMIN 李繼閔 1998) appeared. As far as translations into other languages are concerned, before these Chinese translations, KAWAHARA 川原秀城 (1980) had given a translation into Japanese of *The Nine Chapters* and LIU HUI’s commentary. SHEN KANGSHEN’S 1997 translation was the basis of a translation into English (SHEN KANGSHEN et al. 1999). CHEMLA and GUO SHUCHUN (2004) contains a critical edition and a translation into French of *The Nine Chapters* and its two commentaries. Unless otherwise specified, this is the edition I take as a basis for this paper. Moreover, the reader can consult the bibliography in that book for a more complete set of references on the topic. In addition, I composed a glossary of technical terms used in *The Nine Chapters* and the commentaries, providing for each entry a discussion of the meanings and evidence supporting my claims (see CHEMLA and GUO SHUCHUN 2004, pp. 897–1035). Hereafter I shall refer to it as *Glossary*. Lastly, I adopted conventions to designate the various textual elements in the book. I refer to problems by the number of the chapter in which they occur and the place they have in the chapter. For instance, 4.16 refers to the 16th problem in Chapter 4. Texts of procedures in *The Nine Chapters* or passages of a commentary will be located by means of the number of the last problem placed before them.

The *Book of Mathematical Procedures* and *The Nine Chapters* are both composed, for the main part, of problems and algorithms related to them. My goal in this paper is first to highlight that analogy is a resource used to write down texts for algorithms and then to identify various ways in which analogy is used to do so. I shall show that one can distinguish two main uses of analogy. On the one hand, operations, sub-procedures or whole procedures can be *prescribed* by invoking an analogy. The reader is thus expected to understand this way of prescribing. We shall see that in some cases this is by no means obvious. On the other hand, the text of procedures can be written in such a way as to *point out* analogies, either between operations within a single procedure, or between different procedures. In such cases, the text is not purely prescriptive, but asserts something on the operations that it prescribes. We shall thereby bring to light fragments of a metadiscourse on mathematics within the mathematical texts themselves. To fulfil this program, we shall have to describe how these various textual acts are carried out and what the meaning of the analogies indicated is. In addition, I shall address the issue of what these properties of the texts tell us about the expected readers or users of the texts. Which expectations do such expressions of analogy disclose regarding what the reader is supposed to do with the texts? Which operations must the reader carry out to make sense of, and interpret, such analogies?

Three methods are available to help us tackle these issues on the basis of some historical evidence. In some cases, the books mentioned contain general algorithms as well as their applications to specific problems. Such situations provide evidence on how general algorithms were interpreted in terms of action, and they will prove useful to support the description of some texts. In other cases, we can rely on the interpretation that a commentator gives for a text of algorithm to determine how he reads the statement of an analogy. Lastly, we can observe diachronically what happened to the analogies expressed in the text of an algorithm. As we shall stress in conclusion, not only is the expression of these analogies remarkably stable in time, but also it can be shown that several concepts emerged in China as a reformulation of such expressions.

II. An Abstract Text for an Algorithm: Shaping an Analogy While Prescribing by Analogy

The first example that we shall examine is the text of an algorithm for the extraction of square roots that *The Nine Chapters* contains.⁹ It follows the statement of four problems (4.13–4.16), which each give the value of an area¹⁰ and ask for the side of the corresponding

9 See the critical edition and the annotated translation of the text of the algorithm and LIU HUI’s and LI CHUN-FENG’s commentaries on it in CHEMLA and GUO SHUCHUN (2004, pp. 361–369). In CHEMLA (1994), I analyzed in a comparative way various texts of algorithms for root extraction found in Chinese, Indian and Arabic sources. I refer the reader to the book and the article for a more global treatment of these texts and several assertions that I shall make here without repeating the argument. The new perspective on these texts adopted here is to focus systematically on the use of analogy in *prescribing* operations. Let me stress that here my argumentation uses an uncommon method: I rely on how in these previous publications I interpreted the procedures given by the original texts in order to examine now conversely how the prescriptions are carried out, my aim being to analyze properties of the text in and of itself. A bibliography on the topic of square root extraction in *The Nine Chapters* was also provided in my earlier publications. I shall not repeat it completely. In addition to the books on *The Nine Chapters* mentioned in footnote 5 above, let me mention two publications in English devoted to the topic (WANG LING and NEEDHAM 1955 [on HORNER’S method] and LAM LAY YONG 1970).

10 The area is designated by a term, *ji* 積, which also means “number product,” that is, number obtained by a multiplication. See *Glossary*, pp. 932–933. The values of the areas stated in the four problems are either integers or integers with fractions. Here, I shall limit myself to the part of the procedure that deals with integers.

square. The text of the procedure is abstract, which will have consequences, as we shall see, on how analogy is used in its formulation. It begins with the name of the operation that the procedure executes, which has been interpreted literally as: “Opening the square *kai fang* 開方,” and which I translate as “Extracting the square root.”¹¹ The text continues by the statement that always marks the beginning of a procedure *stricto sensu*: “The procedure says:”

When, within a procedure, *The Nine Chapters* prescribes extracting the square root of a given number, the operation is designated by the expression “dividing this by extracting the square root *kai fang chu zhi* 開方除之”.¹² This is one of the many assertions, indicating that square root extraction, like any kind of root extraction, was perceived in ancient China as a form of division. In accordance with this fact, the text of the procedure examined prescribes the operations needed to carry out a root extraction essentially by reference to the procedure of division, thereby shaping an analogy between the two processes of computation. In other terms, my claim is that the prescription through the text is done by analogy and at the same time the entire text is the expression of an analogy between the two processes of computations. To describe these phenomena in detail, let us start with a few words on the procedure of division.¹³

Like all the computations to which the mathematical sources from ancient China discussed here refer, the procedure of division in question prescribes computations that were to be executed on a computing instrument. In ancient China, the instrument was a surface on which numbers were represented with counting rods according to a place-value decimal system.¹⁴ On this surface, the numbers on which the practitioner executed a division were placed in distinct rows: the dividend in the middle one, the divisor in the lower one, and the successive digits of the quotient in turn in the upper row, following each other (see Tab. 1). Suppose one wants to divide 1311 by 23. The divisor is first placed under the dividend (step 1), and then moved forward, toward the left, as far as possible as long as it remains under the dividend (step 2). In the case chosen, 13 above 23 being smaller than 23, no digit of the quotient is sought, and the divisor is moved backwards by one column (step 3). In that position, the first digit of the quotient is determined and placed above the last digit of the divisor. The reason for this is simple: being in that position, the divisor has already been multiplied by the order of magnitude corresponding to the first digit of the quotient. One can thus simply multiply the divisor in that position, digit by digit, by the corresponding digit of the quotient to subtract gradually the result from the dividend above (steps 4 and 5. These steps correspond to the heart of the process, the “elimination *chu* 除,” which gave the whole operation of division its name). At that point, the part of the dividend corresponding to the first digit of the quotient, 5, has been dealt with. One thus moves the divisor again one column backwards (step 6) and

11 Compare *Glossary*, p. 945.

12 See CHEMLA and GUO 2006, problem 4.18.

13 I rely for this on the text for the procedure included in one of the *Ten Mathematical Canons*, the *Mathematical Treatise by Sunzi* (SUNZI SUANJING 孫子算經), see QIAN BAOCONG 錢寶琮 (1963, Vol. 2., pp. 282–283).

14 I shall use Arabic digits to write down numbers and I shall represent the successive configurations of numbers that follow each other on the surface during a computation within the framework of a table. The reader interested in the number system and the computations on the surface with them can compare LI YAN and DU SHIRAN (1987, pp. 8–19). We have no historical evidence regarding the material features of the surface at the time of *The Nine Chapters* or before. In particular, we do not know whether it was a specific object or simply any kind of surface available on which one could put rods. Moreover, the earliest extant illustrations of how computations were carried out on the surface date to the 13th century, or perhaps slightly earlier. One can restore the practices contemporary to *The Nine Chapters* on the basis of other types of evidence. I do not repeat the related arguments here.

determines the next digit of the quotient (step 7). The same process of elimination is applied to eliminate the part in the dividend corresponding to the second digit. At this point, in our case, the operation is over, but in other cases, it continues by mere iteration.

Tab. 1 Execution of a division on the surface

Step 1	Step 2	Step 3	Step 4	Step 5	Step 6	Step 7	Step8	(steps)
		5	5	5	5	57	57	upper
1311	1311	1311	311	161	161	161		middle
23	23	23	23	23	23	23	23	lower

On this basis, we are now able to observe the phenomena on which I want to focus here regarding the text for the procedure to extract square roots in *The Nine Chapters*. It begins as follows:

“One puts the number-product as dividend. Borrowing one rod, one moves it forward, jumping one column. The quotient being obtained, with it, one multiplies the borrowed rod, 1, once, which makes the divisor; then with this, one eliminates. 開方術曰：置積爲實。借一筭，步之，超一等。議所得，以一乘所借一筭爲法，而以除。”

I underlined in the text the terms that correspond to the technical terms used in relation to division. Without for the moment paying attention to the meaning of these prescriptions, we see that the number-product whose square root one extracts is taken “as dividend,” that a “1” is “moved forward” and will eventually yield a “divisor.” Lastly, we see that a quotient having been obtained, “elimination” with the “divisor” is prescribed. Accordingly, the first sequence of computations shares basically the same structure as that of a division. In fact, it also shares the same layout on the surface. Let me indicate which computations are meant, before I focus on *how* these computations are prescribed. I illustrate them on the basis of the value given in the first problem in *The Nine Chapters* (see Tab. 2).

Tab. 2 The first sequence of computations in a square root extraction: “(Step 1) One puts the number-product as dividend. (Steps 1 to 3) Borrowing one rod, one moves it forward, jumping one column. (Step 4) The quotient being obtained, (Step 5) with it, one multiplies the borrowed rod, 1, once, which makes the divisor; (Step 6) then with this, one eliminates.”

Step 1	Step 2	Step 3	Step 4	Step 5	Step 6	(steps)
			2	2	2	upper
55225	55225	55225	55225	55225	15225	middle
1	1	1	1	2	2	lower

We see that steps 1, 2, 3, 4 and 6 can be correlated to the corresponding ones in the process of computation of a division. In that correlation, the positions that receive the same name in the two algorithms enter in the computation in the same way.

Given that way of prescribing the first sequence of computations, what are the differences between the processes for root extraction and division? They all concentrate on the manage-

ment of the “divisor” row. First, instead of being simply “moved forward,” column by column, the number placed in that position is “moved forward, *jumping one column.*” In other words, the way of moving forward the number in the row, during the initial phase of the process of computation, has changed: one jumps above one column at each move. Secondly, instead of being directly multiplied by the digit in the “quotient” so that the product be eliminated from the “dividend,” the value of the number in the position of the divisor is preliminarily modified. These are the only two features of the first sequence of computations on which LIU HUI comments. This, in my view, suggests that the commentator does read the procedure of square root extraction in parallel to that of division. The nature of his comments confirms this idea.

As far as the move forward of the rod is concerned, LIU HUI explains that “when one says 100, its side is 10; when one says 10 000, its side is 100.” The move is related to the order of magnitude of the digit of the “quotient” dealt with, as I did above for the move of the divisor in a division.¹⁵ The commentary points out precisely where the difference with the move in division lies.

As far as the change in the value of the divisor is concerned, LIU HUI refers the reader to a diagram, which was not handed down. The features in which we are interested here can be restored as shown on Figure 1.¹⁶

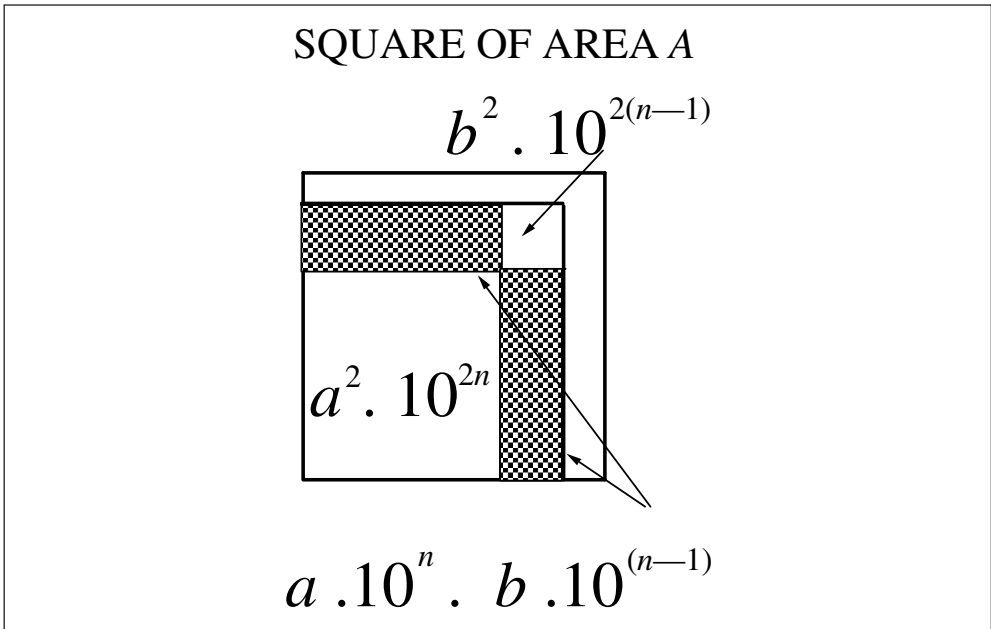


Fig. 1 Restoring LIU HUI’s diagram to account for the correctness of square root extraction

15 LI CHUNFENG’S commentary also emphasizes this point, but from another viewpoint, that of the relationship between the operations of multiplying by oneself and extracting a square root. This feature also characterizes other segments of his commentary on the square root extraction. For Li’s commentary, see CHEMLA and GUO SHUCHUN (2004, pp. 366–368).

16 Compare the diagram and my comment on its original form in Footnote 31 (CHEMLA and GUO SHUCHUN 2004, pp. 801–802). We need not enter into such details here.

LIU HUI first points out the meaning of the first digit obtained (let us call it a and designate its order of magnitude as 10^n): it is the side of the square in the lower left corner of the area A . He then goes on to say: “The fact that the upper and the lower [positions] are multiplied by each other in their positions means precisely that [this side] is multiplied by itself and [the result] eliminated.上下相命，是自乘而除也。”¹⁷ In other words, in the lower row, the computation placed $a \cdot 10^{2n}$. Eliminating this “divisor” with the corresponding digit of the quotient a amounts to computing $A - a \cdot a \cdot 10^{2n}$, that is, to yielding the value $A - (a \cdot 10^n)^2$. Subtracting from A the value of $(a \cdot 10^n)^2$ is the intended operation at this point. In general, LIU HUI makes use of a specific term, *yi* 意, to designate the “intention,” the “meaning” of an operation in *The Nine Chapters*. Making the meaning explicit is one key aspect of the proofs of the correctness of the algorithms of the canon that the commentators systematically expound.¹⁸ The way in which LIU HUI stresses that the operation under discussion is carried out is by placing $a \cdot 10^{2n}$ in the lower position, a as the digit of the “quotient,” and by making use of the elimination as practiced within a division. The commentary thus, on the one hand, makes explicit the meaning of the operation carried out—this is the part of the commentary devoted to proving the correctness of the procedure—and, on the other hand, reformulates the operations by reference to the layout and key operation of division. LIU HUI thereby relates explicitly the layout and functioning of root extraction to that of division. We can illustrate the computations meant symbolically as follows:

Tab. 3 The first sequence of computations in a square root extraction symbolically

Step 1	Step 2	Step 3	Step 4	Step 5	Step 6	(steps)
			$a \cdot 10^n$	$a \cdot 10^n$	$a \cdot 10^n$	upper
A	A	A	A	A	$A - a \cdot a \cdot 10^{2n}$	middle
1	10^2	10^{2n}	10^{2n}	$a \cdot 10^{2n}$	$a \cdot 10^{2n}$	lower

At this point, we can go back to our claims regarding analogy. First, let us observe the expectations that the text of the procedure betrays regarding how the reader makes sense of the prescriptions formulated. Clearly, when reading “one puts the number-product as dividend,” the practitioner is expected to know how to determine, on this basis, the position on the surface in which the number-product should be placed. The same holds true for where to place the “rod”, the “quotient,” the “divisor,” as well as for how to interpret the actions corresponding to “moving forward” and “eliminating.” My claim is that the analogy with the process of division that the text shapes is essential for the prescriptions to make sense and to possibly be turned into action. The same can be argued for the whole text. I shall not develop the argument any further, since the analysis of the initial section of the text suffices to illustrate the phenomenon. The text of the procedure thus betrays the expectation that its user will rely heavily on the analogy with division to translate the prescriptions into action.

However, the analogy is not only *used* as a basis to prescribe a process of computation, but it is also, at the same time, *shaped* by this description. My second claim goes one step further: this analogy is, in my view, *expressed, or given to be read*, by the way in which the text prescribes the procedure to extract square roots. Three arguments can be given in support of this claim.

17 On the technical terms used, and in particular, “multiply ... in their positions,” see *Glossary*.

18 See « *yi* intention, visée, sens, signification, raisonnement » (*Glossary*, pp. 1018–1022)

First, subsequent mathematical books in Chinese offer other procedures for root extraction. Although the texts differ, they all share the property of displaying an analogy with division *in exactly the same way*. However, the analogy expressed is not the same. In other terms, the *mode of expressing* the analogy is the same, even if the *meaning* of the analogy expressed differs. Furthermore, it can be shown that the change in the nature of the analogy is the result of a mathematical work, which has consequences beyond the topic of root extraction. More precisely, the analogy thereby asserted had a history and an import, which can be captured *only* through reading the analogy in that way. This supports the idea that the analogy expressed in that way was read as such and became the support of further work, whose result was again expressed in the same way. Moreover, in all these cases, the text for the procedure relies on the analogy to prescribe the operations.¹⁹

The second argument in favour of the idea that the text of the procedure for root extraction was meant to express an analogy between procedures is the artificial character, underlined above, of the way of computing $A - (a \cdot 10^n)^2$. I cannot see another explanation for this roundabout way of displaying the layout and prescribing the computation but the intention of displaying an analogy between the two processes of division and root extraction. In fact, on the basis of this initial statement of the analogy between the processes of computation, the subsequent part of the procedure for root extraction can be shaped throughout as analogous to division in the same way.

Thirdly, it can be established beyond doubt that in *The Nine Chapters* a similar way of expressing analogies was used to state the analogy between other procedures, that is, the procedures for square root and cube root extraction. If this can be established, this would mean that the interpretation of the way of writing down the text of the procedure that I suggest is not an isolated fact, but also accounts for how other texts are composed. My argument for this brings into play a key detail of the prescription of an operation in the initial section of the text, translated above. Let us indeed observe more closely the following sentence: “The quotient being obtained, with it, one multiplies the borrowed rod, 1, once, which makes the divisor.” I now underline the “once,” to point out the peculiar feature of the prescription that suggests multiplying “once yi —” by something. Some historians were tempted to believe that this feature resulted from a corruption of the text and that this “once yi —” was an interpolation, suggesting that it should be deleted.²⁰ The problem with this thesis is that twice in the same text for the procedure, it is prescribed to multiply once by something. Claiming that in the two places the text was corrupted is difficult to accept. It is true that *if* the text was purely prescriptive, one could not understand why one needs to stress that a multiplication is to be carried out once: it would suffice to prescribe the multiplication. In fact, the key point is that this “once yi —” precisely reveals that the text is not only prescriptive, but also makes a statement. It asserts an analogy with another procedure in the same way as above, and the “once yi —”

19 In CHEMLA (1994), I describe this phenomenon in greater detail. Moreover, I analyze the various ingredients that enter in the statement of the analogy. They include the terms used in the text of the procedure, the organization of the operations and the way of dynamically writing the process of computation on the surface on which computations were executed.

20 WANG LING and NEEDHAM (1955) holds this view. SHEN KANGSHEN 沈康身 (1997, pp. 244, 277) considers that the text is not corrupted, but does not translate the “yi 一.” GUO SHUCHUN 郭書春 (1998, p. 95) translates: “The number obtained by discussion, one uses its first power to multiply the borrowed rod, 1. 商議所得的數，用它的一次方乘所借1算。” LI JIMIN 李繼閔 (1998) understands and translates as I suggested.

plays a part not in the prescription, but in the assertion. If we translate the initial section of the procedure for cube root extraction given in *The Nine Chapters*, it reads as follows:

“One puts the number-product as dividend. Borrowing one rod, one moves it forward, jumping two columns. The quotient being obtained, with it, one multiplies the borrowed rod, 1, twice, which makes the divisor; then one eliminates this. 置積爲實，借一筭，步之，超二等。議所得，以再乘所借一筭爲法，而除之”

The subsequent part of the text presents a similar relationship to that of the procedure for square root extraction. Clearly, the text is written in such a way as to express how the two procedures relate to, and differ from, each other. The detail on which we focus, the prescription of “multiplying once,” makes sense only if one understands that it is put in parallel with the prescription of “multiplying twice” in the corresponding step of the cube root extraction.²¹ The use of the operation of “multiplying once” enters into the shaping of a network of relationships between the two texts that their formulations establish. We can thus conclude that the text analyzed at the same time prescribes a procedure and asserts an analogy with another procedure, that of cube root extraction. Moreover, this is done in the same way as the assertion of the analogy between square root extraction and division, which I examined above. In addition, in the same way as what I emphasized above about that other case, the assertion of the analogy between procedures for root extraction also underwent transformations throughout history: it was modified in its meaning, but not in the way of asserting it, which remained the same.

In conclusion, all these facts support my suggestion that the text for the square root extraction recorded in *The Nine Chapters* not only relies on an analogy to prescribe computations, but also asserts an analogy – and, in fact, even more than one – in the way in which it is formulated. This illustrates one way in which analogy was used to write down texts for procedures, one that seems to me specific to one of the scholarly cultures that took shape in ancient China. We can assume that practitioners learnt how to interpret and use such texts.

In fact, the same text illustrates other ways in which analogy was used in order to write down algorithms. Let us go on with our reading of the text to examine them from the same perspective, that is, to examine how analogy enters in the way in which prescription is carried out. We shall thereby move from observing the prescription of a whole procedure to dealing with the prescription of an operation or a sub-procedure.

III. What Is at Stake in Prescribing an Operation by Analogy?

LIU HUI explains the subsequent operations prescribed by the procedure by reference to his diagram (Fig. 1). Let me reformulate his reasoning in modern terms. After step 6 in the procedure for root extraction (see Tab. 3), there remains, in the middle row of the surface for computing, the area of the gnomon left when one has taken, out of the square of area A , the square of area $(a \cdot 10^n)^2$. To deal with the next digit of the root, b , having the order of magnitude 10^{n-1} , one has to subtract, from the area of this gnomon, that of a gnomon of width $b \cdot 10^{n-1}$.

²¹ The same thing happens for the second occurrence of “multiplying once” in the procedure. Moreover, within the text of the cube root extraction, two steps are put in parallel in exactly the same way (CHEMLA and GUO SHU-CHUN 2004, pp. 373–374).

The latter gnomon is composed of two kinds of geometrical pieces: on the one hand, two rectangles, squared on the diagram and each having an area equal to $(a \cdot 10^n)(b \cdot 10^{n-1})$, that is, altogether $2ab \cdot 10^{2n-1}$; on the other hand, a square of area $(b \cdot 10^{n-1})^2$. The procedure of *The Nine Chapters* carries out deleting this gnomon from the previous one by “elimination,” that is, by composing a “divisor” equal to $(2a \cdot 10^{2n-1} + b \cdot 10^{2(n-1)})$ and “eliminating” with the digit b in the “quotient,” thereby subtracting $(2a \cdot 10^{2n-1} + b \cdot 10^{2(n-1)}) \cdot b$.

The first series of operations to carry out this program consists of transforming $a \cdot 10^{2n}$, which remains in the lower row, into $2a \cdot 10^{2n-1}$. LIU HUI explains²² that it is in order to do so that *The Nine Chapters* prescribes:

“After having eliminated, one doubles the divisor, which gives the fixed divisor. If again one eliminates, one reduces the divisor, moving it backwards. 除已，倍法爲定法。其復除，折法而下。”²³

The second series of operations, which aims at computing $b \cdot 10^{2(n-1)}$, is prescribed in a way that makes use of an analogy:

“Again, one puts a borrowed rod; one moves it forward like at the beginning; with the next quotient, one multiplies it once. 復置借筭，步之如初。以復議一乘之。”

In fact, we shall see that there are several occurrences of the term “like *ru* 如” to prescribe operations in the texts of algorithms written in ancient China. They are not always as easy as this one to interpret in terms of action. Here, the “like” characterizes the way in which the operation of “moving forward” must be executed. It refers clearly to the previous occurrence of the term: one moved forward by jumping one column. In that new context, the value obtained at the end is $10^{2(n-1)}$. What is interesting here is LIU HUI’s commentary on the sentence translated above. Relating the computations to the fact that one wants to remove the area of the square in the corner of the gnomon, he goes on: “The corresponding intention is like that for (the number) obtained at the beginning. 其意如初之所得也.” I introduced above the term “intention” that LIU HUI uses here. It is important, since it refers to the meaning of the results yielded by the operations and thereby to the reasoning that runs behind the sequence of computations and accounts for its correctness. In other words, the prescription by analogy in *The Nine Chapters* echoes the emphasis placed in the commentary to an analogy between the reasons underlying the analogous operations. The oldest reader whom we can observe seems to interpret such prescriptions as indicating a similarity at a deeper level, which he makes explicit in his commentary. As we shall see in what follows, this will be a recurring feature of the commentaries on such kinds of prescription.

This gives an indication of what a reader does to interpret the prescription in terms of “meaning *yi*.” Now, which expectation do the texts for procedures betray regarding what the reader ought to do to interpret such prescriptions in terms of action? The next occurrence of *ru* “like,” again within the framework of the procedure for square root extraction, will show

²² His commentary discusses the intention of the operations by means of a comparison with the procedure of division. The analogy expressed between the procedures is correlated to the fact that the commentator accounts for the operations in one procedure by reference to the other. We shall come back to these issues below.

²³ The reason why the condition is placed between the two operations is discussed in my introduction to Chapter 4 in CHEMLA and GUO SHUCHUN (2004, pp. 323–329). In addition, I also analyze there the assignment of variables that amounts to naming “divisor” the successive quantities that follow each other in the row under that of the dividend. Since these points are not essential for my topic here, I do not develop them any further.

that the answer to this question is not straightforward. To approach it, let us first summarize in Table 4 and in modern terms what has happened on the surface after step 6 of Table 3 and until the point we reached above:

Tab. 4 The subsequent sequence of computations of the square root extraction in modern terms: “(step 6) After having eliminated, (step 7) one doubles the divisor, which gives the fixed divisor. (steps 8, 9) If again one eliminates, one reduces the divisor, moving it backwards. (step 10) Again, one puts a borrowed rod; (step 11) one moves it forward like at the beginning; (step 12) with the next quotient, one multiplies it once.”

Step 6	Step 7	Step 8	Step 9	(steps)
$a \cdot 10^n$	$a \cdot 10^n$	$a \cdot 10^n$	$a \cdot 10^n + b \cdot 10^{n-1}$	upper
$A - (a \cdot 10^n)^2$	$A - (a \cdot 10^n)^2$	$A - (a \cdot 10^n)^2$	$A - (a \cdot 10^n)^2$	middle
$a \cdot 10^{2n}$	$2a \cdot 10^{2n}$	$2a \cdot 10^{2n-1}$	$2a \cdot 10^{2n-1}$	lower

Step 10	Step 11	Step 12	(steps)
$a \cdot 10^n + b \cdot 10^{n-1}$	$a \cdot 10^n + b \cdot 10^{n-1}$	$a \cdot 10^n + b \cdot 10^{n-1}$	upper
$A - (a \cdot 10^n)^2$	$A - (a \cdot 10^n)^2$	$A - (a \cdot 10^n)^2$	middle
$2a \cdot 10^{2n-1}$	$2a \cdot 10^{2n-1}$	$2a \cdot 10^{2n-1}$	lower
1	$(10^{n-1})^2$	$b \cdot (10^{n-1})^2$	below

At this point, the procedure prescribes adding what has been placed below, to yield the would-be “divisor,” that is $(2a \cdot 10^{2n-1} + b \cdot 10^{2(n-1)})$. Having been placed “in auxiliary,” the value added still remains on the surface after the computation. Once the elimination is executed, the same line below is, this time, added to the value in the “divisor” row, in such a way as to disappear from the surface. LIU HUI interprets this last operation as aiming to prepare the sides of the new squared rectangles, those corresponding to the greater gnomon that has now been taken out of the original square. One recognizes the motivation he lent to step 7, further up. We can illustrate this sequence of operations symbolically as shown on Table 5.

Tab. 5 The final sequence of operations for the second digit

Step 13	Step 14	Step 15	(steps)
$a \cdot 10^n + b \cdot 10^{n-1}$	$a \cdot 10^n + b \cdot 10^{n-1}$	$a \cdot 10^n + b \cdot 10^{n-1}$	upper
$A - (a \cdot 10^n)^2$	$A - a^2 \cdot 10^{2n} - [2a \cdot 10^{2n} - 1 + b \cdot 10^{2(n-1)}] \cdot b$	$A - (a \cdot 10^n + b \cdot 10^{n-1})^2$	middle
$2a \cdot 10^{2n-1} + b \cdot 10^{2(n-1)}$	$2a \cdot 10^{2n-1} + b \cdot 10^{2(n-1)}$	$2[a \cdot 10^{2n-1} + b \cdot 10^{2(n-1)}]$	lower
$b \cdot (10^{n-1})^2$	$b \cdot (10^{n-1})^2$		below

The corresponding part of the text of the procedure in *The Nine Chapters* reads as follows – for the sake of clarity, I insert, between brackets, references to the steps introduced in the Tables above:

“[step 13] What is obtained being in auxiliary, one adds it to the fixed divisor; [step 14] with this, one eliminates. [step 15] What has been obtained in auxiliary joins the fixed divisor. 所得副以加定法，以除。以所得副從定法。”²⁴

If we resume observing the computations for the example chosen above (Tab. 2), we have the following sequence of configurations on the surface, corresponding to the subsequent steps in the procedure (see Tab. 6).

Tab. 6 The subsequent sequence of computations of the square root extraction numerically (skipping the separate display of some steps)

Step 6	Step 7	Step 9	Step 11	Step 13	Step 14	Step 15	(steps)
2	2	23	23	23	23	23	upper
15225	15225	15225	15225	15225	2325	2325	middle
2	4	4	4	43	43	46	lower
			1	3	3		below

It is the next sentence of the text of the procedure that is important for my argument. It reads:

“If again one eliminates, one reduces by moving backwards like before. 復除，折下如前.”

In fact, this sentence concludes the part of the text for the procedure that deals with integers, if we leave out a final sentence, which prescribes how to state the result as a “square root of A,” in case the number is not used up at the end of the process of computation.²⁵ However, it is clear that, although the text stops here, in cases like step 15 in Table 6, the computation does not. The reader must understand the actions to be carried out from that point onwards on the basis of the prescription by analogy: “one reduces by moving backwards like before.”

In terms of computations, what must be done at this stage is clear: the practitioner must go upstream in the text, precisely at the point where one reads: “If again one eliminates, one reduces the divisor, moving it backwards.” From this point onwards, he or she must follow the same list of operations until reaching again: “If again one eliminates, one reduces by moving backwards like before.” There, either one does not eliminate further, and moves to the final sentence, or again one goes back upstream in the same way. The fact that this is what the text expects the reader to do is confirmed by the seventh century commentary, written under LI CHUNFENG’S supervision. After having, like LIU HUI, made explicit what the intention of step 15 was – aiming to prepare the sides of the new squared rectangles –, the commentary continues as follows: “this is why extracting this (that is, the root of the area of the remaining gnomon) like before, the result is conform to what was asked for. 故如前開之，即合所問.” We have another indirect confirmation that this is how the statement by analogy is to be understood: we find exactly the same statement in the text of the algorithm for cube root extraction in *The Nine Chapters* and it is to be turned into action in exactly the same way.

²⁴ The latter term expressing an addition, “joining,” prescribes the operation in a dissymmetric way: the result of the sum is thereby stated to be of the same kind, and at the same place, as the quantity “joined.”

²⁵ This sentence becomes relevant at the very end of the computation. Observing at some point that the number whose root is sought is not exhausted, the practitioner yields the result in an entirely different way. On the interpretation of the sentence and its import, compare the introduction to Chapter 4 in CHEMLA and GUO SHUCHUN 2004.

Now, on this basis, several questions regarding the text of the procedure can be raised: how is the flow of computations actually indicated? How does the practitioner read the text and turn it into action? What can we say about the way in which the text was composed? Let us consider these questions in turn.

First, let us focus on how the sentence “If again one eliminates, one reduces by moving backwards like before” relates to the computations to be carried out. In case the condition is irrelevant, the sentence is skipped and the practitioner considers the following sentence: this is how conditionals are formulated in present-day texts for algorithms. For our purpose, what is interesting is the case in which the condition is fulfilled. The “like before” points out a sentence in the text upstream where one reads: “If again one eliminates, one reduces [...], moving backwards.” However, the prescription is *not* to proceed by analogy *with this step*, but to proceed by analogy with the previous digit *from this step onwards*. The statement by analogy indicates a way of circulating in the text, moving back upstream and using the same segment of text starting from a specific point that it designates. This is done as many times as there are digits to be found in the root after the second one. The procedure of computation actually executed derives from the text by means of a specific circulation in the text. One recognizes how iterations can be written down in present-day algorithms. However, here, the “go to” prescription is carried out by means of a specific statement of analogy.

Note that the same prescription by “like,” that is, by analogy, does not correspond to the same action above and here. Above, the prescription “like in the beginning” indicated that the action qualified in that way had to be executed *in the same way* as earlier. Now, the expression “like before” is placed after the statement of a sequence of operations that is to be found upstream and from which to proceed by analogy. In a sense, the prescription of the same list of operations is carried out by a combination of analogy and synecdoche. Exactly the same two ways of prescribing by analogy are to be found in the text of the cube root extraction.

This leads us to the question of determining how the practitioner reads and understands which action should be taken. Concretely, what does the practitioner do when facing the sentence “If again one eliminates, one reduces by moving backwards like before”? It is interesting to observe LIU HUI’s commentary here. With respect to this sentence, the commentator remains silent.²⁶ However, right before this sentence, he had shown how the previous operation (“What has been obtained in auxiliary joins the fixed divisor,” which is step 15), although different from the operation “one doubles the divisor,” in step 7, had the same intention: one prepares the sides of the new squared rectangles, corresponding to the gnomon that has at this stage been taken out of the original square. After step 15, LIU HUI shows that one thus faces the same situation as after step 7. When the sentence following step 15 – the one having the prescription by analogy – brings the practitioner back to the sentences following step 7, that is, steps 8 and 9 – “if again one eliminates, [...]” – he or she is also brought back to the same intention (“eliminating”), to the same commentary of the following operations, that is, the same interpretation of their meaning. The meaning of the subsequent operations, whether one considers them the first or the second time, is the same. The commentary makes the meaning of each step explicit: the meaning remains identical, whenever in the process of computation the operations are used. Whether one makes use of any segment of this part of the text for the second or the third digit, its meaning need not be repeated. Incidentally, we meet again with

²⁶ The same thing occurs in the corresponding passage of the cube root extraction. Everything that is said here of LIU HUI’s commentary holds true for the text for the cube root extraction.

the phenomenon that the statement of an analogy relies on an analogy at the deeper level of the reasons underlying the operations.

LIU HUI's silence after the step in which we have the prescription by analogy is correlated to the fact that the analogy brings us back at a point in the text situated before, where we can find a relevant commentary. This correlation leads us to assume that the commentator expects that the reader seeks the commentary on the step under examination in the commentary after steps 8 and 9. The way in which the text of the algorithm with the commentary is organized seems to imply, more generally, that the reader will use the same sentences of the commentary, whenever, in the flow of computations, he or she follows the same prescriptions from the text in *The Nine Chapters*. This interpretation of LIU HUI's silence is supported by the content of LI CHUNFENG's commentary. Let me recall that, after having, like LIU HUI, stressed that the geometrical interpretation of the situations after step 7 and after step 15 was the same, he concludes: "this is why extracting this (that is, the root of the area of the remaining gnomon) like before, the result is conform to what was asked for." From what I underlined, we see that LI CHUNFENG *derives* the fact that one should carry out the whole extraction *as before* from the fact that the situations created by step 7 and step 15 are the same. For the two commentators, the reasons underlying the various operations seem to guide how to proceed.

When *we* determine how to use the text, we rely on an understanding of what each step does. The commentary provides this understanding, making it explicit. It is thus tempting to assume that the reader of *The Nine Chapters* was expected to determine how to use the text by relying on an understanding of what the operations do, an understanding that he or she elaborated while using the text and that took a form similar to that provided in the commentary. We shall meet below other examples of texts that make use of analogy and cannot be used by a practitioner, unless one assumes that the practitioner understands the meaning of the operations while executing them. Let me for the moment summarize my answer to the question of what the practitioner does when facing the sentence examined. My assumption is that he or she understands that the situation in which the sentence occurs (step 15) is the same as the situation in which the same operations were prescribed earlier, after step 7 (eliminating again, reducing, moving backwards): this is what the statement of an analogy in the text of *The Nine Chapters* points out. Thereafter, the understanding of the operations guides the re-use of the text from the earlier point onwards. In other words, the kind of understanding that the commentary provides is essential for using the text of the algorithm and for determining how the analogy is to be turned into action. This assumption appears to me to be supported by two facts. On the one hand, such an understanding is precisely what LIU HUI adds to the text and what the written tradition chose to hand down with the text. On the other hand, this assumption accounts for how the text as it is provided in *The Nine Chapters* can be used by a practitioner. The fact that such a prescription by analogy is successful reveals that the reader understands the reasons underlying the algorithm when using the text.

Let us now observe the text from another angle and ask what it teaches us regarding the way of writing down such texts for algorithms. The formulation of the text relies on the fact that the same list of operations could be determined for dealing with each digit of the root after the first one. This was necessary for the text to yield the computations to be executed on the basis of a single statement of the sequence and the circulation described above. Composing such a text for the algorithm required that a comparison be carried out between the various lists of operation that could be applied to deal with a digit, until a single and common list for all digits after the first one be identified. The text of the algorithm thus seems to indicate that

the search for analogy between sequences of operations has been a guiding motivation until the formulation as we have it in *The Nine Chapters* was found.

Using a single text repeatedly for the successive digits, thanks to the iteration analyzed above, is, however, one of the various possible statements of the analogy between the treatments of different digits. The text in *The Nine Chapters* that we examined can make use of an iteration because the algorithm is written down in an abstract way. There exist other types of texts for algorithms to carry out extracting square roots in other Chinese treatises, in which the algorithm is prescribed by means of a paradigm. In such cases, the analogy between the treatments of different digits is expressed by means of an analogy between the segments of texts devoted to the various digits. We shall now observe a text of that type for an algorithm given in *The Nine Chapters* for another operation. This will lead us to examine yet another mode of expression by analogy in the statement of an algorithm.

IV. A Paradigmatic Text for an Algorithm: Another Modality of Prescribing by Analogy

Each of the nine chapters that compose the canon begins with a general procedure that somehow encompasses the content of the following chapter. These general procedures are all formulated in abstract terms, some even being given outside the framework of any problem, except two of them. We shall concentrate here on one of these two exceptions: the procedure given to carry out the operation “measures in square *fangcheng* 方程.”²⁷ The algorithm solves systems of simultaneous linear equations, which form the topic of chapter 8 in *The Nine Chapters*. It amounts to the Gauss elimination method. If we represent a system of linear equations [I] in modern terms as follows:

$$\begin{aligned} a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1n}x_n &= b_1 \\ a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \dots + a_{2n}x_n &= b_2 \\ &\bullet \\ &\bullet \\ &\bullet \\ a_{n1}x_1 + a_{n2}x_2 + \dots + a_{nn}x_n &= b_n \end{aligned}$$

The algorithm transforms it by successive eliminations between equations into system [II]:

$$\begin{aligned} \alpha_{11}x_1 + \alpha_{12}x_2 + \dots + \alpha_{1n}x_n &= \beta_1 \\ \alpha_{22}x_2 + \dots + \alpha_{2n}x_n &= \beta_2 \\ &\bullet \\ &\bullet \\ &\bullet \\ \alpha_{nn}x_n &= \beta_n \end{aligned}$$

Thereafter, the last unknown can be determined, then the second to last and so on.

In *The Nine Chapters*, the system is represented on the surface for computing by means of a place-value notation. System [I], in modern terms, thus becomes system [I’]:

²⁷ See the critical edition and the annotated translation in CHEMLA and GUO SHUCHUN 2004, pp. 616–659. The reader will find there the arguments supporting the claims that I do not argue here.

$$\begin{array}{cccccc}
 a_{n1} & \bullet & \bullet & \bullet & a_{21} & a_{11} \\
 a_{n2} & \bullet & \bullet & \bullet & a_{22} & a_{12} \\
 \bullet & \bullet & \bullet & \bullet & \bullet & \bullet \\
 \bullet & \bullet & \bullet & \bullet & \bullet & \bullet \\
 a_{nn} & \bullet & \bullet & \bullet & a_{2n} & a_{1n} \\
 b_n & \bullet & \bullet & \bullet & b_2 & b_1
 \end{array}$$

Elimination is carried out between columns until one obtains system [II']:

$$\begin{array}{cccccc}
 & & & & \alpha_{11} & \\
 & & & & \alpha_{22} & \alpha_{12} \\
 & & \bullet & \bullet & \bullet & \\
 & \bullet & \bullet & \bullet & \bullet & \\
 \alpha_{nn} & \bullet & \bullet & \bullet & \alpha_{2n} & \alpha_{1n} \\
 \beta_n & \bullet & \bullet & \bullet & \beta_2 & \beta_1
 \end{array}$$

With these elements, we are now in a position to observe how *The Nine Chapters* prescribes the operations. The text for the algorithm is formulated with respect to Problem 8.1, which reads as follows:

(8.1) “Suppose that 3 *bing* of high-quality millet, 2 *bing* of medium-quality millet and 1 *bing* of low-quality millet produce [*shi*] 39 *dou*; 2 *bing* of high-quality millet, 3 *bing* of medium-quality millet and 1 *bing* of low-quality millet produce 34 *dou*; 1 *bing* of high-quality millet, 2 *bing* of medium-quality millet and 3 *bing* of low-quality millet produce 26 *dou*. One asks how much is produced respectively by one *bing* of high-, medium- and low-quality millet.²⁸ 今有上禾三秉，中禾二秉，下禾一秉，實三十九斗；上禾二秉，中禾三秉，下禾一秉，實三十四斗；上禾一秉，中禾二秉，下禾三秉，實二十六斗。問上、中、下禾實一秉各幾何。”

The first segment of the text for the procedure prescribes how to put the values on the surface:

“One puts the 3 *bing* of high-quality millet, the 2 *bing* of medium-quality millet, the 1 *bing* of low-quality millet, and the 39 *dou* of production on the right hand-side. In the middle and the left [columns], the millets are put like on the right hand side 置上禾三秉，中禾二秉，下禾一秉，實三十九斗於右方。中、左禾列如右方。”

We thus first notice that the layout of the values on the surface for computing is described by resorting to an analogy of a kind encountered above: by means of the prescription “like,” one qualifies how values should be placed. At the end of this first step, the surface shows the following array (Tab. 7).

28 *Bing* 秉 designates a unit of capacity from a different system of units as that of the *dou*. There is a second possible interpretation for this statement. I evoke it below, but we need not enter into these details here. Compare the reference in the preceding footnote.

Tab. 7 Step 1 of the algorithm for systems of linear equations

1	2	3
2	3	2
3	1	1
26	34	39

Note that the positions of the values on the surface echo the kind of quality of the grain to which they correspond. There is a double meaning to the whole statement of the problem, the term “produce *shi*” being also the technical term for “dividend.” We also note that the text of the algorithm makes use of the statement of the problem. This feature will hold true in the subsequent section of the text. In it, the description also relies on the layout to prescribe the operations to be carried out. The following steps of the algorithm reads as follows:

“With [the amount of] high-quality millet in the right column, one multiplies the whole of the middle column, and with [the right column], one eliminates uprightly. 以右行上禾徧乘中行，而以直除。”

We can restore the computations to which it corresponds on the surface as follows (Tab. 8).

Tab. 8 Steps 2 and 3 of the algorithm for systems of linear equations

1	6	3	1	0	3
2	9	2	2	5	2
3	3	1	3	1	1
26	102	39	26	24	39

LIU HUI comments on these two steps by explaining why, proceeding in that way, the upper value in the middle column will vanish. As a consequence, he continues: “If thus one made the head position disappear, then, below, one eliminated the production (*shi*) of one type of thing. 若消去頭位，則下去一物之實.” The phenomenon in which we are interested occurs in the next sentence of the text for the procedure. It reads:

“Moreover, [with (the amount of) high-quality millet in the right column], one also multiplies [the whole of] the column following that one [that is, the left column(s) which follow(s) the middle one, since one goes from right to left] and, with it [the right column], one likewise eliminates 又乘其次，亦以直除。”

In terms of computations on the surface, this sentence corresponds for our problem to steps 4 and 5 (Tab. 9).

Tab. 9 Steps 4 and 5 of the algorithm for systems of linear equations

3	0	3	0	0	3
6	5	2	4	5	2
9	1	1	8	1	1
78	24	39	39	24	39

We see that the same sequence of steps is repeated. In the text, it corresponds to a segment in which the same operations occur. Moreover, in addition to the indication that one takes the following column, two particles, which I underlined, mark the repetition. The first one, *you* 又, can be interpreted as indicating that the same object is taken to operate. More importantly for our purpose, the second one, *yi* 亦, which means “also,” in the sense of “likewise,” undoubtedly points to a similarity between the operation and the previous one.²⁹ Why, one may ask, does the author of a text for a procedure underline a similarity? This again contradicts the common idea that ancient texts for procedures were merely prescriptive: the “likewise” adds nothing to the prescriptive content of the text. To capture the meaning that ancient authors read in the particle, we can turn to LIU HUI’s commentary. LIU HUI writes: “Once more, one gets rid of the head [position] of the left column. 復去左行首.” In other words, the commentator echoes the “likewise” by pointing out that the intention of the operation is similar to the intention of the previous operation. The same conclusions as above can be drawn. On the one hand, the text of the procedure does not only prescribe, but it also states analogies, in this case, analogies between operations within the same procedure. If we recapitulate what we have so far analyzed, we see that the arsenal of techniques for expressing analogies by means of stating a procedure to which our sources bear witness is rich. On the other hand, when an operation is qualified with the term “likewise,” the commentator interprets that the similarity concerns the reasons underlying the use of the operations. In what follows, we shall meet other uses of the particle “likewise *yi*.” For each of them the same conclusions hold. To begin with, let us observe the second occurrence in the final section of the procedure examined here. The text of the procedure continues:

“Then, with the [amount of] medium-quality millet of the middle column, if it has not vanished, one multiplies the whole of the left column, and with [the middle column], one eliminates uprightly. 然以中行中禾不盡者徧乘左行，而以直除。”

Tab. 10 Steps 6 and 7 of the algorithm for systems of linear equations

0	0	3	0	0	3
20	5	2	0	5	2
40	1	1	36	1	1
195	24	39	99	24	39

The text of the algorithm here does not underline the similarity of this step with the preceding one. However, LIU HUI comments: “Likewise, one makes the two columns eliminate with each other the medium-quality millet of a column. 亦令兩行相去行之中禾也.” We see that what, for the text of the square root extraction, took the shape of an iteration is here formulated as the repetition of the same operations, each prescription making explicit on which terms the operations act.

The system remaining on the table can be represented in modern terms as follows:

$$\begin{aligned} ax + by + cz &= d \\ b'y + c'z &= d' \\ c''z &= d'' \end{aligned}$$

²⁹ Compare the *Thesaurus Linguae Sinicae*, <http://tls3.uni-hd.de/>, synonym group “also, on the contrast between various particles meaning “also.”

On this basis, we can outline the final section of the algorithm as follows (CHEMLA 2000):

$$z = \frac{d''}{c''}$$

$$y = \frac{\frac{d'c'' - c'd''}{b'}}{c''}$$

$$x = \frac{\frac{c''d - cd'' - b\frac{d'c'' - c'd''}{b'}}{a}}{c''}$$

The text of *The Nine Chapters* that corresponds to these computations reads as follows:

“If the [amount of] low-quality millet on the left hand side has not vanished, the upper [position] is taken as divisor and the lower as dividend. The dividend is thus the dividend [*shi*] of the low-quality millet.

To seek the medium-quality millet, one multiplies by the divisor, the lower dividend of the middle column and eliminates the dividend of the low-quality millet³⁰. The remainder is divided by the amount of *bing* of the medium-quality millet, thus giving the dividend of the medium-quality millet.

To seek the high-quality millet, likewise one multiplies by the divisor, the lower dividend of the right column and eliminates the dividend of the low-quality and medium-quality millets. The remainder is divided by the amount of *bing* of the high-quality millet, thus giving the dividend of the high-quality millet. The dividends are all divided by the divisor, which yields in each case the result in *dou*. 左方下禾不盡者，上爲法，下爲實。實即下禾之實。求中禾，以法乘中行下實，而除下禾之實。餘，如中禾乘數而一，即中禾之實。求上禾，亦以法乘右行下實，而除下禾、中禾之實。餘，如上禾乘數而一，即上禾之實。實皆如法，各得一斗。”

One need not follow the details of the algorithm to understand the two conclusions I derive from this quotation.

The first conclusion regards the *yi* “likewise” that recurs in this part of the text. Again, the commentator shows that it corresponds not only to the fact that the same operations are repeated on other entities, but also to the fact that the motivations to use the operations, the reasons underlying them, are the same. In accounting for the meaning of the operations on the right column (last equation above), through which he establishes the correctness of the algorithm, he writes: “accordingly this is likewise like before. 故亦如前.” The oldest reader that we can document thus reads here the *yi* “likewise” to state an analogy, having a bearing once more on the reasons why the operations are used. Again here, regarding how the text is written, the text of the algorithm does not only prescribe, but by means of such particles it makes a statement with respect to the inner structure of the flow of operations. Most probably,

30 On the fact that this expression is to be understood as referring to the subtraction of $c'd''$, compare footnote 28, in CHEMLA and GUO SHUCHUN 2004, p. 865. The same holds true for the corresponding expression below.

the author of the text expected the reader to make sense, in the same way as LIU HUI does, of these features of the text.

The second conclusion that can be drawn from the example concerns the way in which the algorithm is formulated in *The Nine Chapters*. As already mentioned above, in contrast to the text of the procedure for extracting square roots analyzed above, the text here is not abstract, but entirely written with reference to a particular problem, that of millets.³¹ It is a general feature of ancient texts of algorithms not only in Chinese, but also in Akkadian and other languages, that they regularly describe an algorithm within the framework of a particular problem, which outlines a specific situation and provides specific values. However, despite this feature, the algorithms meant are general. This is all the more true for “measures in square” that, as I said earlier, it is placed at the beginning of a chapter in *The Nine Chapters*. The question is: How did a reader use the algorithm described in that way for another case? The formula, by means of which *The Nine Chapters* refers the solution of all the other problems, in chapter 8, to the algorithm just described is quite interesting for us: it says: “[one solves it] like ‘measures in square *fangcheng*’.”³² We meet again here with the prescription by means of “like *ru*.” However, in this example, it now prescribes the whole procedure. It is thus by analogy with the algorithm formulated with respect to a paradigm that the practitioner must use it for all the other cases. It is in this sense that I asserted, at the beginning of this article, that analogy in general played a key role in how algorithms are written. This, however, does not constitute a full reply to the question. How does the practitioner adapt an algorithm described for a problem in which there were three unknowns to the variety of systems compiled in chapter 8? I believe that, here again, the kind of understanding that LIU HUI makes explicit in his commentary is essential to the practice of analogy that allows a reader to derive from a paradigm the actions to be taken in any other possible case. In my view, the same kind of understanding is required to fulfil the prescription “If again one eliminates, one reduces by moving backwards like before,” examined above, or to make use of the procedure for *fangcheng* for any other problem. Again the analogy at the level of the underlying reasons appears to play an essential part in how texts for algorithms are used.

At this point of my article, the reader may be tempted to believe that the expression of an analogy within the text of an algorithm mainly indicates that an operation or a sub-procedure must be carried out by imitating a corresponding one, whether one iterates an action or reproduces how it was executed within another context. For instance, the “*yi* likewise” discussed above stressed an iteration, while the “*ru* like” in the statement of an algorithm indicated the need to “copy” a procedure to solve a problem. Yet, the example of root extraction examined in Section 2 of this article already showed that the analogies that captured the interests of the authors and which they expressed in formulating algorithms had a wider range. I shall now quote another instance in which the particle “*yi* likewise” is used in the text of an algorithm to indicate only that operations following each other are linked by the fact that they share the same reasons, without being an iteration of one another.

The example chosen is that of the algorithm given in *The Nine Chapters* to compute the mean value of any set of fractions. In addition to its use of “*yi* likewise,” it is interesting be-

31 The commentator addresses this feature. Compare CHEMLA 2000.

32 The formula begins the procedures for solving 8.2, 8.4, 8.5, 8.6, 8.7, 8.9, 8.10, 8.11, 8.15, 8.16 (two unknowns), 8.3, 8.8, 8.12 (three unknowns), 8.14, 8.17 (four unknowns), 8.18 (five unknowns) and 8.13 (six unknowns). Regularly the procedure goes on to prescribe how to modify *fangcheng* by grafting on it the procedure specifying what to do in cases where positive and negative marks must be introduced.

cause it brings us closer to the other Chinese mathematical source, the *Book of Mathematical Procedures*, in which the texts of the algorithms for fractions regularly use the particle *yi* in the same way. Let us examine the procedure for “averaging” fractions, before turning precisely to the *Book of Mathematical Procedures*. Given n fractions, the algorithm contained in *The Nine Chapters* computes their mean value and the difference between each of them and the mean value. Here, we shall be interested only in the first part of the text. It can be summarized in modern terms as follows:

Given n fractions $\frac{a_i}{b_i}$, for $i = 1, \dots, n$, one computes first the two terms of the sum of the

fractions $\frac{\sum_{i=1}^n a_i \prod_{j \neq i} b_j}{\prod_{j=1}^n b_j}$. Then $\frac{\sum_{i=1}^n a_i \prod_{j \neq i} b_j}{n \cdot \prod_{j=1}^n b_j}$ yields the mean value, while $\frac{n \cdot a_i \prod_{j \neq i} b_j}{n \cdot \prod_{j=1}^n b_j}$ yields the form of

the fraction $\frac{a_i}{b_i}$ that can be directly subtracted from the mean value to compute its distance to the average value.

On this basis, let us examine the first section of the text as formulated in *The Nine Chapters*. It is abstract and thus allows the practitioner to deal with any number of fractions, a feature that LI CHUNFENG emphasizes in his commentary. It reads:

“The denominators multiply the numerators that do not correspond to them. Adding up [the results] in auxiliary³³ makes the dividend of the average. The denominators being multiplied by one another make the divisor. One multiplies, by the number of [quantities] set out, the quantities that one had before adding up, each making respectively a set-out dividend. Likewise, one multiplies, by the number of [quantities] set out, the divisor. [...] 母互乘子，副并爲平實。母相乘爲法。以列數乘未并者各自爲列實。亦以列數乘法。”

The procedure prescribes several multiplications. The first one yields the various numerators of the fractions given that will correspond to the common denominator, respectively, $a_i \prod_{j \neq i} b_j$. The commentator refers to them as “made homogeneous” with the common denominator, $\prod_{j=1}^n b_j$, designated as “the equalized.” The latter value is also yielded by multiplication. And yet, there is only one multiplication that is qualified with the particle “*yi* likewise” in the text. In his commentary, LIU HUI has this to say about it:

“Here, one should put, in auxiliary, the number [of quantities] set out, to divide [by it] the dividend of the average. If one proceeds in that way, one will have fractions repeatedly.³⁴ This is why, to the contrary, one multiplies, by the number [of quantities] set out, “the equalized” and [the quantities] made homogeneous [with it]. 此當副置列數除平實，若然則重有分，故反以列數乘同齊。”

We see that, in correlation to the use of “likewise,” the commentator interprets the operation that the particle qualifies as having a purpose related to that of the multiplication immediately

33 As above, this feature indicates that the values added, $a_i \prod_{j \neq i} b_j$, are still available on the surface for computing after the addition was carried out.

34 The expression designates the fact that the dividend of the average must first be divided by $\prod_{j=1}^n b_j$ and then also by n .

before it. LIU HUI brings to light that the same “reason” lies behind the use of these two multiplications, even though they are not an iteration of one another. Again, the emphasis that the text places on analogy relates to an analogy at the level of the “meaning” of the operations. That is how LIU HUI reads it. This remark confirms, once again, that the text of an algorithm does not only prescribe, but also thereby makes statements regarding analogies between operations that it prescribes. Moreover, these analogies connect the operations at the level of their underlying reason. By turning now to the other source of our corpus, the *Book of Mathematical Procedures*, we shall see that it bears witness to the same use of some of the means of expression that were analyzed above. Such remarks are quite important for the project of determining the kinds of historical links that can be established between *The Nine Chapters* and its commentaries, on the one hand, and the *Book of Mathematical Procedures*, on the other.

V. Continuities in the Uses of “Likewise” and “Like” in the *Book of Mathematical Procedures*

The topic with which we deal here gives interesting clues regarding the continuities between the *Book of Mathematical Procedures* and *The Nine Chapters*. They can be approached from at least three different angles.

First, in the two books there are similar texts of procedures for the same operation, with the particle “likewise *yi*” used in exactly the same way. This is the case for the first problem (4.1), for whose solution *The Nine Chapters* applies the algorithm provided at the beginning of chapter 4 and entitled “Small width *shao guang* 少廣.”³⁵ The set problem is to divide between quantities in which fractions occur in the divisor. If we rely on LIU HUI’s account of the correctness of the general procedure, the key idea underlying the solution of the problem is to expand the divisor, in which the fractions occur, in such a way as to transform it into an integer, and then to expand the dividend in exactly the same way. It is the latter operation, whose prescription is qualified as “likewise,” in the procedure following problem 4.1, when it is compared to the operation carried out previously on the divisor. The *Book of Mathematical Procedures* contains exactly the same problem (bamboo strip 167). The formulation for the statement of the problem and the procedure differs in both books. However, there is one stable point: the use of “likewise *yi*,” in exactly the same place. Such echoes indicate, in my view, that we are not dealing here with a minor feature of the texts of these procedures. In addition, we recognize a use of “likewise,” in circumstances that are similar to those evoked above, in relation to the problem of averaging fractions in *The Nine Chapters*.

In fact, in *The Nine Chapters*, problem 4.1 is followed by ten similar problems, whose corresponding procedures all use “likewise” in exactly the same place. The *Book of Mathematical Procedures* also has a similar group of eight problems following the first one (bamboo strips 168–181). However, in that book, the formulation of the other procedures is abbreviated, no longer mentioning the dividend and thus its corresponding transformation. Accordingly, the particle “likewise” does not appear in the *Book of Mathematical Procedures* for the following

35 For *The Nine Chapters*, see the critical edition and the annotated translation in CHEMLA and GUO SHUCHUN (2004, pp. 342–361), along with the introduction to Chapter 4. As for the *Book of Mathematical Procedures*, see bamboo strips 164–181, PENG, HAO 彭浩 2001, pp. 116–123.

problems. Yet, in that book like in *The Nine Chapters*, the set of similar problems is preceded by a general procedure, also entitled “Small width,” and its formulation, which uses abstract ways of referring to the transformation of the fractions, does qualify the transformation to be applied to the dividend by the particle “likewise yi.”

This indicates a link between the two texts, not only regarding the procedures used or the way of organizing mathematical knowledge for that topic, but also, more importantly for us here, in the way of using particles like “likewise” in the formulation of cognate procedures. Such phenomena can also occur in procedures for which the text in the *Book of Mathematical Procedures* differs from that in *The Nine Chapters*. Still, the fact that the same way of using “likewise” can be identified certainly constitutes a continuity in practice that we cannot underestimate. Such continuities in practice offer a second approach to the general question of the links between the two books.

The example of the general procedures for “Small width” that *The Nine Chapters* and the *Book of Mathematical Procedures* both contain allows me to introduce the third angle from which we can approach continuities in relation to our topic. Where, in the *Book of Mathematical Procedures*, we find the use of the particle “likewise,” we have in *The Nine Chapters* the introduction of a mathematical concept. In other words, the analogy pointed out by the particle “likewise yi” in the *Book of Mathematical Procedures* appears to have been the object of an unidentified mathematical work that led to the shaping of a new concept, to which *The Nine Chapters* testifies. This is not the only case in which such a correlation occurs. I dealt with several other cases,³⁶ and I shall examine one in greater detail below. In addition to bearing witness to links between the two books, these facts invite us not to downplay the importance of the analogies stated in the way of formulating texts for algorithms.

As was said, in seeking the meaning of such expressions of analogies in the *Book of Mathematical Procedures*, we lack the testimony of commentaries, on which we could rely in previous instances. The transformation of analogies between the *Book of Mathematical Procedures* and *The Nine Chapters* constitutes one clue that allows us to appreciate the import of analogies stated in the mathematical manuscript. We shall also use another clue, provided by cases for which, in the *Book of Mathematical Procedures*, we have a general procedure, whose text draws links by analogy, and specific procedures that derive from applying the general procedure.

These two approaches will now allow us to examine a text from the *Book of Mathematical Procedures* that is essential for our purpose: the text given for executing the operation called “lü-ing by the dan.” In the system of measures to which the book bears witness, *dan* is the higher unit of measure for the two series of weights and capacity measures. As for the operation of lü-ing, for our topic in this article, suffice it to say that it computes a “standard price,” here for the unit of 1 *dan*. My focus, while commenting on this text, will remain on two key questions: What can we establish regarding how the practitioner dealt with the prescription by, and statement of, analogies? And, how did the analogies indicated evolve in the subsequent decades?³⁷

36 In CHEMLA 2006.

37 The text of the general procedure is on bamboo strips 74–75 (PENG HAO 彭浩 2001, pp. 73–74). To interpret it, I rely on a use of the operation that is found in bamboo strips 76–77 (PENG HAO 彭浩 2001, pp. 74–75). I already dealt with the text for the general procedure in other publications from different perspectives. In CHEMLA (2006), I focused on its interpretation and on the analysis of the reformulation in *The Nine Chapters*. In CHEMLA (2010), I analyzed the mode of prescription to which this text bears witness. Here, I shall focus on the expression of the analogy, leaving aside all the other unrelated issues. I refer the reader to these previous publications for arguments on the claims made.

To begin with, let us approach the general procedure from the viewpoint of the solution to the specific problem that illustrates its application. In the statement, the price of a given amount of salt, that is, 1 *dan* 4 *dou* 5 *sheng* 1/3 *sheng*, salt is given: it amounts to 150 cash. The procedure yields the corresponding price for 1 *dan*. It can be translated as follows:

“One triples the quantity of salt, which is taken as divisor. Likewise, one triples the quantity of *sheng* of 1 *dan*, and, with the cash, one multiplies this, which is taken as dividend. 三鹽之數以為法，亦三一石之升數，以錢乘之為實。”

The rule of three to which the procedure amounts can be represented as follows:

$$\frac{\text{cash times the triple of 1 dan expressed in sheng}}{\text{the triple of 1 dan 4 dou 5 sheng 1/3 sheng [in sheng]}}$$

The quantity taken as divisor, that is, the amount of salt, is multiplied by a factor that allows the practitioner to get rid of fractions. Then, all units are transformed into the lowest of them all. The same transformation is thereafter applied to 1 *dan*, which is thus expressed with respect to the same units as the divisor. Only then can the computations of the rule of three be executed, yielding the numerical value sought. We can already notice the use of “likewise” in the statement of the specific procedure. Playing no part in the pure prescription of the operations, the particle emphasizes an analogy between the way in which one transforms something in the dividend and the divisor, and also the correlation between the reasons underlying these transformations.

We have now the elements we need to approach the text of the general procedure. Let me first translate it, before I focus on the features of the text that are important for us here. The text reads as follows – I insert steps for the sake of the discussion:

“[step 1] One takes what is exchanged as divisor.

[step 2] One multiplies, by the cash obtained, the quantity of 1 *dan*, which is taken as dividend.

[step 3] Those for which, in their lower (rows),
there is a half, one doubles them;
one third, one triples them.

[step 4] Those for which there are *dou* and *sheng*, *jin*, *liang* and *zhu*, likewise one breaks up *all* their upper (rows),

[step 5] one makes the (rows) below join them, (yielding a result) which is taken as divisor.

[step 6] What the cash was multiplying, likewise, is broken up like this.

以所買 = (賣) 為法，以得錢乘一石數以為實。其下有半者倍之，少半者三之，有斗、升、斤、兩、朱（銖）者亦皆/74/破其上，令下從之為法。錢所乘亦破如此。/75/”

The text emphasizes analogy explicitly three times and I underlined the related words. Let us examine the formulation in greater detail. In steps 1 and 2, the text indicates the values that will be taken as divisor and dividend, as we would write a formula. In the following steps, transformations of the terms involved prescribed and are to be carried out before the first operations mentioned are actually executed.³⁸

³⁸ I cannot dwell on this feature of the text, to which I shall come back in a future publication.

Step 3 concerns the case in which the quantity in the divisor has fractions. As we saw in Section 2 above, the divisor in a division is put in the lower row on the surface. More precisely, for the specific case of the quantity given as an example above, the amount of *sheng* is placed in the middle sub-row of the lower position, the higher units in the sub-rows above, and the fraction – in one line, numerator on the left-hand side and denominator on the right-hand side – in the sub-row under that for the *sheng*. These indications help to make sense of the procedure.

In step 3, the prescription of multiplying the quantity in the position of the divisor by the denominator involves a new way of prescribing by analogy: the operation is indicated by the specific form it takes in two particular cases, in which the denominator is either 2 or 3. It is thus the enumeration of two cases, and the treatment they require, that form the prescription of the general operation. In some sense, this can be compared to the way of formulating an algorithm by means of the shape it takes to solve a specific problem, as we saw in Section 4. However, the same modality of prescribing encountered here is not for a whole algorithm, but for an operation.

Exactly the same modality of enunciation is used in step 4, to designate the general case in which the quantity bought has more than 2 different units of measure, in which case there are sub-rows above the middle sub-row in the position of the divisor. *Dou* and *sheng* are two distinct units for capacities whereas *jin*, *liang* and *zhu* are different units for weight. The general case is again pointed out by an enumeration of two specific cases.

What is more interesting for us is the way in which the operations to be applied to the upper sub-rows are prescribed. The verb prescribing the action, “break up,” designates the material operation of breaking units into smaller units. The transformation of the higher units in the quantity bought is thus indicated by means of its “meaning” on the quantities on which one operates: they will be broken into smaller units.³⁹ In this context, let us now focus on the “likewise.” Clearly, the particle refers to the previous operation, which multiplies the quantity in the divisor by the denominator. As such, the particle makes two claims. On the one hand, it indicates that the previous multiplication had the meaning of “breaking up” the units involved in stating the amount bought. To be able to make sense of the “likewise,” it is expected that the reader understands the “meaning” of the operation carried out in the step before *in that way*. Here, the meaning of “likewise” is by no means prescriptive. It states an analogy between two steps in the procedure, which again relies on a similarity between them at the level of the reasons underlying them. On the other hand, conversely the particle *yi* contributes to stating that the operation corresponding to the prescription “break up” is a multiplication. At this stage, all the amounts composing the quantity in the divisor have been converted into the same units. They can thus be added up (step 5), and the transformation to be applied to the divisor is completed.

Step 6 turns to prescribing how the 1 *dan* must be modified so that the operations of the overall rule of three can be executed. The formulation involves analogy in two ways, let us recall it: “What the cash was multiplying, likewise, is broken up like this.” In addition to *yi*, we have another occurrence of a prescription by “like.” How does the reader make sense of it?

We know, from relying on the example and the specific procedure sketched above, that the prescription by means of “is broken up like this” involves the conversion into the smaller units and the multiplication by the denominator. Note that this means that the second occurrence of “break up” does not correspond to the same operations as the first one does. It is all the

39 On the question of prescribing by stating the reason to carry out the operation, see CHEMLA (2010).

more unexpected that the second occurrence is followed by “like this.” This implies that the practitioner using this text derives what to do *not* on the basis of the name of an operation, but on other grounds. If the reader is to derive the correct actions from the formulation, he or she must know that the multiplication prescribed in step 3 had the “meaning” of “breaking up.” Only then can the reader derive from the analogy that “breaking up like this” encompasses all the previous operations that had the meaning of “breaking up.” Again, but this time for the *Book of Mathematical Procedures*, the text for the procedure betrays specific expectations with respect to the reader or the user: it is written for a practitioner who understands the “meaning” of the operations carried out while using or reading the text. This conclusion is striking, but it imposes itself on us when we analyze the way in which analogies are used in writing down texts for algorithms.

If we go back to the formulation of step 6, we see that the emphasis placed on the analogy by the expression “like this” is increased by the addition of “likewise.” We know that these two marks stress that the operations to be carried out are used for the same reasons as those performed on the quantity in the divisor. In this context, it is quite important that the stress laid on the similarity between a factor in the dividend and the divisor led to the introduction of a theoretical concept, that of *lǚ*, in the way in which the procedure was reformulated in *The Nine Chapters* (CHEMLA 2006). Here too, the statement of an analogy by means of the formulation of the text for the algorithm signals a feature in the procedure on which actors were clearly pondering. In our text, analogies are not a simple statement of similarity, but the emphasis placed on them within procedures or between procedures seems to have played a part in, or at least offered a basis for, the theoretical work that practitioners were doing. In this case, the fact can be brought to light by a diachronic gaze on our sources.

VI. Conclusion

The sources examined in this article show how essential analogy is to the formulation of procedures, whether or not the text of an algorithm is written in a way that depends on a paradigm. This is true in general. However, the form that the phenomenon takes in the Chinese sources analyzed manifests specificities.

We encountered prescriptions by analogy as well as the statement of analogies in the way in which operations were prescribed. In both types of cases, clearly the practitioner interpreted what the analogy meant and pointed out.

In the case of prescriptions by analogy, the simple fact that the texts of algorithms were commented upon indicates that the earliest readers observable today made sense of them.

Both in the latter cases and in those for which analogies were merely stated by fragments of a metadiscourse on the procedures added to the prescriptions *stricto sensu*, the fact that these analogies have a history proves that they were received as such.

In the case of root extraction, the later transformation of the algorithms led to the complete unification of division, square root and cube root extractions and to the further extension of the algorithm (CHEMLA 1994). Moreover, the new algorithm brought to light that all digits could be treated in the same way. In addition, the transformation of the analogy also elicited an evolution in the related concept of algebraic equation.

In the case of the expression of analogies in the *Book of Mathematical Procedures*, the fact that they become, in the related procedures in *The Nine Chapters*, rewritten by concepts such

as *lǚ* or “making communicate *tong*”⁴⁰ indicates that they were read as such. Moreover, these remarks make it highly plausible that the compositions of the two books were tightly connected.

Lastly, the general import of these statements of analogies in later history is probably correlated to the conclusion to which we were systematically led: the expressions of analogies between operations or between procedures were always related to an analogy between the reasons underlying them.

References

- CHEMLA, Karine: Theoretical aspects of the Chinese algorithmic tradition (first to third Century). *Historia Scientiarum* 42, 75–98 (1991) (+ errata in the following issue)
- CHEMLA, Karine: Similarities between Chinese and Arabic mathematical writings. I. Root extraction. *Arabic Sciences and Philosophy. A Historical Journal* 4, 207–266 (1994)
- CHEMLA, Karine: Les problèmes comme champ d’interprétation des algorithmes dans les *Neuf chapitres sur les procédures mathématiques* et leurs commentaires. De la résolution des systèmes d’équations linéaires. *Oriens Occidentens. Sciences Mathématiques et Philosophie de l’Antiquité à l’Age Classique* 2000, 189–234 (2000)
- CHEMLA, Karine: Documenting a process of abstraction in the mathematics of ancient China. In: ANDERL, Christoph, and EIFRING, Halvor (Eds.): *Studies in Chinese Language and Culture – Festschrift in Honor of Christoph Harbsmeier on the Occasion of his 60th Birthday*; pp. 169–194. Oslo: Hermes Academic Publishing and Bookshop A/S, 2006. See a version at: <http://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-00133034>
- CHEMLA, Karine: *Matematica e cultura nella Cina antica*. In: BARTOCCI, Claudio, et ODIFREDDI, Piergiorgio (Eds.): *La matematica. I: I luoghi e i tempi*; pp. 91–137. Einaudi 2007
- CHEMLA, Karine: *Classic and Commentary: An Outlook based on Mathematical Sources*. Berlin: Max-Planck-Institut für Wissenschaftsgeschichte 2008
- CHEMLA, Karine: Literacy and the history of science. Reflections based on Chinese and other sources. In: OLSON, David R., and TORRANCE, Nancy (Eds.): *Cambridge Handbook of Literacy*; pp. 253–270. Cambridge (UK): Cambridge University Press 2009
- CHEMLA, Karine: Proof in the wording: Two modalities from ancient Chinese algorithms. In: HANNA, Gila, JAHNKE, Hans Niels, and PULTE, Helmut (Eds.): *Explanation and Proof in Mathematics: Philosophical and Educational Perspectives*; pp. 253–285. Dordrecht: Springer 2010
- CHEMLA, Karine; and GUO SHUCHUN: *Les neuf chapitres. Le Classique mathématique de la Chine ancienne et ses commentaires*. Paris: Dunod 2004
- CULLEN, Christopher: *The Suan Shu Shu 算數書 ‘Writings on Reckoning’: A Translation of a Chinese Mathematical Collection of the Second Century BC, with Explanatory Commentary*. Cambridge: Needham Research Institute 2004
- DAUBEN, Joseph W.: *算數書. Suan Shu Shu (A Book on Numbers and Computations)*. English Translation with Commentary. *Archive for History of Exact Sciences* 62, 91–178 (2008)
- DURAND-RICHARD, Marie-José (Ed.): *L’analogie dans la démarche scientifique. Perspective historique*. Paris: L’Harmattan 2008
- GUO SHIRONG 郭世榮: *Suanshushu kan wu 算術書勘誤 (Errors in editing the Book of mathematical procedures)*. Neimenggu shida xuebao ziran kexue (Han wen) ban 內蒙古師大學報 - 自然科學 (漢文)版 (Journal of the Normal University of Inner Mongolia Science [part in Chinese]) 30, 276–285 (2001)
- GUO SHUCHUN 郭書春: *Hui jiaozhuan jiu zhang suan shu 匯校九章算術*. Shenyang 瀋陽: Liaoning jiaoyu chubanshe 遼寧教育出版社 1990
- GUO SHUCHUN 郭書春: *Yi zhu Jiuzhang suanshu 譯注九章算術 (Translation and commentary on The Nine Chapters on Mathematical Procedures)* (in Chinese). Shenyang: Liaoning jiaoyu chubanshe 1998
- GUO SHUCHUN 郭書春: *Suanshushu jiaokan 算數書校勘 (Critical edition of the Book of mathematical procedures)*. *Zhongguo keji shiliao 中國科技史料 (China Historical Materials of Science and Technology)* 22, 202–219 (2001)
- GUO SHUCHUN 郭書春, and LIU DUN 劉鈍: *Suanjing shishu 算經十書*. Guo Shuchun, Liu Dun dianjiao 郭書春 · 劉鈍 點校. Shenyang: Liaoning jiaoyu chubanshe 1998
- HORNG WANN-SHENG 洪萬生, LIN CANGYI 林倉億, SU HUIYU 蘇惠玉, SU JUNHONG 蘇俊鴻: *Shu zhi qiyuan 數之起源 (The origin of mathematics)*. Taipei 台北: Taiwan shanwu yinshuguan 臺灣商務印書館 2006

⁴⁰ See the related entries in *Glossary*.

- KAWAHARA, Hideki 川原秀城: Ryūki chū Kyūshō sanjutsu (Liu Hui's commentary on The Nine Chapters) 劉徽注九章算術: Chōgoku tenmon gaku sūgaku shū 中國天文學、數學集 (Collection of Chinese astronomical and mathematical texts); pp. 75–264. Tōkyō: Asahi shuppansha 東京朝日出版社 1980
- KELLER, Agathe: Ordering operations in square root extractions. Analyzing some early medieval sanskrit mathematical texts with the help of speech act theory. In: CHEMLA, Karine, and VIRBEL, Jacques (Eds.): Introduction to Textology via Scientific Writings. (2010, in preparation)
- LAM LAY YONG: The geometrical basis of the ancient Chinese square-root method. *Isis* 61, 92–102 (1970). See a version at: <http://www.jstor.org/stable/229151>
- LI JIMIN 李繼閔: Jiuzhang suanshu jiaozheng 九章算術校證 (Critical edition of The Nine Chapters on Mathematical Procedures). Xi'an: Shaanxi kexue jishu chubanshe 1993
- LI JIMIN: Jiuzhang suanshu daodu yu yizhu 九章算術導讀與譯註 (Guidebook and annotated translation of The Nine Chapters on Mathematical Procedures). Xi'an: Shaanxi renmin jiaoyu chubanshe 1998
- LI YAN 李儼: Zhongguo shuxue dagang. Xiuding ben 中國數學大綱. 修訂本 (An Outline of Chinese Mathematics. Revised edition) Beijing: Kexue chubanshe 1958
- LI YAN, and DU SHIRAN: Chinese Mathematics: A Concise History. Oxford [England]: Clarendon Press 1987
- LLOYD, Geoffrey Ernest Richard: Polarity and Analogy. Two Types of Argumentation in Early Greek Thought. Cambridge: Cambridge University Press 1966
- PENG HAO 彭浩: Zhangjiashan hanjian «Suanshushu» zhushi 張家山漢簡《算數書》注釋 (Commentary on the *Book of Mathematical Procedures*, a writing on bamboo strips dating from the Han and discovered at Zhangjiashan). Beijing: Science Press (Kexue chubanshe) 2001
- QIAN BAOCONG 錢寶琮: Suanjing shishu 算經十書 (Qian Baocong jiaodian 錢寶琮校點) (Critical punctuated edition of The Ten Classics of Mathematics). Beijing 北京: Zhonghua shuju 中華書局 1963
- SHEN KANGSHEN 沈康身: Guide for the Reading of The Nine Chapters 九章算術導讀. Hankou: Hubei jiaoyu chubanshe 1997
- SHEN KANGSHEN, CROSSLEY, John Newsome, and LUN, Anthony W.-C.: The Nine Chapters on the Mathematical Art. Companion and Commentary. Oxford, Beijing: Oxford University Press & Science Press 1999
- SIU, Man-Keung, and VOLKOV, Alexei: Official Curriculum in Traditional Chinese Mathematics: How Did Candidates Pass the Examinations? *Historia Scientiarum* 9, 85–99 (1999)
- VOLKOV, Alexei: On the method of analogy in ancient Chinese mathematics [O metode analogii v drevnekitaiskoi matematike, in Russian]: 18th Soviet Congress of sinologists “State and Society in China” (18ya Nauchnaya Konferentsiya “Gosudarstvo i Obshchestvo v Kitae”). Part 1, pp. 113–117 (1987)
- VOLKOV, Alexei: Analogical reasoning in ancient China: Some examples. In: CHEMLA, Karine (Ed.): Regards obliques sur l'argumentation en Chine. Extrême-Orient, Extrême-Occident. 14; pp. 15–48. Saint-Denis: Presses Universitaires de Vincennes 1992
- VOLKOV, Alexei: Transformations of geometrical objects in Chinese mathematics and their evolution. In: ALLETON, Viviane, and VOLKOV, Alexei (Eds.): Notions et perceptions du changement en Chine; pp. 133–148. Paris: Collège de France, Institut des Hautes Etudes Chinoises 1994
- VOLKOV, Alexei: Raisonement par analogie dans les mathématiques chinoises du premier millénaire de notre ère. In: DURAND-RICHARD, Marie-José (Ed.): L'analogie dans la démarche scientifique. Perspective historique; pp. 61–95. Paris: L'Harmattan 2008
- WANG LING, and NEEDHAM, Joseph: Horner's method in Chinese mathematics: Its origin in the root-extraction procedures of the Han dynasty. *T'oung-pao* 43, 345–401 (1955)
- 張家山漢簡『算數書』研究会編 *Chōka san kankan Sansūsho kenkyūkai. Research Group on the Han Bamboo Slips from Zhangjiashan Book of Mathematical Procedures*: 漢簡『算數書』Kankan Sansūsho. The Han bamboo slips from Zhangjiashan Book of Mathematical Procedures. 京都 Kyoto: 朋友書店 Hōyū shoten 2006

Prof. Dr. Karine CHEMLA
 Université Paris 7 – CNRS
 Laboratoire SPHERE UMR 7219
 Equipe Rehseis
 Case 7093
 5 rue Thomas Mann
 75205 Paris Cedex 13
 France
 E-Mail: chemla@univ-paris-diderot.fr

Neue Bilder vom Alter(n)

Wettbewerb und Ausstellung

Nova Acta Leopoldina N. F. Supplementum Nr. 23
Herausgegeben von Ursula M. STAUDINGER (Bremen)
(2010, 98 Seiten, 81 Abbildungen, 20,95 Euro, ISBN: 978-3-8047-2838-7)

Die Menschen leben länger, und der Anteil alter Menschen in der Gesellschaft nimmt zu – das macht den demographischen Wandel zu einem brisanten gesellschaftlichen Thema, denn „Altern“ berührt in besonderer Weise das Leben jedes Einzelnen und unsere Gesellschaft, ihren Wohlstand und ihre Verfasstheit. Die Leopoldina hat sich daher über einen längeren Zeitraum mit dem „Altern in Deutschland“ beschäftigt. Das Altersbild und die verfügbaren Altersrollen sind vielfach noch durch eine traditionelle Sichtweise geprägt. Die anstehenden Veränderungen erfordern jedoch einen veränderten Blickwinkel. Der Katalog zeigt Bilder des Alterns, die sich den neuen Herausforderungen und Potentialen des Älterwerdens des Einzelnen und der Gesellschaft auf verschiedene Weise stellen. Er ergänzt damit im Dialog mit der Gesellschaft die wissenschaftlichen Veröffentlichungen der Akademie zur Altersproblematik um einen künstlerischen Bezug.

Relationale Identitäten: Analogisches Denken in der zoologischen Systematik

Olaf BREIDBACH ML, Jena

Mit 5 Abbildungen

Zusammenfassung

Wir ordnen Erfahrungen mittels der Analogie. So arbeitet die zoologische Systematik mit Analogien. Hier werden einzelne Individuen einem bekannten Schematismus mittels eines Differenzialkalküls zugeordnet. Hierfür werden an dem Individuum bestimmte Merkmale, die im Vergleich verschiedener Arten als Charakteristika der Struktur einer bestimmten Gruppe ausgewiesen sind, in ein Bezugssystem eingebunden. Dabei ist ein komplexer Merkmalsbestand zu berücksichtigen, der im einzelnen Individuum einer systematischen Gruppe gegebenenfalls stark variieren kann. Was als ein Merkmal beschrieben wird, entscheidet sich jedoch aus der Fragestellung des Systematikers, der ja immer bestimmte Dinge in Bezug zueinander setzt und hierfür im Bezug der Dinge aufeinander überhaupt erst die Merkmale identifiziert, die für seine Zuordnungen bedeutsam sind. Der Text versucht dies zu erläutern. Zugleich versucht er in einer Skizze der Situation der Naturgeschichte um 1800 historische Bedingtheiten zu erfassen. Es zeigt sich, dass hier vordarwinistische Theorieansätze bis heute wirksam bleiben. Allerdings ist die Analogie als Verfahren nicht an die seinerzeit mit ihr verflochtenen Konzepte von Ordnung und Systematik gebunden.

Abstract

Analogies have been used to classify experiences. Even today taxonomy makes use of analogies. Herein, specimens are grouped together employing differential analyses. Several attributes were identified in various entities that allow a comparison of individuals of different populations, species, etc. A single attribution may show various degrees of variability within one systematic unit, however. What is relevant in such a set of putative attributions depends on the taxonomist's perspective. The present paper tries to describe this situation of taxonomy in more detail. It includes some reflections on the history of taxonomy. It is shown that combined with the use of analogies in natural history about 1800 various concepts were formed that are still effective today, implementing pre-Darwinian ideas about order and systematics in modern zoology. However, the method of analogy can be set apart from the concepts put forward about 1800.

Einleitung

Das analogische Denken ist zumindest aus der Sicht einer sich induktiv begründenden Wissenschaft diskreditiert. Analogien verweisen in dieser Lesart auf eine eben nicht strikt induktiv-empirisch ausgerichtete Forschung, und werden, wenn überhaupt, als bloß heuristische Instrumentarien akzeptiert, denen allenfalls im Vorfeld einer wissenschaftlichen Zuordnung von Beobachtungszusammenhängen eine gewisse Berechtigung zugesprochen wird. Das Analoge erscheint in seiner unscharfen Bestimmung eben nur als eine erste Hinführung auf ein dann induktiv zu sicherndes Bedenken. Ein Blick auf die zoologische Praxis zeigt denn auch, dass die hier angedeuteten Vorbehalte unbegründet sind, und dass Analogien und – damit verbunden – eben auch Homologien in der Zoologie große Bedeutung haben.

Das Verfahren des Analogisierens bildet sich im Vorgehen der zoologischen Systematik direkt ab, in dem einzelne Individuen einem bekannten Schematismus mittels eines Differenzialkalküls zugeordnet werden. Hierfür werden an dem Individuum bestimmte Merkmale, als Eigenheiten, die im Vergleich verschiedener Arten als Charakteristika der Struktur einer bestimmten Gruppe ausgewiesen sind, in ein Bezugssystem eingebunden. Dabei wechseln mit der Entwicklung der Systematik die verschiedenen Zuordnungsmodi, in denen ein Individuum über seinen Merkmalskomplex einem Gesamtgefüge zu registrierender Individuum zugeordnet wird. Noch deutlicher wird dieses Vorgehen, wenn sich zeigt, dass in einem entsprechenden Vorgehen ein Individuum keinen wirklichen Ort in solch einer Systematik finden kann. Der darauf folgende Schluss, hier nunmehr einen Repräsentanten einer neuen systematischen Einheit gefunden zu haben, der auf Grund des beschriebenen Differenzialkalkül im Gesamtgefüge der bisher bekannten Lebensformen über seine strukturellen und funktionellen Ähnlichkeiten positioniert werden kann, verdeutlicht diesen Aspekt einer tastend suchenden Funktion des Analogisierens als Grundbedingung, neue Erfahrungszusammenhänge registrieren zu können. Sicher gilt dabei in einem nunmehr darwinistisch geführten biologischen Denken der Ausweis struktureller Ähnlichkeiten als Indiz einer engeren genealogischen Beziehung, die als Resultat der Evolution der Formvielfalt gedeutet wird.¹ Dabei ist diese Deutung nun aber nicht die Voraussetzung dafür, eine entsprechende systematische Position für eine derart zu beschreibende Form zu finden. Vielmehr wird ihre systematische Position dann evolutionsbiologisch interpretiert. Hier liegt ein Problem. Genealogische Beziehungen sind im Bestand einer Formvielfalt im Wesentlichen nur zu erschließen und bestenfalls in äußerst engen Grenzen auch an sich auszuweisen. Das bedeutet, dass die Beschreibung von Formähnlichkeiten dazu genutzt wird, Genealogien aufzudecken. Die Methoden, mit denen diese Formähnlichkeiten als solche identifiziert und charakterisiert werden, sind nun aber älter als der Darwinismus. Insoweit greifen hier in der Methodik der Systematik Denkmuster, die noch in einem statischen Weltbild entworfen wurden. Darauf ist noch einmal zurückzukommen. Die Vorstellung, hier mit festen Schemata operieren zu können, trägt in einem evolutionsbiologisch fundierten Naturbild aber nicht mehr. Nun ist die Frage, inwieweit das dann auch bedeutet, dass die übernommenen Methoden einer vergleichenden Betrachtung zu revidieren sind. Ein besonders kritischer Blick muss dabei auf Analogisierungsverfahren gerichtet werden, da die Analogie, in der vordarwinistischen vergleichenden Betrachtung in besonderer Weise ausgewiesen war. Sie ist nunmehr dahingehend zu überprüfen, ob sie als Methode in einem evolutionsbiologischen Beschreibungsansatz bei dieser Vorgeschichte noch tragfähig bleibt.

Die Systematik basiert in einem offenen System nicht auf einer vorgegebenen Ordnungsvorstellung, sondern auf einem Zuordnungsgefüge der jeweils bekannten Formen. Solange die Liste der möglichen Formen nicht abgeschlossen ist, kann jedes neu integrierte Element die absoluten Koordinaten eines solchen Relationsgefüges verzerren und damit verschieben. Entsprechend ist die Systematik auf eine Darstellung von Formanalogien angewiesen. Da nunmehr auch die Individuen keine formidentischen „Klone“ einer Grundform, sondern gegebenenfalls stark variierende individuelle Konfigurationen figurativer und funktioneller Merkmale darstellen, bleibt selbst bei einem festen Bestand möglicher Zuordnungsraster die Identifikation einer Form auf die Darstellung von Ähnlichkeitsbeziehungen angewiesen. Vor

1 WIESEMÜLLER et al. 2003.

einem Urteil über die Passung einer Einzelerfahrung in unseren Erfahrungskontext steht somit in der Systematik die Analogie.

Hier wird nun argumentiert, dass dieser erste Schritt des In-Bezug-Setzens, dieses Tasten *qua* Analogie, nicht einfach als vorläufige heuristische Funktion abgetan werden kann. Das Grundprinzip des Analogisierens, d. h. – im alten Wortsinne – eines dem *Logos* entsprechenden Vorgehens, ist vielmehr das Grundprinzip jedes Erfahrens, in dem ein Ding ja nicht an sich, im Sinne einer einfachen Impression in den Verstand, sondern in Bezug auf das andere, bisher schon registrierte Erfahren gesetzt, und in diesem Bezugssystem der Erfahrungsart dann auch positioniert und damit identifiziert wird.²

Induktion und Analogie

Im Eigenverständnis der *Sciences* wird die Analogie wissenschaftsgeschichtlich weitgehend in der Periode vor der Etablierung einer analytisch induktiv verfahrenen Disziplin verortet, die etwa mit SCHLEIDENS programmatisch titulierte Lehrbuch einer *induktiven Botanik* schon um 1840 in die Vergangenheit abgedrängt ist.³ Nur: all dies ist nur eine Vereinfachung in der Darstellung analogisierender Verfahren. Analogien stehen am Beginn unserer Orientierung nicht nur in einer alltäglichen Welt, sondern auch in dem Bereich einer klassifizierenden und systematisierenden Wissenschaft. So ist die Auffassung, die die Analogie in einen Bereich vorwissenschaftlicher Urteilsfindungsprozesse verweist und demnach dann wissenschaftshistorisch als ernstzunehmendes Verfahren bestenfalls auf die Vorgeschichte der Naturwissenschaft einschränkt, zu korrigieren.⁴ Ist doch die Analogie Voraussetzung der Induktion, und ist so die Analogie ein methodisch explizit auszuweisender Bestandteil der Datensicherungsverfahren und der Datenidentifikation im Bereich auch der Naturwissenschaften.

Ist Induktion im Sinne einer Darstellung von etwas, was einem bekannten Datenbestand zuzuordnen ist, nur *qua* Analogie möglich, dann wäre die Diskreditierung des analogischen Denkens allerdings zu relativieren. Die Analogie wäre vielmehr als Grundlage auch des wissenschaftlichen Erfahrens zu beschreiben. Genau dies wird hier im Weiteren behauptet. Allerdings – und hier hat die kritische Behandlung der Analogie durchaus ihre Berechtigung – ist diese bisher wissenschaftstheoretisch nicht adäquat thematisiert. Dies hängt damit zusammen, dass wissenschaftstheoretische Analysen, die die Erfahrung auf der Ebene von Protokollsätzen beschreiben und demnach das Verfahren der Datensicherung und Datenbestimmung aus ihrer Betrachtung ausblenden, *nota bene* die Verfahren der Datenaufnahme und Datenzuordnung nicht mit in ihren Kalkül einbeziehen und demnach Verfahren, die hierbei Bedeutung gewinnen, und damit namentlich die Analogie, aus ihren Analysen schlicht ausblenden. Dies ist allerdings problematisch, da Erfahrungsgewinnung und gegebenenfalls auch die Erweiterung von Erfahrungsräumen durch apparativ getroffene Wahrnehmungsdispositionen zentrales Moment der wissenschaftlichen Organisation naturwissenschaftlicher Disziplinen darstellen. Darauf hat die neuere Wissenschaftsgeschichte mehrfach und eindringlich verwiesen.⁵ Dabei wurde deutlich, dass das experimentelle Tun und auch das Erfahren der Wissenschaft

2 Vgl. HENTSCHEL 2007.

3 BREIDBACH 1998.

4 BREIDBACH 1987.

5 LATOUR und WOOLGAR 1986, RHEINBERGER und HAGNER 1997, MEINEL 2000.

ten keinesfalls voraussetzungsfrei ist, dabei aber nicht einfach ideengeschichtlichen Dispositionen gehorcht, sondern seinerseits in Traditionen steht, die das wissenschaftliche Tun und das wissenschaftliche Erfahren bestimmen.⁶ Demnach sind dann in einer adäquaten wissenschaftstheoretischen Behandlung Erfahrungen in den Wissenschaften nicht einfach mehr dem eigentlichen wissenschaftlichen Umgehen mit Befunden vorgeordnete Handlungsmomente, die wissenschaftstheoretisch dann gegebenenfalls auch auszublenden wären.⁷ Vielmehr zeigt sich, dass die Konstitution des Erfahrungsraumes, in dem dann Beobachtungen registriert und Experimente angelegt werden, selbst einen wesentlichen Bestandteil naturwissenschaftlichen Wissens darstellt.⁸ So finden sich – umgekehrt – in diesen *Konstitutiva* möglicher Erfahrungen Bewertungs- und Geltungssicherungsverfahren, die dann auch nicht mehr bloß ideengeschichtlich zu beschreiben sind. Andererseits aber wurde die Analogie in verschiedenen historischen Kontexten je unterschiedlich genutzt und bewertet. Speziell in der Naturgeschichte des frühen 19. Jahrhunderts gewann sie eine hohe Bedeutung und wurde als Methode dabei mit dem Ansatz einer deduktiv bestimmten Naturforschung verbunden.⁹ Zu fragen wäre demnach, ob dies insgesamt die analogisierenden Verfahren bewertet und inwieweit tradierte Analogisierungsverfahren eben auch Dispositionen solch deduktiver Erfahrungsbestimmung mit sich bringen.

Sind die Erfahrungen der Wissenschaft mit in eine wissenschaftstheoretische Analyse einzubeziehen, ist nun aber grundsätzlich anzusetzen. Denn dann, wenn die Erfahrungen selbst nicht einfach nur nach dem Muster der Theorie erfolgen, sondern in den Perzepten selbst Dispositionen angelegt sind, die Zuordnungen der Dinge im Rahmen wissenschaftlicher Theorien ermöglichen, ist danach zu fragen, inwieweit hier gegebenenfalls schon vorwissenschaftlich gewonnene Zuordnungsmuster und Dispositionen das bestimmen, was dann im engeren Sinne als Wissenschaftssystematik verfügbar scheint: Nur sieht das in Blick auf etablierte Wissenschaftsräume zunächst anders aus. Schließlich ist dort, wo ein Erfahrungszusammenhang systematisch erschlossen ist, das jeweilige Einzelding, das ein Forscher aufnimmt, dieser Systematik zuzuordnen. Das gemahnt doch an eine Selbstvergewisserung eines etablierten innerwissenschaftlich bestimmten Schematismus, denn was ist eher einer solchen Wissenschaft zuzuordnen, als die Ordnungsbestimmung nach der sie und unter der sie ihre Daten registriert. Wie dies funktioniert, sollte denn auch am ehesten an dem vordergründig zunächst vielleicht trivial erscheinenden Tun eines biologischen Systemikers abzulesen sein, der ja nicht mit Konstrukten, Modellen und Formelgefügen arbeitet, sondern konkrete Identitäten nach Maßgabe seiner Wissenschaftssystematik in den ihm verfügbaren Wissenszusammenhang rubriziert.

Systematik und Analogie

Das Sicherungsverfahren der systematisch orientierten biologischen Wissenschaften ist auch da, wo sie als Hilfswissenschaften fungieren und etwa im Rahmen einer ökologischen Bestandsaufnahme Tierarten eines Biotops bestimmen, kein einfaches Zuordnen im Sinne eines

6 RHEINBERGER 2007.

7 BREIDBACH 2003.

8 Vgl. LATOUR 2002.

9 GLOY und BACHMANN 2000.

Schlüssel- und Schlossprinzips (vorgegebene Stellung in einer vorgegebenen Systematik). Vielmehr ist das einzelne Objekt als Individuum nicht einfach in einer quantitativen Registratur der an ihm auszuweisenden Merkmalsausprägungen zu identifizieren.¹⁰ So ist die Zuordnung solch eines Individuums zu einem vorgegebenen Gefüge möglicher Zuordnungen keineswegs einfach, ist doch ein komplexer Merkmalsbestand zu berücksichtigen, der im einzelnen Individuum einer systematischen Gruppe gegebenenfalls stark variieren kann, so dass eng verwandte Gruppen in ihren individuellen Realisationen zum Teil nur schwer voneinander abzugrenzen sind. Dabei ist natürlich solch eine Zuordnung einer Einzelerfahrung in den Gesamtzusammenhang des Wissens noch vergleichsweise einfach. Allerdings muss schon hier das Einzelne in Bezug auf die anderen Einzelnen bewertet werden.

Die Liste der Merkmale, die es erlauben, ein einzelnes Ding in der rechten Weise zu qualifizieren, lässt sich nämlich nicht einfach in Form einer statistischen Analyse möglicher Schwankungsbreiten bearbeiten. Das Problem ist, dass einzelne dieser Merkmalsbestände in ihrer strukturellen Ausprägung miteinander gekoppelt scheinen. Das heißt, darzustellen ist nicht einfach ein statistisch zu erfassender Bestand möglicher Merkmalsschwankungen, der dann innerhalb einer bestimmten Schwankungsbreite mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit einer bestimmten Richtgröße zuzuordnen ist. Die Situation ist schon im Ansatz kompliziert, da die verschiedenen Merkmale in unterschiedlicher Weise in ihrer Ausprägung miteinander verbunden sind, und wir in unserer Analyse sowieso schon ein Kontinuum formaler und funktionaler Ausprägung in eine Sequenz herausgegriffener Merkmale zergliedern und damit das Ganze eines Organismus in bestimmten Fragmentierungen aufnehmen. Die Erklärung dieses Phänomens ist an sich recht plausibel, wirken doch einzelne Gene, die bei verschiedenen Individuen zumindest in ihrer Expressionsrate stark variieren können, nicht direkt auf ein Merkmal, sondern werden, da sie für ein Protein oder einen anderen Reaktionskomplex verantwortlich sind, alle die Funktionen beeinflussen, die von diesem Protein usf. mit beeinflusst werden. Umgekehrt werden da, wo verschiedene Gene auf einen Merkmalskomplex wirken, gegebenenfalls größere Variationen in einem Gen-Besatz zumindest in Teilen innerhalb des zellulären Systems und der Gewebeverbände in einem Individuum abgefangen. Nur sind im Merkmalsbestand diese Relationen nicht direkt auszulesen. Auch die molekulargenetisch identifizierte DNS-Sequenz reicht zu solchen Aussagen nicht aus.¹¹ Insoweit bleibt der Systematiker zunächst darauf angewiesen, den ihm zugänglichen Bestand an Merkmalen und auch an Merkmalskopplungen zu interpretieren. Dabei kann er keine festen, statistisch abzusichernden Listen von Variationen im Merkmalsbestand verschiedener Arten nebeneinander legen. Schließlich kann schon eine neu entdeckte und dem System zugeordnete Art die relativen Wertungen in solch einem System variieren. Da ein Merkmalskatalog immer auch selektiv ist, er zudem im vorskizzierten Sinne zu gewichten ist, ist es kaum möglich, eine feste, an quantifizierbaren Teilmerkmalsbereichen ausgemessene Schublade im Gesamtbestand des zoologisch möglichen Merkmalsraumes für eine Art zu reservieren und dann alle die Individuen, die dann dort hineinpassen, als Art zu bewerten. Eine neue Art bedient dann auch nicht einfach eine Leerstelle in der bisherigen Registratur der möglichen Kombinationen, sie

10 Ein entsprechender Versuch einer sogenannten numerischen Taxonomie, den SNEATH und SOKAL in den 1970er Jahren vorlegten (SNEATH und SOKAL 1973), der die seinerzeitig neuen Möglichkeiten technisch unterstützter numerischer Analysen zu nutzen suchte, zeigte schon bald, dass mit diesem Verfahren zwar technische Objekte, die nach engen Normen produziert wurden, genau zu klassifizieren waren, die komplexeren Merkmalsausprägungen biologischer Objekte jedoch keine sichere numerische Zuordnung einzelner Formen erlaubten.

11 TAUTZ et al. 2003.

offeriert eben eine neue Konstruktion und entsprechend ist nun im Kleinen und gegebenenfalls auch im Großen die relative Ordnung der mit ihr verwandten Arten neu zu bestimmen.

Insoweit kann es passieren, dass die bisher registrierten Merkmale und damit die bisher vorliegenden Beschreibungen der bekannten Arten nicht zureichen, eine neue Art sauber von allen anderen Arten abzugrenzen und so innerhalb des Systems der bekannten Arten schlüssig zu positionieren. Es ist darum Tradition in der sich empirisch sichernden zoologischen Systematik, ein wirkliches Einzelding als Referenzobjekt zu deponieren: Dies ist der *Typus* einer Art. Er, als individuelle, in eine Sammlung eingelagerte Konfiguration ist der verbindliche Maßstab für die Darstellung einer Art. Das heißt, ein Individuum wird faktisch im Gefüge der verschiedenen Typen betrachtet und dem Typus zugeordnet, dessen Merkmalsbestand es am ehesten entspricht. Dabei können nun Abbildungen und Bestimmungstabellen ebenso helfen, wie andere schon bestimmte Individuen. All diese Darstellungen und Informationen sind aber – strikt gesehen – nur Repräsentationen des als verbindlich angesehenen Typus. Dabei ist kein Katalog abzusetzender Einzelmerkmale festgelegt. Der reale, in einer Sammlung verfügbare Typ, der Komplex singulärer strukturellen Ausprägungen, gegebenenfalls auch dessen molekularbiologische Kennung, benennt das, was eine Art „ist“. Das Neue wird in Bezug auf diesen Typ, in Bezug auf eine Darstellung der zu ihm zu findenden Ähnlichkeit, bestimmt. Gegebenenfalls kann dann eine Reihe von mit gesammelten Exemplaren des Erstbeschreibers, die er dem hinterlegten Typusexemplar beilegte, sogenannten *Syntypen*, den Grad der möglichen strukturellen Variation innerhalb der *qua* Typ definierten Art bestimmen helfen. Verbindlich ist aber nur der Typus, und es ist auch schon vorgekommen, dass in der systematischen Revision einer Gruppe in den *Syntypen* einer Art neue Arten entdeckt wurden.¹² Ein *Paratyp* ist ihm dagegen ein Vergleichsobjekt, das nach eingehender Sichtung als mit dem Typus identisch angesehen wurde. Es kann helfen, bei einer Neubeschreibung möglichst viele Referenzobjekte an einen Ort zu bekommen und so nunmehr in direktem Vergleich Ähnlichkeitsgrade zwischen verschiedenen Formen zu bestimmen. Geltung hat aber in dieser an Einzeldingen inserierenden Systematik als Bezugspunkt letztlich allein der Typus als das eindeutig gekennzeichnete Exemplar, das an einem bestimmten Ort verwahrt wird. Dieses Ding zeigt, was eine Art ist: ein strukturelles Gefüge analog erscheinender Objekte, das als Resultat einer engen genealogischen Beziehung der entsprechenden Individuen interpretiert wird und von dem *cum grano salis* angenommen wird, dass alle Individuen solch einer Art auch ihrerseits miteinander fertile Nachkommen zu produzieren im Stande sind. Getestet wird dies jedoch nur in den seltensten Fällen, zumal auch klar ist, dass bei sehr großen, stark variierenden Populationen solch eine Fertilität zwar im Kernbereich der Vorkommens solch einer Art zu erwarten ist, wohingegen zwei Individuen der Randgruppen solch einer Art aber gegebenenfalls miteinander keine Nachkommen zu erzeugen vermögen.¹³ Dies gilt für eine bestimmte Mövenart, die circum-atlantisch vorkommt, ebenso wie für die verschiedenen Hunderassen.

Festzuhalten ist: Identifiziert wird ein Individuum einer Art und die Art selbst über einen Vergleich von Merkmalen, deren Differenz aufgewiesen und gegebenenfalls quantifiziert wird.

Erfahren werden damit nicht *Abstrakta*, sondern Einzeldinge. Die jeweilige Benennung des Erfahrenen durch den Wissenschaftler erfolgt nicht im Sinne eines einfachen *just fit* in einem Erfahrungszusammenhang. Dieser selbst bleibt vielmehr offen, und ermöglicht es so,

¹² Vgl. *International Commission on Zoological Nomenclature* 2005, MINELLI et al. 2005.

¹³ MAYR 1967.

auch Neues in den Gesamtzusammenhang zu inkorporieren, ohne dann immer ein ganzes Ordnungsgefüge an sich umwerten zu müssen.

Hier gewinnt die Analogie ihren Wert. Sie ist damit nicht bloß ein vorläufiges, in der Geschichte der exakten Naturwissenschaften nur im Gestern zu verortendes Tun, sondern sie ist ein Grundbaustein der wissenschaftlichen Erfahrung: Die Zuordnung der einzelnen Perzepte in einen Erfahrungszusammenhang läuft nach dem Muster der Analogie ab. In der Analogie wird das Unbekannte, sei es als Einzelding oder sei es – wie im Weiteren noch beschrieben – als Erfahrungszusammenhang, in seiner möglichen Zuordnung ausgetestet, und es wird zugleich in Bezug auf ein existentes Wissen qualifiziert und damit in seiner Position im Gesamtzusammenhang eines Wissens eingeordnet. Dabei umreißt die Analogie das Einzelne nicht in einer in sich stehenden Definition. Das macht sie denn auch einer begrifflich orientierten ideengeschichtlichen Analyse der Wissenschaften suspekt, da die Analogie das Einzelne nicht an sich, sondern in seinem möglichen Bezug auf ein anderes expliziert. Sie setzt damit etwas in einen Ähnlichkeitsbezug, zeigt, dass in dem analogen Erscheinungsbild ein Ordnungsbezug vorhanden ist, aus dem heraus ein Einzelnes ihres Erfahrungszusammenhangs auf etwas anderes zu beziehen ist.¹⁴ Dieser Bezug setzt das bisher Unbekannte in Relation, und damit in Geltung.

Nun meint Analogie aber mehr als nur eine bloße Relation. Mit ihr expliziert sich ein Ganzes, das in Bezug auf bestimmte Merkmale einem anderen Ganzen zugeordnet wird als etwas, das, da es in Teilbereichen zuordenbar ist, eben auch als Ganzes dem anderen Ganzen entspricht.

Nur ist die Analogie, in dieser beschriebenen Weise als heuristische Funktion eingesetzt, eben nicht eine abschließende Bewertung von etwas, das nun in Bezug auf etwas anderes als eben dieses andere in neuer Form erscheint. Indem nun zwei Entitäten als einander entsprechend qualifiziert sind, steht die Eine in einem Bezug zur Anderen. Damit ist das Analoge bewertbar, es wird somit möglich, in der Analogie Aussagen über weitergehende Entsprechungen der als analog gesetzten Teilmomente des Erfahrungsraumes zu formulieren, die dann sekundär falsifizierbar werden. Die Analogie positioniert etwas in meiner Erfahrung in Blick auf das bisher Erfahrene; sie qualifiziert und erlaubt demnach das sensorisch Präsenze in einen Wissenszusammenhang einzubringen, es auf den Begriff zu bringen und damit als Wissen in das Gefüge des Gewussten einzubinden.

Exkurs: Die Qualifizierungen des Merkmals – Elektrizität um 1800

Nun sind Dinge ja nicht einfach Merkmalskomplexe. Das, was ein Merkmal an einem Ding ist, entscheidet sich erst dadurch, dass ich dieses Eine in Bezug zu anderen Dingen zu setzen suche, und hierfür Kriterien finde. In diesem Sinne werden Merkmale eben auch in dieser Bezugnahme überhaupt erst als solche identifiziert. Dies zeigt sich historisch etwa an der experimentellen Physik um 1800, am Phänomen der Elektrizität. Dieser neue Gegenstandsbereich war nun nicht einfach an sich zu beschreiben; er war in seinen Effekten zu studieren, die dann aber – etwa im Phänomen der Polarität – Ähnlichkeiten mit dem schon von GILBERT systematisierten Phänomen des Magnetismus auswiesen.¹⁵ Zu fragen war demnach, inwieweit diese Bereiche nur Spielarten eines grundsätzlichen Polaritätsverhältnisses waren. Dazu

¹⁴ COENEN 2002.

¹⁵ Vgl. WOLFSCHMIDT 2005.

waren bestimmte Teilbereiche des Erfahrungsbefundes von elektrischen und magnetischen Phänomenen einander zuzuordnen. In diesem Bezug aufeinander, der zunächst einmal diesen Bereich Magnetismus und Elektrizitätslehre als einen Phänomenkomplex darstellte, waren nun in der entsprechenden Zuordnung überhaupt erst Differenzen zu markieren. Entsprechend konturierte sich zusehends eine Beschreibung des Phänomens des Elektrischen als ein eigenständiges Erfahrungsgefüge. Dabei gab es dann bestimmte Erfahrungsbereiche, in denen dieser Komplex des Elektrischen und des Magnetischen direkt aufeinander zu beziehen waren. Dies galt etwa für die Darstellung des Turmalins, eines Minerals, das bei Erwärmung an einem Ende des Kristalls eine Polarität aufbaute und derart wie ein Magnet zu funktionieren schien.¹⁶ Andererseits ließ sich aber durch die Erwärmung des anderen Endes diese Polarität auch umschichten. Insoweit zeigt dieses Mineral, dass Polarität selbst keine feste Größe, sondern als ein dynamisches Phänomen zu betrachten ist. Es zeigt ferner auch, wie sich Eigenschaften eines Leiters studieren lassen und inwieweit diese in einem direkten Bezug zum Aufbau einer Polarität stehen. Im Resultat dieser nur in Ansätzen umrissenen Diskussion der Physik der zweiten Hälfte des 18. Jahrhunderts wird der Turmalin zu einer Größe, mit der die Phänomene des Magnetismus (feste Polarität) und der Elektrizität (Polarität mit wechselnder Polung, die nur bei Energiezugabe sichtbar wird) zu differenzieren sind. So argumentierte Georg Christoph LICHTENBERG am 19. Dezember 1778 in seinem Vorstellungsvortrag vor der Göttinger Akademie der Wissenschaften mit dem prinzipiellen Modellcharakter des Minerals Turmalin für das Verständnis der Polarität. Er skizzierte zunächst seine Abbildungen elektrischer Figuren, die ihm als unmittelbarer Nachweis der Struktur der elektrischen Materie dienten. Er registriert dabei bei positiver und negativer Elektrizität auftretende Erscheinungen.¹⁷ Seine Figuren ermöglichten es LICHTENBERG dabei, Ladungsverteilungen und damit Eigenschaften des Elektrischen zu beschreiben. Ausgangspunkt seiner Überlegung war nun die von ihm postulierte strukturelle Analogie zwischen seinen Figuren und dem Nordlicht, dessen Gestalt er in diesen seinen Figuren „nachgeahmt“ fand. LICHTENBERG verband nun diese Erscheinungen mit denen, die für den Turmalin diskutiert wurden und in denen die atmosphärischen Erscheinungen des Nordlichts, aber auch grundsätzliche Eigenschaften des Erdmagnetismus abbildbar zu sein schienen.

LICHTENBERG verfuhr hier analogisierend, indem er nicht nur die Erde als Turmalin dachte, sondern sich die globalen Erscheinungen von Nordlicht und Erdmagnetismus als Summe der Wirkungen vieler kleiner Turmaline vorstellte. Für LICHTENBERG wurde damit die Welt zum Turmalin:

„Ich nehme an, der mittlere positive Pol dieses Turmalins sei auf den Mittelpunkt des dunklen Bogens des Nordlichts gerichtet, wie auch der mittlere magnetische Nordpol der Erde in derselben Richtung liegt. Vielleicht wird man später noch entdecken, daß Turmalin und Magnet dieselben Körper sind; denn so wie das Eisen durch Reiben magnetisch wird, so wird Glas durch Reiben elektrisch oder ‚turmalinisch‘.“¹⁸

Hier zeigt sich deutlich das Moment der Analogie, bei dem in dem In-Bezug-Setzen mehr als nur eine Relation aufgewiesen wird. In der Analogie wird nun eine Verhältnisbestimmung expliziert, der zufolge das, was als analog beschrieben wird, nicht nur dem ähnlich ist, was

16 WIESENFELDT und BREIDBACH 2010.

17 LICHTENBERG 1956, S. 4.

18 Ebenda, S. 44–45.

dort als Analoges ausgewiesen ist. Ausgesagt ist damit, dass sich das, was als analog gesetzt wird, in seinen wesentlichen Momenten entspricht.

Damit nun aber ist das Entsprechungsverhältnis selbst thematisch. Das, auf was hin zwei Einzelheiten als analog beschrieben werden, ist damit als Moment einer Naturbeschreibung exponiert. Das sind eben die Prinzipien, nach denen nun die als analog beschriebene Vielfalt organisiert ist. So beschreibt er am Beispiel des Turmalins das Prinzip der Polarität, das, was Magnetismus und Elektrizität gemeinsam schien. Darin schien ein Prinzip gefunden, über das beide Erfahrungsbereiche einander zuzuordnen waren. Nun ist zu fragen, wie dieses Prinzip dann in den verschiedenen Formen realisiert ist. Entsprechen sich dabei dann auch die Kriterien, an Hand deren sich dieses Prinzip als Ursache einer vergleichbaren Wirkung beschreiben lässt, oder zeigt die eingehende Analyse, dass die Wirkungen, die jeweils induziert werden, eben doch unterschiedliche sind und demnach der Regress auf eine Ursache, die beiden Bereichen zugrunde liegt, eben nicht weiter zu halten ist? Die Elektrizitätsforschung im endenden 18. Jahrhundert kam zu diesem Schluss und konnte so – obwohl nicht klar war, was nunmehr Magnetismus und Elektrizität im Eigentlichen waren – dann doch diese Naturphänomene darstellen und einander zuordnen.

Klassifiziert werden hier Merkmalszusammenhänge. Die Zuordnung verschiedener Objekte zueinander erlaubte es, an ihnen im Vergleich jeweils eine Vielfalt von Merkmalen darzustellen. Das, was an beiden Objekten zu finden war, oder das, was am anderen Objekt kein Gegenstück fand, war so in der direkten Gegenüberstellung zu identifizieren. So waren die Beschreibungen wechselseitig aufeinander bezogen. Bleibt diese Zuordnung auch bei weitergehender Detaillierung erhalten, wird die Systematik einer Naturbeschreibung, die die Objekte nur auf Grund zunächst nur sehr grober *Analoga* zueinander positionierte, immer feingliedriger. Es findet sich so ein Gefüge von wechselseitigen Bewertungen, in denen nunmehr die Entgegenstellung verschiedener Formen als ein Ordnungszusammenhang möglicher Relationen beschrieben werden kann. Werden hierin die vielfältigen Beobachtungen eingebunden, die sich im Laufe einer immer neuen Differenzierung von Gegenständen solch einer Naturgeschichte ansammeln, so gewinnt sich ein zusehends feineres Raster möglicher Bestimmungen. In diesem ist nun eine Taxonomie der Naturformen darzustellen, die nicht einfach nur katalogisiert, was es gibt, sondern die eine Abstufung von Ähnlichkeiten und damit eine Struktur des Naturalen selbst zu entdecken erlaubt.

Analogie in der Systematik

In der einfachsten Form jeder Beschreibung findet sich dies beim Taxonom *ex professo*, der ja jeweils ein Einzelding auf Grund einer Reihe von Merkmalen, die er studiert, in einen Zusammenhang mit Formen setzt, die einen analogen Merkmalsbestand haben. Wie sieht das nun aus in dem vermeintlich trivialen Tun eines Taxonomen? Dieser hat ein Objekt vor Augen, das er in einen ihm vorliegenden Ordnungsbestand zu integrieren hat. Arbeitet er in Mitteleuropa, wird ihm etwa als Entomologen kaum die Idee kommen, ein Einzelding zu finden, das in der bisherigen Systematik noch nicht abgebildet ist – obwohl ihm die Geschichte der Entdeckung der Sandlückenfauna auch für unseren Bereich hier ganz anderes lehren könnte. Ist er gar Paläontologe, d. h. arbeitet er mit fossilen Formen, kann er sich fast gar nicht sicher sein, in dem ihm verfügbaren Fundmaterial immer das vor Augen zu haben, was auch vormals schon gesichtet wurde. Setzen wir aber diese Ideen selbst zunächst außer Geltung, so bleibt

dennoch das Geschäft insbesondere bei bestimmten Käfergruppen, wie den Kurzflügelkäfern (*Staphylinidae*), oder gar bei Spinnen ein sehr mühsames. Schließlich sind in individuell hoch variablen Formen, die selbst in der Größe um über 50% variieren können, minutiöse strukturelle Differenzen festzumachen, nach denen dann ein Individuum einer bestimmten Tierart zuzuordnen ist. Das Vorgehen des Taxonomen ist dabei – insbesondere bei den etwas problematischeren Formen – wie folgt zu beschreiben: Nachdem er auf Grund seiner Formkenntnis vielleicht schon die Zuordnung eines Individuums auf Familien- oder gar Gattungsniveau geschafft hat, sucht er nun im Bestimmungsbuch nach den Kriterien, die eine Form bekannten Fundortes eindeutig gegenüber anderen Formen abzugrenzen erlauben. Dazu bemüht er einen Katalog von Merkmalen, über die solch eine relative Formabgrenzung zu erreichen ist. Er setzt also nach seiner Formkenntnis ein Ding in einen Zusammenhang, ausgehend davon identifiziert er nun bestimmte Merkmalskomplexe, an Hand deren er nun in diesem Merkmalsgefüge Teilräume von Formkombinationen abgrenzen kann und diese einzelnen Arten zuordnet. Demnach kann er dann bestimmte Merkmalskombinationen als Indikatoren für die Zuordnung einer Art in einen bestimmten Bereich der zoologischen Systematik benennen.

Wenn er nun eine Form vor Augen hat, die etwa aus einer alten Sammlung eines die Tropen bereisenden Biologen stammt, wird die Identifikation noch problematischer. Schließlich kann er hierzu den Bereich der möglichen Abfragen möglicher Zuordnungen sehr viel weniger eingrenzen: Er wird auf Grund von bestimmten Aussagen zur Merkmalsverteilung und auf Grund seiner ersten Zuordnung dieser individuellen Gestalt in das Grundgefüge der zu klassifizierenden Arten ansetzen. So hat er etwa ein Individuum als eine mögliche Bockkäferart identifiziert. Er wird nun nach dem Grundschlüssel der Verteilung der Bockkäferarten in diesem Bereich die weitere Differenzierung auf die dort verfügbaren Arten eingrenzen, einen Schlüssel nutzen, der ihm eine Abfolge von Merkmalskombinationen offeriert, an Hand deren er nunmehr feststellen kann, ob die ihm unbekannte Form in den einen oder anderen Bereich der ihm bekannten Formen einzuordnen wäre. Passt der Schlüssel in einer Weise, dass eine Abfolge von Merkmalsidentifikationen einen Entscheidungsbaum entlangfahren lässt, der ein Ganzes dann in der Sequenz der abgefragten Merkmale in eine bestimmte Kategorie hineinführt, diese immer weiter verengt und schließlich bei der Zuordnung einer Art stehen bleibt, so war das zu bestimmende Individuum in dem Bestand der bisherigen Differenzierungsmuster eindeutig zu positionieren und somit einer Art zuzuordnen. Natürlich kann sich diese Zuordnung ändern. So sieht dies anders aus, wenn etwa durch weitere Funde und einer dann folgenden Erweiterung oder gar Variation des Entscheidungsbaumes sich die Merkmalsbestände der vormalig als Einheit gefassten Art aufsplitten. Das, was dann beschrieben wird, ist aber immer noch eine Zuordnungsfolge, die ein Individuum eindeutig im Bestand des möglichen Wissens verortet.

Was heißt dies? Merkmale sind in diesem Vorgehen abzufragende Bestimmungsgrößen, die nicht an sich definiert, sondern in Relation zu dem Bestand möglicher und bisher erfasseter Variationen eines bestimmten Gefüges von Attributionen festzustellen sind.¹⁹ Dies klingt gewaltig kompliziert für die einfache Feststellung, dass etwa der Fuß am Hinterbein eines Käfers in drei Segmente gegliedert ist. Nur ist natürlich die Frage, ob diese Untergliederung des Fußes für seine systematische Position relevant ist: Zu fragen ist dazu, ob diese Dreigliedrigkeit des Hinterfußes ein wirkliches Charakteristikum einer bestimmten Gruppe darstellt, wer alles zu dieser Gruppe der dreigliedrige Hinterfüße besitzenden Käfer gehört und wel-

19 Zum Vorgehen vgl. BÄHRMANN 2008.

chen Stellenwert eine solche Gruppe im Gesamtzusammenhang der Käfer besitzen könnte. Wie sieht es dann mit der Form der Fühler oder Antennen dieser Tiergruppe aus? Lassen sich hier ähnliche Abgrenzungen erarbeiten? Sind dann die so auszuweisenden Gruppierungen nun ihrerseits in Deckung oder ergeben sich in diesen verschiedenen Zuordnungen Verschiebungen in der Zuordnung der Formen. Einfach ist es, wenn sich in den verschiedenen Zuordnungen jeweils nur Untergruppierungen zeichnen lassen. Schwieriger wird es, wenn sich verschiedene dieser nach unterschiedlichen Merkmalen klassifizierten Zuordnungen nur in Teilen überlappen. Bedeutet dies doch, dass eine entsprechende Klassifikation nur künstlich ist, dass die Überlappung von Teilüberlappungen einzelner Merkmale nur dazu nutzt, in einer schon feststehenden Gruppe Teilbereiche auszugrenzen, die dann in einem entsprechenden Verfahren noch weiter eingegrenzt werden. Dieses Verfahren und seine Problematik sind alt und von vornherein mit der Systematik verbunden.²⁰ Hier interessiert dann auch nicht das Verfahren als solches, sondern das damit aufscheinende Problem, dass Formen in ihren Merkmalsbeständen nur jeweils bezogen auf einen *Pool* bisher bekannter Merkmalskombinationen abgegrenzt werden können. Das heißt, eine rein additive Bestimmung von Merkmalskombinationen oder gar ein Kalkül, das über verschiedene Merkmalsbestände mittelt, kann die Ordnungshierarchien in den vorhandenen Merkmalsbeständen nicht darstellen. Damit wird eine Zuordnung der Formen abhängig von einem Bezug der verschiedenen Merkmalsbestände auf ein Konzept einer Gesamtarchitektur, in der nun zuzuordnende Strukturen herauszufinden sind (Abb. 1).

Dies geschieht im Blick auf das Ganze eines Organismus, in den nunmehr die Einzelheiten als Einpassungen beschrieben sind. Ganz im Sinne der Vorstellung eines Georges CUVIER sind demnach verschiedene strukturelle Besonderheiten als Variation eines Merkmalsgesamtbestandes begriffen, auf dieses Ganze bezogen und von daher in ihrer relativen Gewichtung zu verstehen.²¹ Demnach wird zunächst ein Differenzkalkül zwischen verschiedenen, ähnlich erscheinenden Organismen beschrieben. In diesem werden ähnlich erscheinende Organismen in einen Bezug zueinander gesetzt. Die derart für eine Klassifikation tragenden Merkmalsbestände reichen aber nicht zu, eine eindeutige Hierarchisierung der über die Reihung der Merkmale getroffenen Zuordnung zu ermitteln.

Eine solche Hierarchisierung, in der dann Untergruppierungen von jeweils einander ähnlichen Gruppen beschrieben werden, lässt sich so nicht sichern. Ein Gesamtmerkmalsbestand kann immer nur bezogen auf eine bestimmte Auffassung von Verwandtschaftsverhältnissen abgeglichen und in Bezug auf mögliche Alternativen diskutiert werden. So können dann an Hand der gewonnenen Vorstellung der Zuordnung bestimmter Ähnlichkeitsgruppierungen bestimmte Merkmale herausgegriffen werden, an Hand deren dann die erarbeitete Zuordnung plausibel zu machen ist. Das heißt also, es wird zunächst eine Analogie erarbeitet, diese wird mit Merkmalsbeständen untersetzt und gegebenenfalls in Folge einer näheren Analyse der Merkmalsausprägungen dann auch korrigiert. So können sich in der eingehenden Darstellung der Merkmalsbestände zweier ähnlich erscheinender Formen stabile Differenzen ergeben, die dazu führen, diese ähnlich erscheinenden Formen als disjunkt voneinander abzugrenzen.

Wenn nun ein Individuum in diese so erarbeiteten Klassifikationsraster einzubinden ist, so ist dieses in seiner Gestalt auf das schon gefundene Raster zu beziehen. Das heißt, es sind

20 STEVENS 1994.

21 SCHMITT 2006.

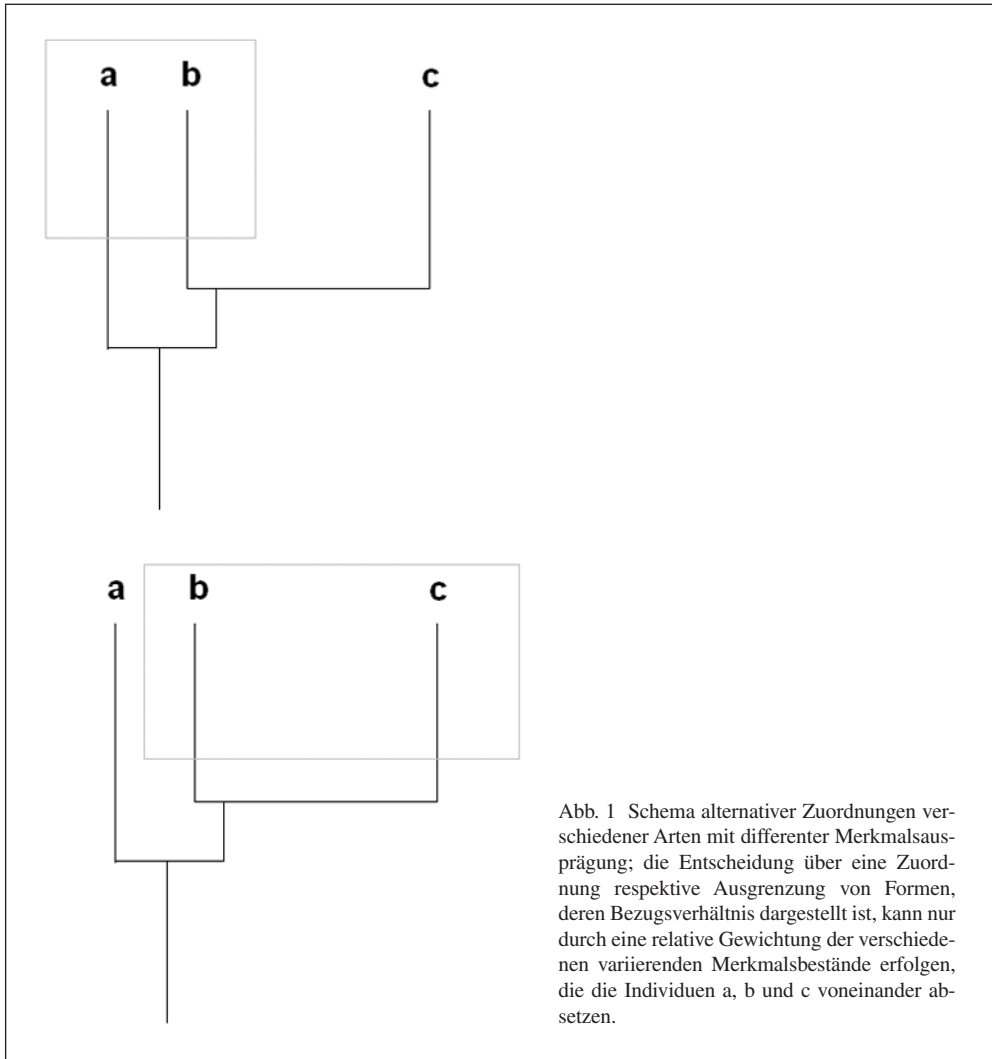


Abb. 1 Schema alternativer Zuordnungen verschiedener Arten mit differenter Merkmalsausprägung; die Entscheidung über eine Zuordnung respektive Ausgrenzung von Formen, deren Bezugsverhältnis dargestellt ist, kann nur durch eine relative Gewichtung der verschiedenen variierenden Merkmalsbestände erfolgen, die die Individuen a, b und c voneinander absetzen.

die Bereiche der Struktur zu identifizieren, an denen dann die Merkmale abzugreifen sind, die eine Zuordnung in ein Gesamtgefüge verschiedener Formen ermöglichen. Dabei wird das Individuum, das bisher dargestellten Untergruppen dieses Teilbereiches nicht zuordenbar ist, als eine neue eigenständige Untergruppierung dieser Gesamtgruppe gefasst. Es ist analog zu den Merkmalskombinationen vorliegender Arten gestaltet, aber in seinen spezifischen Kombinationen von dem Bereich des schon in dieser Gruppe Eingearbeiteten zu differenzieren. So ist es denn eine eigene Art, Gattung oder gar Familie – je nach dem *Level* ihrer festgestellten Inkompatibilität – im Zusammenhang einer ansonsten passenden Charakteristik. Insoweit kann dann der Systematiker eine Form in ein Gefüge einpassen (2).

Dass dabei die moderne molekularbiologisch getragene Systematisierung einige der Probleme einer bloß auf Grund von morphologischen Befunden erarbeiteten Zuordnung über-

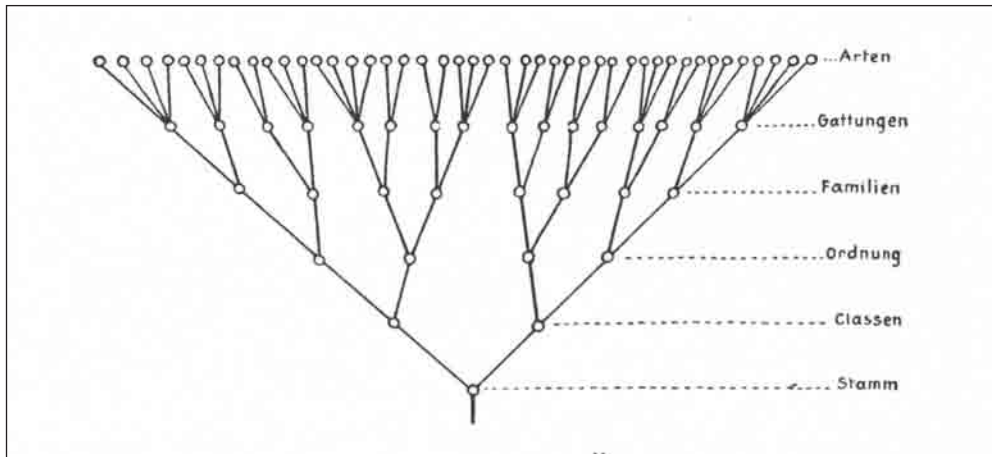


Abb. 2 Schematismus der Verwandtschaftsverhältnisse nach dem idealistischen Morphologen NAEF. Die originale Bildunterschrift lautet: Idealer Stammbaum und seine Übertragung in das übliche System. Hier ist der logische Schematismus expliziert, mittels dessen ein Cladist systematische Einheiten und Hierarchien in der Systematik definiert. Aus NAEF 1919, S. 47.

brücken lässt, sei zumindest erwähnt, dennoch wird aber auch hier letztlich ein Komplex von Struktureinheiten benannt, der sich nicht einfach auf eine sequentielle Nachricht reduzieren lässt.²² Dennoch ist damit allerdings die Problematik der zum Teil sehr wenig einsichtigen Zuordnung hochgradig abgeleiteter morphologischer Merkmale vereinfacht. Dennoch bleibt aber auch hier das Problem, dass entsprechende Informationen über mögliche Gensequenzen und deren Bedeutung für die Zuordnung einzelner Gruppen auf die Gesamtsequenz der molekulargenetisch darzustellenden Informationen bezogen werden müssen, wobei dann gegebenenfalls verschiedene Ebenen in der Ausprägung auch der Teilsequenzen der DNS und der in diesen möglichen Schwankungen auf Ebene der systematisch einzuordnenden Individuen zu berücksichtigen sind.

Natürlich kann man versuchen, komplexe Formcharakteristika einer Gruppe dann in den Variationen eines bestimmten Organs, oder in Bezug auf eine bestimmte DNS-Sequenz respektive eine Folge entsprechender Teilsequenzen, abzubilden und so einen Raum möglicher Variationen zu bestimmen. Ein Beispiel hierzu bietet etwa die Ausbildung eines bestimmten Teils des Außenskelettes einer Käfergruppe, der *Cerambyciden*, an der sich die strukturelle Differenzierung dieser Gesamtgruppe beschreiben lässt, womit dann etwaige Gestaltzuordnungen dieser Formen in einem einfachen Messgefüge darzustellen sind. Doch auch derartige Vereinfachungen bleiben unbefriedigend, da sie voraussetzen, dass für eine bestimmte Gruppe solch ein für deren gestaltliche Differenzierung insgesamt charakteristischer Merkmalskomplex gefunden ist. Im Falle der *Cerambyciden* ist es etwa möglich, zumindest in einer Untergruppe, den *Cerambycinae*, eine solche Struktur zu identifizieren, die bei den verschiedenen Arten dieser Untergruppe nicht mehr in ihrem Grundaufbau, wohl aber in ihren Proportionen verändert ist. Demnach lassen sich nun Umschichtungen im relativen Bezug von Teilbereichen in der Proportion dieses Skelettelementes skizzieren (Abb. 3).

²² SCHERRER und JOST 2007.

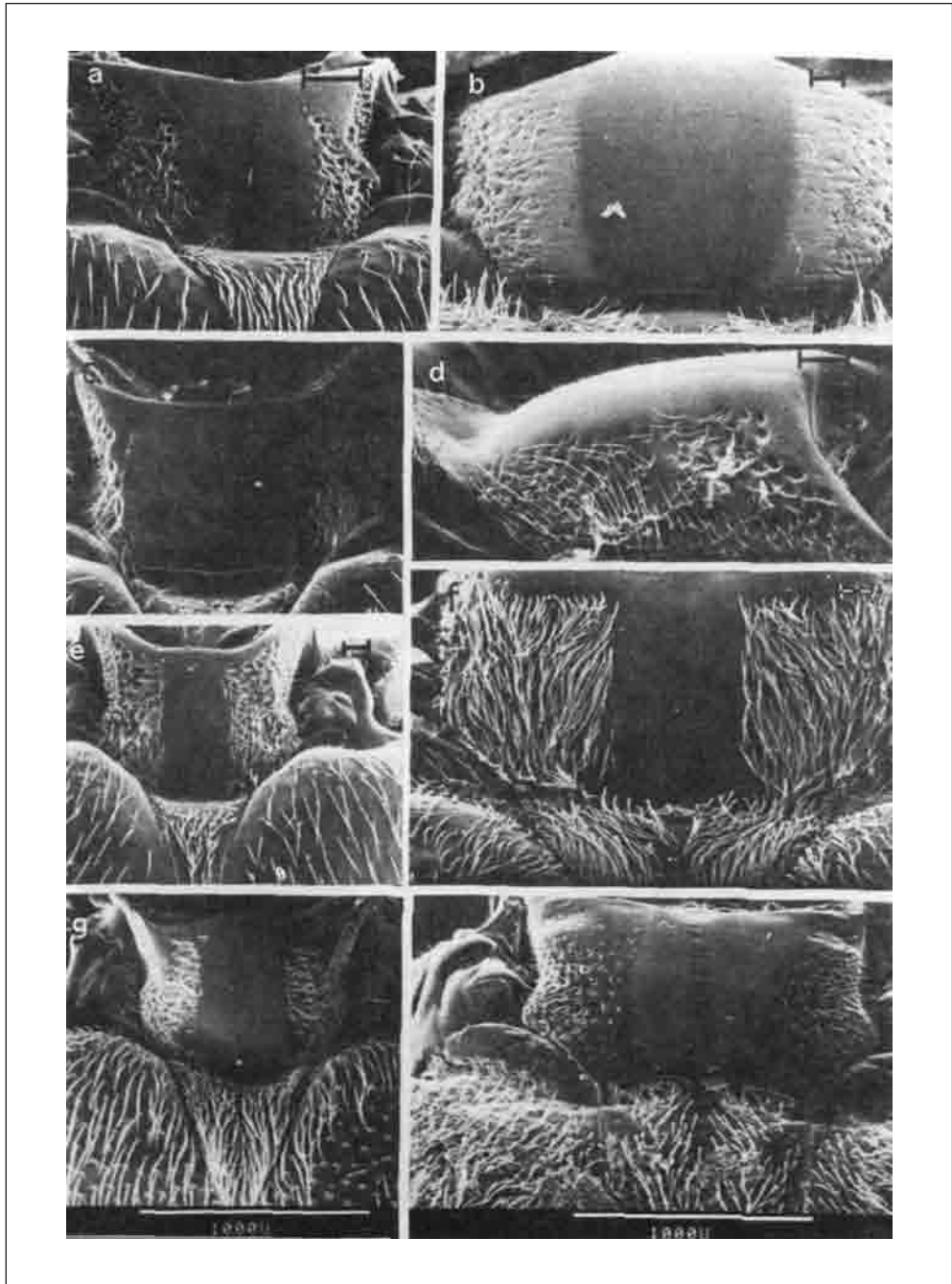


Abb. 3 Rasterelektronenmikroskopische Darstellung des sogenannten *Mesoscutums* mit der *pars stridens*, eines bestimmten Bereiches des Außenskelettes verschiedener *Cerambyciden* (Bockkäfer)-Arten. Gezeigt ist hier, wie in einer morphologischen Analyse ein bestimmter Merkmalsbereich aufgenommen wird. Nach BREIDBACH 1984, Tafel 16; der Maßstab entspricht 100 μm .

Dieses Skelettelement ist die sogenannte *pars stridens*, eine Struktur auf der Kutikula eines Körpersegmentes dieser Art, deren Struktur es den Tieren ermöglicht, Vibrationssignale zu erzeugen. Diese Vibrationslaute stehen in einem einfachen, in der Gruppe insgesamt wenig differenzierten funktionellen Zusammenhang. Insoweit finden sich strukturell nur geringe, allerdings einfach quantifizierbare Variationen, deren Varianz über die Gruppe zu studieren ist und in der sich Verschiebungen der Größenbeziehungen der Körperstruktur dieser Tiergruppe abbilden. Hier ist demnach vom Problem einer etwaigen Gewichtung von Merkmalsbeständen in diesen einfachen Skelettelementen abzusehen (Abb. 4).

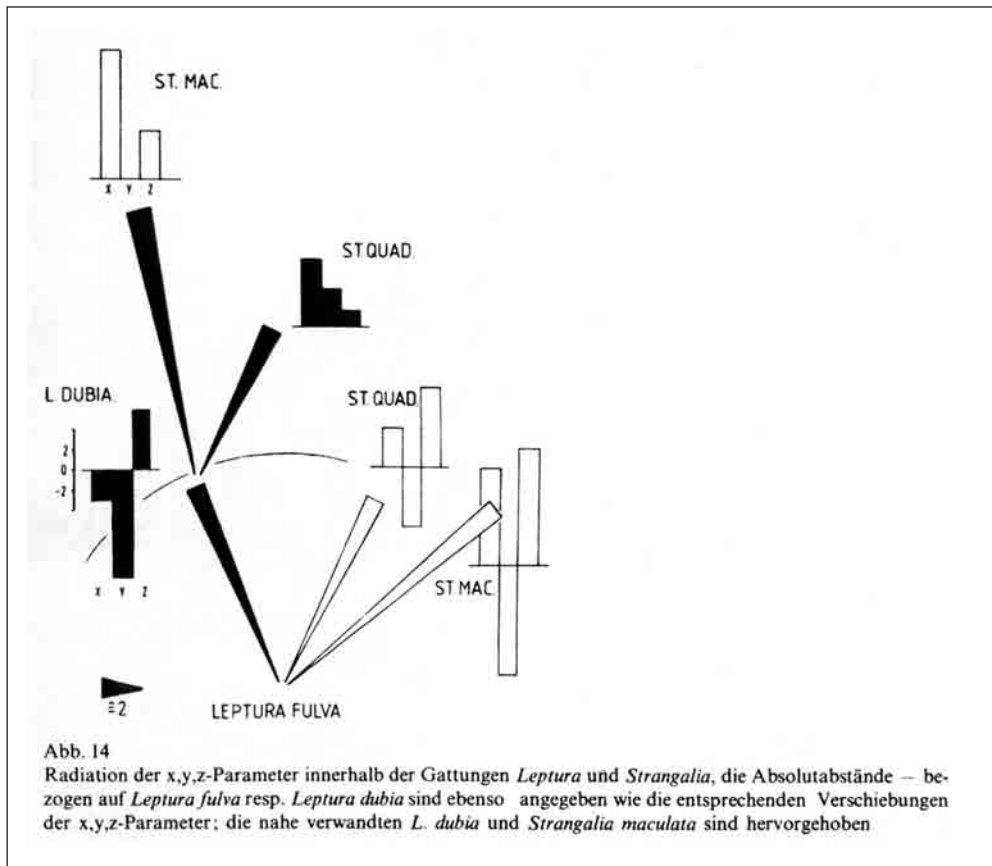


Abb. 4 Darstellung der Verschiebung quantifizierbarer Parameter des Baus der *Pars stridens* verschiedener *Cerambycidae*-Arten, hier eingegrenzt auf die Radiation im Bereich einzelner (sympatrischer) Vertreter einer Unterfamilie der *Lepturinae*. Die relativen Distanzen der einzelnen Arten, die hier angetragen sind, beruhen auf einem Vergleich der Variationen dreier Parameter, mit denen die Dimension der *Pars stridens* (Abb. 3) ausgemessen wurde. Nach BREIDBACH 1986, hier Abb. 14, S. 39.

Noch sehr viel einfacher ist davon im Vergleich von bestimmten DNS-Sequenzen abzusehen, da hier in der DNS-Sequenz eine molekulare Information verfügbar ist, die eben die Vorbedingung einer strukturellen Ausprägung des Organismus auf der Ebene einer morpho-

logischen Organisation darstellt, zugleich aber selbst ebenfalls eine sich allerdings in einer sequentiellen Folge darstellende Strukturinformation enthält. Diese kann gegebenenfalls schwer zu entschlüsseln sein, hat aber in der Behandlung den Vorteil, dass sie in einer eindeutigen Sprache, in einer Analyse der molekularen Strukturdaten zu beschreiben ist.

In einer systematischen Analyse ist nun aber auch hier ein Differentialkalkül anzusetzen.²³ Wobei vorab zu gewichten ist, in welchem Rahmen Variationen in Teilräumen der untersuchten DNS-Sequenz zugelassen sind, welches die Basismodule einer entsprechend darzustellenden Grundeinheit der auf DNS-Ebene charakterisierten Grundmuster sind, und inwieweit dann Teilvariationen innerhalb dieser Grundmuster oder zusätzliche genetische Merkmale zu einer feineren Differenzierung einer entsprechenden Gruppe führen. Die Diskussion um die sogenannten *Homeobox*-Gene, DNS-Bereiche, die für die Ausprägung der Körpergrundanlagen zuständig scheinen, und die sich daran anschließende Diskussion einer möglichen phylogenetischen Interpretation von Variationsmustern in solchen Gen-Grundbeständen benennen die hier nur angedeutete Problematik.²⁴

Damit verbunden ist nun eine zweite Problematik. Ähnlich erscheinende Merkmale müssen – auch auf der Gen-Ebene – nicht unbedingt darauf verweisen, dass zwei Organismen mit solchen Merkmalen auch einen gemeinsamen Vorfahren besitzen. Nur dann wäre die Darstellung von Merkmalsähnlichkeiten ein direktes Indiz für ein Verwandtschaftsverhältnis. Sofern sich solch ein Verwandtschaftsverhältnis rekonstruieren lässt, sprechen wir von homologen Merkmalen, d. h. von Merkmalen, deren grundsätzliche Übereinstimmungen Resultat einer gemeinsamen evolutionären Entwicklung sind. So gilt nach Ernst MAYR, dass ein Merkmal zweier oder mehrerer *Taxa* homolog ist, wenn es sich von demselben oder entsprechenden Merkmal ihres nächsten gemeinsamen Vorfahren ableitet.²⁵

Demgegenüber sind analoge Strukturen solche, die sich eben nicht auf einen gemeinsamen evolutionären Ursprung zurückführen lassen. Sie sind Resultat konvergenter Entwicklungen. Das bedeutet: Wir können hier etwaige Entsprechungen als Resultat funktioneller Adaptationen begreifen. So sind die Gestalten eines Delphines und eines Ichthyosauriers sehr ähnlich, obwohl die beiden Organismen gänzlich anderen systematischen Einheiten angehören, und eben alle strukturellen und funktionellen Entsprechungen dieser fischähnlichen Gestalt Resultat konvergenter, d. h. auch voneinander unabhängiger, Entwicklungen waren. Ihre funktionalen Entsprechungen lassen demnach Rückschlüsse auf Umweltbedingungen und Lebensweisen zu, stellen aber eben keine Verwandtschaftsbeziehungen dar. In der Praxis ist es oft nicht einfach, derart analoge und homologe Merkmalsbereiche sicher zu identifizieren.

Hierzu sind ähnliche Strukturen in einen eingehenden Vergleich zu stellen. Zum einen können im Vergleich mit solchen einzelnen als ähnlich erscheinenden Merkmalen weitere Details einer Organisation oder einer Funktion charakterisiert werden. Dadurch, dass derart einzelne Bereiche in Beziehung zueinander gesetzt sind, werden Differenzen überhaupt erst deutlich. Dies gewinnt sich dann, wenn eine grobe Verortung zweier Formen zwar funktioniert, d. h., dass sie nicht nur einfach nebeneinander gestellt sind, sondern dass derart ein Bezugspunkt identifiziert ist, über den sie aufeinander zu beziehen sind. So ist dann, ausgehend von der gewonnenen Zuordnung zweier Formen, nun aber ein Feinabgleich, d. h. eine Darstellung von weiteren Entsprechungen in der Detailcharakteristik der zunächst zugeordneten Formen, nicht mehr möglich.

23 PACTER und STURMFELS 2005.

24 SLACK et al. 1993, HÜBNER 2006.

25 MAYR 1997.

Analogie und Typologie – ein Blick zurück auf die Situation um 1800

Bleibe ich beim bloßen Aufweis der Strukturanalogien stehen, setzte ich also nicht die Differenzen zwischen zwei aufeinander bezogenen Elementen dazu an, zu verifizieren, ob überhaupt *Homologa* vorliegen, so verbleibe ich in der Darstellung von einfachen Ähnlichkeiten im Sinne einer vormaligen Typologie. Dieser Auffassung zufolge war die Natur in sich zwar in eine Vielfalt differenziert, diese Vielfalt war aber nur eine Diversifikation eines einheitlichen Gefüges. Ähnlichkeiten reichten also zu, um ein Element in diesem Naturalen zu verorten, wies sich doch über die Ähnlichkeit zweier Formen eine Entsprechung aus, die nun zureichte, einen systematischen Platz zu definieren. Auch hier wird – etwa bei CUVIER – dann eine Abstufung von Ähnlichkeiten – im Sinne einer Differentialdiagnose – benutzt, um eine Hierarchie von Ähnlichkeitsabstufungen und damit eine Folge systematischer Einheiten zu definieren. Dieser Ansatz ist vordarwinistisch und versucht, die Ordnung der Naturdinge in einem im Letzten statischen Weltbild darzulegen. 1818 publizierte GEOFFROY SAINT-HILAIRE im ersten Band seiner *Philosophie anatomique* seine *Theorie des Analogues*, nach der die Wirbeltiere als Variation eines allen Tieren gemeinsamen Grundbauplanes anzusehen sind.²⁶ So ist dann der Aufbau eines Vierfüßlers mit der Anatomie eines Oktopoden, eines Tintenfisches, zu vergleichen. Dies ist möglich auf Grund von Funktionsanalogien, die einerseits durch Zuordnung funktionell charakterisierter Organsysteme, andererseits in der Bestimmung relativer Lagezuordnungen beschreibbar werden. Demgegenüber stand der auf Abgrenzung von Formen und Bauplantypen bedachte CUVIER. CUVIER ging es um eine „physique particulière“, um eine Kenntnis der verschiedenen Körperorganisationen lebender Organismen.²⁷ Dabei entwickelte er die Grundlagen einer systematischen Zoologie.²⁸ Sein methodischer Ansatz erlaubte es ihm, die fossilen Formen des Montmartre in Paris rezenten Tiergruppen zuzuordnen und selbst aus einzelnen Fragmenten die Skelette von Formen zu rekonstruieren, die mit den rezenten Formen keine Ähnlichkeiten hatten.²⁹ Dadurch, dass er ein Detail als eine auf ein Ganzes abgestimmte Formausprägung begriff, konnte er im Detail ablesen, welche Gesamtform sich in diesem abbildete. Dies erlaubte es CUVIER, auf Grund von wenigen Knochen den Habitus eines ausgestorbenen Tiers (eines *Chalicotheriums*) zumindest näherungsweise zu beschreiben.³⁰ Ein späterer Gesamtfund gab CUVIER dann – historisch – eine glänzende Bestätigung seines Ansatzes. Diese Art der Formanalogie beschreibt die Einzeldinge als Variationen eines Gesamtbestandes möglicher Formen, die als Ganzes die Natur zum Ausdruck bringen, hierbei aber trotz aller Vielfalt in eine Ordnung eingebunden sind. CUVIER selbst sah die Vielfalt der Formen als Resultat einer Göttlichen Schöpfung, wonach dann auch die Systematik diese Schöpfungsordnung zu reflektieren hat. GEOFFROY SAINT-HILAIRE entwickelte demgegenüber ausgehend von seinen Vorstellungen zur Embryogenese einen Vorstellungsansatz, der versprach, die strukturelle Ähnlichkeit als ein jeweils funktions- und adaptionsgesteuertes Resultat einer Umformung der Grundanlagen des Tierbauplanes deuten zu können. Ausgehend von einer uniformen Vorgabe im frühen Embryo würden, nach den Gegebenheiten der Umwelt, einzelne Anlagen umgeformt. Ähnliche Formen wären demnach

26 GEOFFROY SAINT-HILAIRE 1830; vgl. CAHN 1962.

27 CUVIER, 1798, S. 2.

28 CUVIER 1798–1805.

29 RUDWICK 1997.

30 Vgl. BREIDBACH 1993.

das Resultat gleichartiger funktioneller Bedingungen. Dabei wurde die Vielfalt der Formen als Transformation einer einheitlichen Bauvorgabe interpretiert.

Diese Idee konnte dann etwa Johann Wolfgang VON GOETHE direkt aufnehmen. Für ihn lässt sich die Natur nicht als Ganzes, sondern nur in ihren Einzelheiten darstellen. Nun lassen sich diese einander zuordnen. Dabei findet sich in dieser Zuordnung das Ganze, das sich der Morphologe in Zuordnung der einzelnen Form in das Schema der möglichen Naturbezüge vor Augen führt.³¹ Dieses Ganze ist ein Gefüge von lebendigen Formen, die in ihrer Dynamik die Ordnung erstellen, die GOETHE dann rekonstruiert. Das Einzelne ist damit da Natur, wo es sich als Einzelnes in den Gesamtzusammenhang des Naturalen fügt und diesen so auch explizit macht. Dies ist dann möglich, wenn es als Element der Entwicklung dieser Natur gekennzeichnet wird. So gewinnt die Natur im Einzelnen Gestalt. Diese Gestalt der Natur ist deren Prozess; und dieser Prozess ist die Metamorphose:

„Alle Gestalten sind ähnlich, und keine gleicht der andern;
Und so deutet das Chor auf ein geheimes Gesetz.“³²

Formähnlichkeiten waren so nicht einfach im Sinne einer Logik von klassifikatorischen Abgrenzungen, sondern als Ausdruck einer der Natur innewohnenden Struktureigenheit zu beschreiben. Demgegenüber stellte Jean-Baptiste DE LAMARCK zeitgleich in seiner Klassifikation der Wirbellosen zunächst nur Ähnlichkeitsbeziehungen fest, um ein Schema zu finden, nach dem einzelne Gruppen zu identifizieren waren.³³ Insoweit ist dann – so auch der GOETHES Ansatz systematisch umsetzende CARUS – „im Thier die Idee eines Organismus mit aller Vollendung“ dargestellt.³⁴

In der vergleichenden Anatomie sind nun diese verschiedenen Stufen der Integration der Funktionseigenheiten natürlicher Organismen darzustellen, die sich mit zunehmender Organisationshöhe immer feiner aufeinander abstimmen und so in ihrer Komplexitätszunahme die zunehmende Affinität der Formen hin zur höchsten ihnen möglichen Ausprägung zeigen. In dieser Abstufung findet sich der Maßstab einer systematischen Zuordnung. Dabei kann bei der hohen Differenziertheit des tierischen Organismus diese strukturelle Stufenfolge nicht einfach an der äußeren Form abgeleitet werden, in der ein Wal einem Fisch gleicht, sondern sie muss sich der Sektion der verschiedenen Organsysteme und der Betrachtung von deren sukzessiven Entwicklung bedienen, um solch eine Zuordnung zu erreichen. Dieser Idee folgend, findet dann etwa CARUS in seiner zootomischen Darstellung von 1818 *nota bene* „ein durchgängig fest begründetes Gesetz“, nämlich „daß alle höheren Formationen die tieferen in sich aufnehmen“.³⁵ Es ist klar, dass er, der derart höhere und tiefere Organismen abzugrenzen sucht, dann, wenn dieser Versuch ihm eine Ordnung offeriert, in der sich die Vielfalt der Formen ordnen lässt, diese Zuordnung nicht mehr als ephemere begreifen kann. In dieser Ordnung hat sich für CARUS eben die Realität seines Typuskonzeptes validiert und entsprechend kann er nun ausgehend von dieser Idee Gesetzmäßigkeiten postulieren.

Dabei wird dann die Systematik auf Formensprechungen gegründet, die nichts anderes als strukturelle Analogien darstellen. Die Möglichkeit derart verschiedene Formen in ein Ent-

31 BREIDBACH 2005.

32 GOETHE, Die Natur, WA II, Bd. 11, S. 9.

33 So benennt er dann ohne Rücksicht auf die differente innere Anatomie eine Gruppe der Radiata, der so unterschiedlich organisierte Tiere wie Medusen und Seesterne zugeordnet sind.

34 CARUS 1818, S. 9.

35 Ebenda.

sprechungsverhältnis zu setzen validierte – historisch – dieses Konzept einer Systematik. Die Problematik eines solchen Ansatzes wird explizit an dem Schematismus einer Mikro-Makrokosmos-Lehre, wie sie LORENZ OKEN um 1800 formuliert. Dieser Ansatz wird in den 1820er Jahren auch von CARUS aufgenommen,³⁶ da CARUS im Verweis auf OKEN nun nicht mehr nur allgemein eine Formlehre darstellen und demnach die Idee der Metamorphose an einzelnen Beispielen explizieren kann. Vielmehr erlaubt es ihm der Schematismus OKENS, eine einzelne Form in dem Schema der der Natur möglichen Formen auf einem festen Platz zu verorten.³⁷ Diese die Zeitgenossen faszinierende Idee OKENS, eine typologische Stufenlehre in einer Art formallogischer Operation zu explizieren und dann an Hand des gewonnenen Schematismus auch an den Naturalien zu demonstrieren, überzeugte eben auch CARUS. Dieser begriff OKENS Schematismus als eine methodische Erweiterung des Metamorphosekonzeptes GOETHES, das nun nicht mehr nur die Geltung einer Metamorphose an sich, sondern eben die Konsequenzen einer solchen Metamorphosenlehre im Sinne eines systematischen Schematismus explizierte. Nach OKEN war die konkret zu erstellende Systematik Ausfluss der Formierungsprinzipien einer sich in der Vielfalt ihrer Formen ausformenden Natur. OKEN formuliert derart seine Systematik *ex principio*. Dabei konnte OKEN – seiner Auffassung zufolge – die mögliche Ausprägung der Natur auch direkt in der Erfahrung begreifen und von daher aus der Analyse der bestmöglichen Formierungen der Natur die Abstufungen auf dem Wege dorthin bestimmen und derart seine Systematik in ihren Prinzipien fixieren. Ausgangspunkt seiner Systematik ist der Mensch als das höchste der in der Natur realisierten Wesen. Im Menschen ist so die Natur in der höchst entwickelten und meist perfekten Form präsent. Insoweit gibt es denn auch keinen Gegensatz zwischen dem Menschen als Naturform und dem Tier. Er ist in seiner gesamten Struktur ein Tier, und es ist der menschliche Typus, von dem aus das Tier zu begreifen ist. GOETHE zufolge erschließt sich der Grundtyp des Tierischen nun dadurch, dass die Vielfalt der weniger komplexen Formen von dieser hoch differenzierten Form abgeleitet wird.³⁸ Dies ist der Mensch³⁹ (Abb. 5).

Tiere mit ihren Baueigentümlichkeiten sind so nichts als Spezifikationen der Strukturausprägungen, die beim Menschen in vollendeter Form vorliegen. Entsprechend begreift OKEN die Tiere dann in der Tat als freilaufende menschliche Organsysteme. Es sind jeweils Teilmomente der menschlichen Anatomie, die im Tier selbst ins Leben gesetzt sind. Hier autonomisieren sich Teilsysteme, in denen Aspekte des menschlichen Typus realisiert sind. Deren Komposition ergibt dann in deren Abstimmung das, was in der höchsten Form des tierischen Typus vorhanden ist, den Typus des Menschen.⁴⁰ So gewinnt OKEN dann eine Handhabe, die vergleichende Anatomie zu systematisieren.⁴¹ Er bezieht die Organentwicklungen der Tiere auf den Menschen, zeigt auf, welche Teilsysteme des Menschen sich in einer Tierart entwickeln und welche Komponenten des Gesamttypus damit realisiert sind. In der Anatomie des

36 BREIDBACH und GHISELIN 2002. Die Auffassungen von OKEN, denen zufolge die Skeletteigentümlichkeiten der Wirbeltiere als Transformationen eines Grundtyps des Körpergrundsegmentes zu betrachten sind, bildeten den Ausgangspunkt für OWENS Tiersystematik, mit der er sich gegen den Franzosen Georges CUVIER (1769–1832) zu behaupten suchte. Die dabei gewonnenen methodischen Reflexionen OWENS werden bis in die heutige Naturforschung hinein zitiert.

37 BREIDBACH 2006.

38 OKEN 1807.

39 BACH 2001.

40 Vgl. OKEN 1843, S. 511f. „Im Menschen sind alle Schönheiten der Natur vereinigt“ (ebenda, S. 522).

41 OKEN 1843, 513f; „Die Natur kann auch noch schön seyn, insofern sie einzelne Ideen des Menschen darstellt“ (ebenda, S. 522).

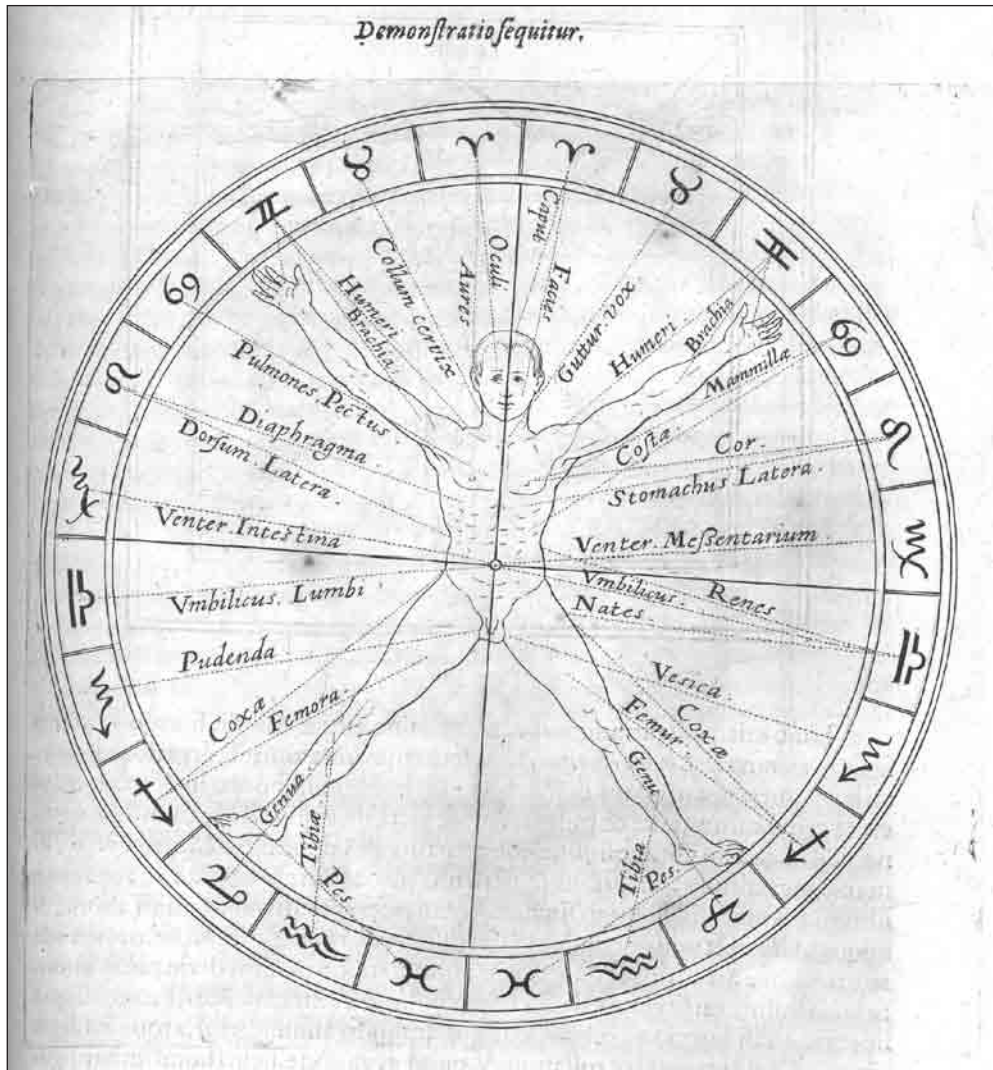


Abb. 5 Darstellung von Relationsbeziehungen im Schematismus einer Mikro-Makrokosmos-Theorie, hier nach Robert FLUDD. Dargestellt ist, wie sich einzelne Momente hier der Anatomie des Menschen zueinander und auf makroskopische Strukturen beziehen lassen (FLUDD 1619, S. 112). Dieser Autor bildet den Bezugsgrund des Schematismus von LORENZ OKEN.

Menschen zeigen sich diese Teilmomente dann in ein Ganzes eingewoben. Entsprechend kann dann aus der Positionierung dieser Teilmomente im Menschen erschlossen werden, in welcher Ordnung die verschiedenen Tiere zueinander stehen.⁴² Ihre Baueigentümlichkeiten sind nichts als der pointierte Reflex der menschlichen Anatomie. Deren Studium erlaubt es

⁴² OKEN 1806.

demnach, die Hierarchie der Ordnungsbezüge im Reich der Tiere als Widerspiegelung der Ordnung der menschlichen Anatomie zu begreifen und derart eine Hierarchie der tierischen Formen zu erarbeiten.

Dieses Denken basiert demnach auf einem methodisch konsequent durchgesetzten Analogiedenken. Die Bezugnahme auf eine bestimmte Naturkonzeption sichert in dieser Analogie damit einen Schematismus ab. Problematisch für die derzeitige Morphologie und Systematik ist, dass sich deren Konzepte einer vergleichenden Betrachtung *justamente* auf dieser Tradition begründen, so dass der methodische Ansatz eines vordarwinistischen Biologen zum Ansatz wird, das Material einer evolutionsbiologischen Betrachtung zu strukturieren. Dies ist problematisch, umso mehr als – über die idealistische Morphologie des 20. Jahrhunderts – die entsprechenden methodischen Denkraster massive Wirkung auch auf die moderne molekulare Methoden nutzende phylogenetische Systematik gewonnen hatten. Insoweit zeigt sich der skizzierte Ansatz einer analogisierenden Naturforschung eben auch in der Detaillierung einer ihr Erfahrungsfeld strukturierenden modernen Systematik keineswegs als unproblematisch. Ein wesentlicher Unterschied in dieser skizzierten historischen, explizit typologisch ansetzenden Systematik ist aber der Schematismus, der von einem spekulativ operierenden Forscher wie OKEN vorausgesetzt wird, um dann an ihm Ordnungsmuster auszurichten. Um dies zu ermöglichen, nutzt er die Analogie. Diese Methode selbst begründet aber nicht den vorausgesetzten Schematismus, sondern wird nur mehr genutzt, um diesen Schematismus als Ordnungsmodell anzuwenden. Diese Art einer in einem spekulativen naturphilosophischen Begründungszusammenhang gesetzten Analogisierung funktioniert innerwissenschaftlich nur dann, wenn die erste heuristische Passung nicht wie vorab beschrieben zu einem nun ansetzenden Feinabgleich genommen wird, in dem sich dann das Bezugsraster selbst am zu beschreibenden Material verifiziert. Das hier im Kontext OKEN zu rekonstruierende Vorgehen bleibt aber in einem ersten Schritt einer ersten heuristischen Zuordnung stehen. Diese wird dann nicht im Detail überprüft, sondern in ihrer bloßen Möglichkeit offeriert und schon darin dann validiert. In dem Moment, wo die Ordnung der Formen nicht durch ein vorgegebenes Raster zementiert, sondern in der Zuordnung selbst immer neu bewertet wird, funktioniert eine derartige Kompression des analogisierenden Denkens nicht. Es ist aber wichtig, derart zu sehen, inwieweit die Methode des In-Bezug-Setzens schon in der einfachen Ordnung einer Formvielfalt in ganz unterschiedlicher Weise eingesetzt werden kann, wenn sie einerseits als deduktives Verfahren einer Zuordnung in einen vorgegebenen Schematismus genutzt wird, oder als ein das Beobachtungsmaterial strukturierendes heuristisches Verfahren angesetzt ist.

Schlussfolgerungen

Damit sind nun im Bezug auf 1800 Grundprinzipien einer analogisierenden Methode dargestellt, was aber nicht bedeutet, dass sich ein analogisches Denken notwendigerweise deduktiv ausrichtet. Vielmehr zeigte sich die Methode des Analogisierens in dieser Phase in einer bestimmten Weise in einen wissenschaftlichen Ansatz eingebunden. Wie sich aufweisen lässt, ist das Analogisieren von diesem seinerzeitigen, spekulativ angelegten Ansatz zu lösen. Allerdings trägt auch heute die Methode der Analogie – so etwa im Bereich der phylogenetischen Systematik – Momente dieser vormaligen typologischen Ausrichtung der analogisierenden Methode mit sich. Diese Ausrichtung ist aber nicht notwendiges Moment des analogisierenden Denkens, sondern eine Rahmenvorstellung, in dem sich dieses eingebunden findet und die sich

dann heute auch überhaupt erst wieder in einem analogisierenden Darstellungsprozess als solche Rahmenvorstellung zu objektivieren sucht. Insoweit kann die historisch ausgreifende Betrachtung zeigen, inwieweit auch in der kleinteilig ansetzenden Beschreibung des Vorgehens eines zoologischen Systematikers Rahmenbedingungen eines analogisierenden Denkens tradiert sind, die nicht eigentliche Momente des Analogischen selbst, sondern vielmehr Theorien darstellen, die sich mittels der Analogie nur explizieren. Insoweit erlaubt es denn dieser historische Rückgriff auch, die Frage zu diskutieren, inwieweit in der analogischen Zuordnung von Merkmalskomplexen schlicht nur ein logischer Schematismus mit unscharfen Bestimmungen unterlegt ist. Dabei zeigt sich, dass die Analogie eine logische Zuordnung nicht einfach ersetzt, sondern dass sie – genetisch – vor einer begrifflich definierten Abstimmung und Eingrenzung von Beschreibungsbereichen steht, die erst nach der In-Bezug-Setzung von Gegenständen für einen Systematiker möglich wird. So kann dann ausgehend von einer exemplarischen Darstellung im Bereich der zoologischen Systematik ausgewiesen werden, wie sich Analogie, Induktion und die Darstellung von Merkmalskomplexen zueinander verhalten. So wurde in der kleinteiligen Darstellung des Vorgehens eines klassisch operierenden Systematikers deutlich, dass auch für einen Biologen Zuordnungsbestimmungen erst dadurch zu solchen werden, dass sie im Vergleich der verschiedenen für ihn bedeutsamen Positionen dienlich sind. Das heißt, im Analogisieren werden nicht einfach schon feststehende Merkmalsbestände in einen Bezug zueinander gesetzt. Vielmehr wird hier in der Darstellung eines möglichen Relationsgefüges überhaupt erst festgelegt, was und wie etwas als Merkmal im Sinne eines dann ansetzenden Differentialkalküls verfügbar gemacht werden kann.

Literatur

- BACH, Thomas: „Was ist das Thierreich anders als der anatomirte Mensch...?“ Oken in Göttingen 1805–1807. In: BREIDBACH, Olaf, FLIEDNER, Hans Joachim, und RIES, Klaus (Hrsg.): Lorenz Oken (1779–1851). Ein politischer Naturphilosoph. S. 73–91. Weimar 2001
- BÄHRMANN, Rudolf (Hrsg.): Bestimmung wirbelloser Tiere. 5. Aufl. Heidelberg 2008
- BREIDBACH, Olaf: Morphologische und ethologische Bedingungen einfacher Verhaltensmuster des Cerambyciden *Hylotrupes bajulus* (L.) (Insecta: Coleoptera). Dargestellt in vergleichender Betrachtung. Bonn 1984
- BREIDBACH, Olaf: Die Bedeutung der Pars stridens in einer Rekonstruktion der Verwandtschaftsverhältnisse der Lepturinae (Co., Cerambycidae). Dtsch. Ent. Z. NF 33, 27–43 (1986)
- BREIDBACH, Olaf: Der Analogieschluß in den Naturwissenschaften oder die Fiktion des Realen – Bemerkungen zur Mystik des Induktiven. Frankfurt 1987
- BREIDBACH, Olaf: Vergleich ohne Kriterien – Zur Situation der Anatomie vor Darwin. Biologie in unserer Zeit 23, 222–223 (1993)
- BREIDBACH, Olaf: Einleitung. In: SCHLEIDEN, Matthias Jacob: Grundzüge der Wissenschaftlichen Botanik. (Nachdruck der 2. Aufl.). S. V–XXIII. Hildesheim 1998
- BREIDBACH, Olaf: Dell'utilità della storia della scienza per una filosofia della scienza. Intersezioni. Rivista di storia delle idee 2003, 501–515 (2003)
- BREIDBACH, Olaf: Goethes Metamorphosenlehre. München 2005
- BREIDBACH, Olaf: Weltordnungen und Körperwelten. Das Tableau des Gewussten und seine Repräsentation bei Robert Fludd. In: SCHRAMM, Helmar, SCHWARTE, Ludger, und LAZARDZIG, Jan (Hrsg.): Instrumente in Kunst und Wissenschaft. Zur Architektonik kultureller Grenzen im 17. Jahrhundert. S. 41–65. Berlin 2006
- BREIDBACH, Olaf, and GHISELIN, Michael T.: Lorenz Oken and Naturphilosophie in Jena, Paris and London. Hist. Phil. Life Sci. 24, 219–247 (2002)
- CAHN, Théophile: La vie et l'oeuvre d'Étienne Geoffroy Saint-Hilaire. Paris 1962
- CARUS, Carl Gustav: Lehrbuch der Zootomie, mit stäter Hinsicht auf Physiologie ausgearbeitet, und durch 20 Kupfertafeln erläutert. Leipzig 1818

- COENEN, Hans Georg: *Analogie und Metapher. Grundlegung einer Theorie der bildlichen Rede*. Berlin, New York 2002
- CUVIER, Georges: *Tableau élémentaire de l'histoire naturelle des animaux*. Paris 1798
- CUVIER, Georges: *Leçons d'anatomie comparée*. 5 Bde. Paris 1798–1805
- FLUDD, Robert: *Microcosmi historia. Tomus secundus de supernaturali, naturali et contranaturali microcosmi historia in tractatus tres distributa*. Oppenheim 1619
- GEOFFROY SAINT-HILAIRE, Étienne: *Philosophie anatomique*. Paris 1818
- GEOFFROY SAINT-HILAIRE, Étienne: *Philosophie zoologique*. Paris 1830
- GOETHE, Johann Wolfgang VON: *Die Natur*. (WA II, Bd. 11) S. 9
- GLOY, Karen, und BACHMANN, Manuel (Hrsg.): *Das Analogiedenken. Vorstöße in ein neues Gebiet der Rationalitätstheorie*. Freiburg 2000
- HENTSCHEL, Klaus: Zur Bedeutung von Analogien in den Naturwissenschaften. *Scientia Poetica. Yearbook for the History of Literature, Humanities and Sciences* 11, 241–275 (2007)
- HÜBNER, Claudia: Hox genes, homology and axis formation – The application of morphological concepts to evolutionary developmental biology. *Theory in Biosciences* 124, 371–396 (2006)
- International Commission on Zoological Nomenclature* (RIDE, William D. L., COGGER, Harold G., DUPUIS, Claude, KRAUS, Otto, MINELLI, Alessandro, THOMPSON, F. Christian, and TUBBS, Philip K., [Hrsg.]): *International Code of Zoological Nomenclature*. 4. Aufl. London 1999
- LATOUR, Bruno: *Die Hoffnung der Pandora*. Frankfurt 2002
- LATOUR, Bruno, und WOOLGAR, Steve: *Laboratory Life. The Social Construction of Scientific Facts*. Princeton 1986
- LICHTENBERG, Georg Christoph: *Über eine neue Methode, die Natur und die Bewegung der elektrischen Materie zu erforschen*, Leipzig 1956
- MAYR, Ernst: *Artbegriff und Evolution*. Hamburg, Berlin 1967
- MAYR, Ernst: *Evolution and the Diversity of Life: Selected Essays*. Harvard 1997
- MEINEL, Christoph (Hrsg.): *Instrument – Experiment. Historische Studien*. Berlin 2000
- MINELLI, Alessandro, ORTALLI, Gherardo, und SANGA, Glauco (Hrsg.): *Animal Names*. Venezia 2005
- NAEF, Adolf: *Idealistische Morphologie und Phylogenetik. Zur Methodik der systematischen Morphologie*. Jena 1919
- OKEN, Lorenz: *Entwicklung der wissenschaftlichen Systematik der Tiere*. *Beitr. Vergl. Zool. Anat. Physiol.* 1, 103–122 (1806)
- OKEN, Lorenz: *Über die Bedeutung der Schädelknochen. Ein Programm beim Antritt der Professur an der Gesamt-Universität zu Jena*. Von Dr. Oken, correspondirendem Mitglied der königl. Societät der Wissenschaften zu Göttingen. Jena 1807
- OKEN, Lorenz: *Lehrbuch der Naturphilosophie*. Zürich 31843
- PACHTER, Lior, and STURMFELS, Bernd: *Algebraic Statistics for Computational Biology*. Cambridge 2005
- RHEINBERGER, Hans-Jörg: *Historische Epistemologie. Zur Einführung*. Hamburg 2007
- RHEINBERGER, Hans-Jörg, und HAGNER, Michael: *Plädoyer für eine Wissenschaftsgeschichte des Experiments*. *Theory in Biosciences* 116, 11–31 (1997)
- RUDWICK, Martin J. S.: *Georges Cuvier, Fossil Bones, and Geological Catastrophes*. Chicago, London 1997
- SCHERRER, Klaus, and JOST, Jürgen: Gene and genom concept: Coding versus regulation a conceptual and information-theoretic analysis of genetic storage and expression in the light of modern molecular biology. *Theory in Biosciences* 126, 65–113 (2007)
- SCHLEIDEN, Matthias Jacob: *Grundzüge der Wissenschaftlichen Botanik*. (Nachdruck der 2. Aufl.). Hildesheim 1998
- SCHMITT, Stéphane: *Aux origines de la biologie moderne. L'anatomie comparée d'Aristote à la théorie de l'évolution*. Paris 2006
- SLACK, Jonathan M., HOLLAND, Peter W. H., and GRAHAM, Chris F.: *The zootype and the phylotypic stage*. *Nature* 361, 490–492 (1993)
- SNEATH, Peter Henry, and SOKAL, Robert Reuven: *Numerical Taxonomy: The Principles and Practice of Numerical Taxonomy*. San Francisco 1973
- STEVENS, Peter Francis: *The Development of Biological Systematics. Antoine-Laurent de Jussieu, Nature, and the Natural System*. New York 1994
- TAUTZ, Diethard, ARCTANDER, Peter, MINELLI, Alessandro, THOMAS, Richard, and VOGLER, Alfred: *A plea for DNA taxonomy*. *Trends in Ecology and Evolution* 18, 70–74 (2003)
- WIESEMÜLLER, Bernhard, ROTHE, Hartmut, und HENKE, Winfried: *Phylogenetische Systematik. Eine Einführung*. Berlin, Heidelberg 2003

WIESENFELDT, Gerhard, und BREIDBACH, Olaf: „Könnte nicht also auch die Erdkugel ein großer Turmalin sein?“ Ein Kristall, Lichtenberg und die Polaritätsdiskussion vor 1800. *Sudhoffs Archiv* (2010, im Druck)

WOLFSCHMIDT, Gudrun (Hrsg.): Vom Magnetismus zur Elektrodynamik. Herausgegeben anlässlich des 200. Geburtstages von Wilhelm Weber (1804–1891) und des 150. Todestages von Carl Friedrich Gauß (1777–1855). Katalog zur Ausstellung in der Staatsbibliothek Hamburg, 3. März bis 2. April 2005. Hamburg 2005

Prof. Dr. rer. nat. Dr. phil. Olaf BREIDBACH
Ernst-Haeckel-Haus
Universität Jena
Berggasse 7
07745 Jena
Bundesrepublik Deutschland
Tel.: +49 364 949501
Fax: +49 364 949502
E-Mail: Olaf.Breidbach@uni-jena.de

Analogien und Analogieforschung in der Technischen Biologie und Bionik

Werner NACHTIGALL, Saarbrücken

Mit 15 Abbildungen

Zusammenfassung

Die Vorgehensweisen der Technischen Biologie und Bionik werden gekennzeichnet und auf die Analogieforschung als gemeinsame Basis zurückgeführt. Der eigentliche schöpferische Aspekt bionischen Arbeitens liegt im Erkennen und Nutzen der dem Naturvorbild zugrundeliegenden technikorientierten Analogien.

Abstract

The procedural approaches of Technical Biology and Bionics are characterized, and analogy research is identified as their common basis. The actual creative aspect in bionical research lies in recognizing and exploiting technically oriented analogies underlying a specific biological prototype to indicate a specific technical application.

Definitionen Biologie, Technische Biologie, Bionik

Der Biologie kann man die folgende Aufgabe zuweisen: *Untersuchung der belebten Welt*. Die Technische Biologie ist methodisch definiert und kann als Spezialfall der biologischen Untersuchungsweise gekennzeichnet werden: *Untersuchung „technisch“ annäherbarer Strukturen und Funktionen der belebten Welt unter Einbringung von Analyse- und Deskriptionsverfahren der Technik (Technischen Physik)*.

Zur Bionik kann man, aufgabenbezogen, sagen: *Analoge Abstraktion von Untersuchungsergebnissen der Technischen Biologie und Aufbereitung für eine technische Umsetzung*. Es sei erwähnt, dass die Umsetzung in ein verkaufsfähiges Produkt nicht Aufgabe des Bionikers ist, sondern die des Entwicklungsingenieurs.

Vorgehensweisen in der Technischen Biologie, Bionik und Analogieforschung

In der *Technischen Biologie* wird versucht, biologische Konstruktionen und Verfahrensweisen insbesondere mit den Hilfsmitteln der Technischen Physik zu beschreiben und mit den Kenngrößen dieser Disziplin zu benennen, damit besser zu verstehen und damit wiederum einer mathematisch-physikalischen Bearbeitung zuzuführen.

Ergebnisse der Technischen Biologie können in der *Bionik* aufbereitet, auf technische Probleme abgestimmt und wieder in die Technik zurückgeführt werden. Es ergeben sich

damit Anregungen aus der Natur für ingenieurmäßig – eigenständiges Gestalten (NACHTIGALL 2002).

Eine solche biologisch-technische Umsetzung kann nie dadurch geschehen, dass natürliche Vorbilder kopiert werden. Es ist vielmehr nötig, Naturprinzipien zu abstrahieren, vielfach schon in Hinblick auf technische Notwendigkeiten, und dann *lege artis* der Naturwissenschaften umzusetzen (NACHTIGALL 2010). An der Basis einer jeden derartigen Umsetzung steht also der Vergleich. Man stellt Gebilde der Natur und der Technik einander gegenüber, sucht zunächst deskriptiv nach Vergleichbarem, das in die Aufdeckung von Kausalbeziehungen münden kann, aber nicht muss: Analogieforschung (HELMCKE 1972). Als Voraussetzung für die Umsetzung und als Basis jedes technisch-biologischen Vergleichs steht Analogieforschung also am Anfang jeder bionischen Vorgehenskette.

Metapher und (funktionelle) Analogien

Beim Bohrschen Atommodell spricht man von „Kern“ und „Schale“, Begriffe, die einem alt bekannten Alltagsgegenstand entliehen sind, der Nuss (Abb. 1). Man wird hier noch nicht von Analogien sprechen können, da die funktionelle Vergleichbarkeit fehlt. Bei der Nuss umhüllt die Schale schützend den Kern, beim Atommodell bindet der „Kern“ die „Schalen“ der Elektronen durch Anziehungskräfte. Man wird also eher von Metaphern sprechen.

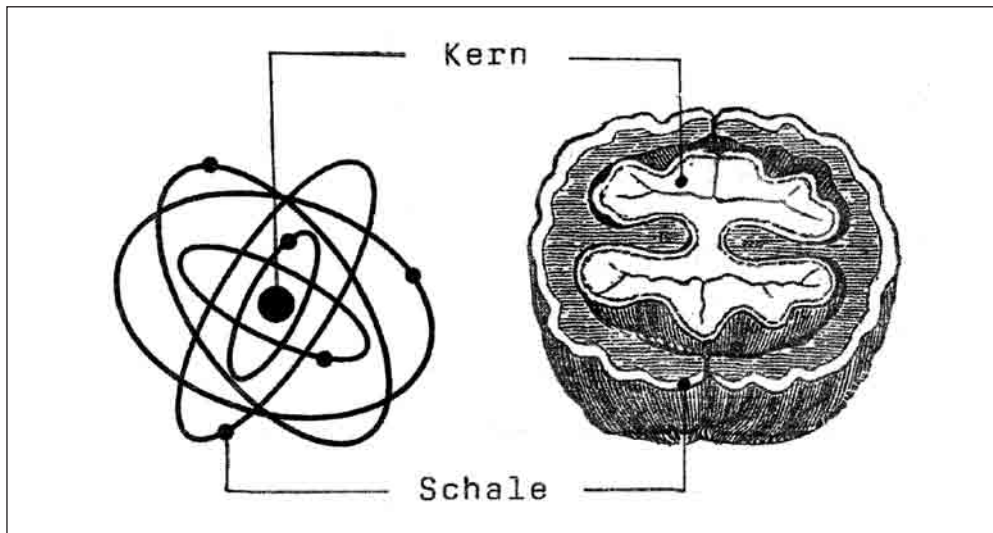


Abb. 1 Kern und Schale – eher Metapher denn Analogie

Wissenschaftssprachen sind gar nicht vorstellbar ohne weidliche Benutzung von Metaphern (oder unfunktionellen Analogien) im Vergleich mit Gegenständen oder Tätigkeitsmerkmalen der Alltagssprache. So spricht man bei der Kennzeichnung eines Gelenks zwischen zwei Knochen von Höhle, Haut, Rinde, Schwamm, Kapsel, Schmiere, Spalt, wobei jeder Begriff

aus der Alltagssprache entnommen und auf das speziell zu Beschreibende angepasst ist: Höhle → Mark-Höhle; Schwamm → Knochen-Schwamm (Spongiosa) usw.

Analogieforschung kann man aber nur betreiben, wenn die Elemente einer analogen Gegenüberstellung eine gemeinsame funktionelle Basis haben. So sind Grashalm und Fernsehturm analoge Konstruktionen, denn sie sind langgestreckt und (bei Windstille) zentral achsenparallel belastet. Viele Begriffe kann man in funktionelle Analogie setzen, beispielsweise Wurzel und Fundament (Verankerung), Halm und Schaft (Tragestruktur) und so fort (Abb. 2). Dass dabei unterschiedliche Materialeigenschaften (Elastizitätsmoduli) sowie nichtlineare baustatische Ähnlichkeitsgesetze (z. B. Längen-Durchmesser-Beziehungen, abhängig von der Absolutlänge) einzubeziehen sind, ist freilich zu beachten.

Für das genannte Beispiel ergeben sich besonders eingängige funktionelle Analogien beim Vergleich von Querschnitten. Im Grashalm wird das zugfeste Sklerenchym von einer druckfesten Parenchym-Matrix auf Abstand gehalten. Funktionell genau das Gleichartige geschieht im Stahlbeton des Fernsehturms. Hier wird die zugfeste Bewehrung durch eine druckfeste Zementmatrix auf Abstand gehalten. Bereits in der Frühzeit des Stahlbetonbaus wurde von Ingenieuren auf diese Analogien hingewiesen (NERVI und BARTOLI 1950).

Die beiden zu vergleichenden Systeme entstammen unterschiedlichen Reichen, dem Reich der belebten Welt der Grashalm, dem Reich der Technik der Fernsehturm. Die Sinnigkeit beziehungsweise Stimmigkeit des Vergleichs resultiert aus funktionell gleichartigen Aufgaben der Elemente dieser beiden Systeme. Sklerenchym und Bewehrung sorgen für Zugfestigkeit, Parenchym und Zement für Druckfestigkeit und Abstandshaltung der zugfesten Stränge.

Infolge der funktionellen Vergleichbarkeit kann man nun auch Kenndaten und Berechnungsweisen der Baustatik auf den Pflanzenhalm übertragen (→*Technische Biologie*). Dies führte erst zum Verständnis des So-Seins der zu randständigen Ringen verschmolzenen Sklerenchymstränge in der Pflanze: Sie bilden ein System besonders hohen Flächenträgheitsmoments, das mit gegebenem Materialeinsatz die Biegesteifigkeit des Pflanzenhalms positiv beeinflusst. Entsprechend der Bewehrung in technischen Hochbauten legt die Pflanze ihre Sklerenchymstränge möglichst weit peripher. Eine gegebene Masse an Sklerenchym, zu einem peripheren Ring ausgestaltet, verdünnt sich aber umso stärker, je weiter außen sie liegt. Damit erhöht sich zwar (günstigerweise) das Flächenträgheitsmoment; es verringert sich aber (ungünstigerweise) die Beulungssteifigkeit. Wenn die Sklerenchymdicke geringer ist als etwa $1/7$ des Halmdurchmessers, würde der Halm zu irreparabler Beulung neigen. Auch diese Erkenntnis, nach der man das So-Sein von sklerenchymatischer Bewehrung beschreiben und verstehen kann (es gibt beispielsweise drei Sklerenchymtypen, Abb. 2) ist eine direkte Folge des analogen Vergleichs.

Auf der anderen Seite können bestimmte pflanzliche Entwicklungen versuchsweise auf die Technik übertragen werden. So hat sich gezeigt, dass zumindest rechnerisch die Wanddicke von Lampenmasten verringert werden könnte (was zu weniger Materialverbrauch und damit geringeren Kosten führte), wenn man sie auf der Innenseite so skulpturiert, wie die Biologie das mit bestimmten Grashalmen tut. Wiederum ein analoger Vergleich diesmal von der Biologie zur Technik (→*Bionik*). Physikalische Gesetzmäßigkeiten setzen die Randbedingungen für die Stimmigkeit solcher Vergleiche. Ohne „mutvolles“ Gegenüberstellen von Beispielen aus den beiden Reichen, der belebten Welt und der Technik, kommt man aber gar nicht dazu, die Vergleichsbasis physikalisch stimmig einzuengen. Analogieforschung gibt am Anfang also Grundideen, die sich bei der weiteren Betrachtung funktionell differenzieren.

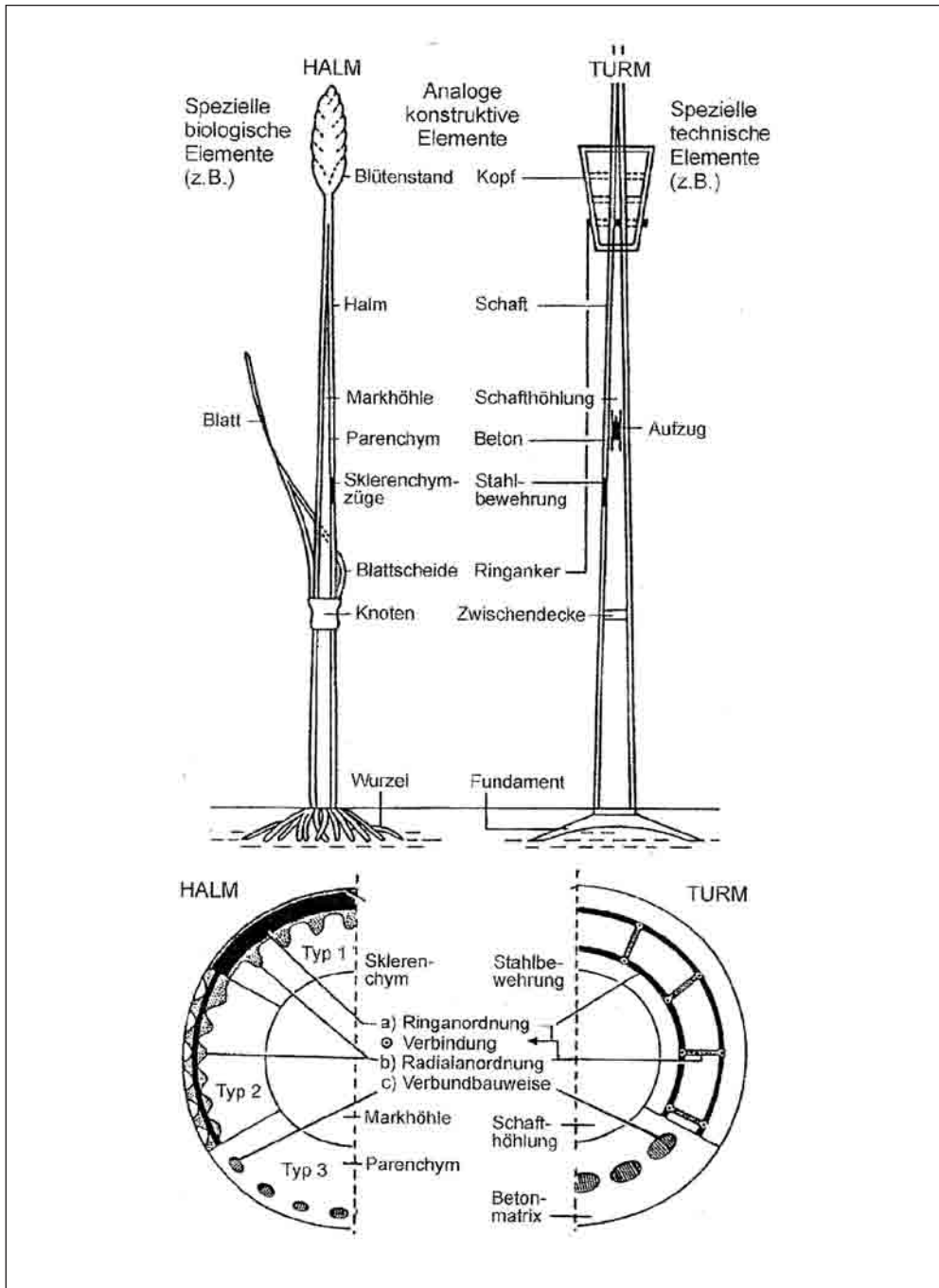


Abb. 2 Grashalm und Fernsehturm. Strenge funktionelle Teilanalogien. (nach NACHTIGALL 2002)

Analogie und Homologie in der Biologie

Die beiden Begriffe sind in der Biologie zentrale Topoi. Den Begriff der Analogie kann man in der Biologie wie folgt definieren:

„Strukturelle Ähnlichkeit, die durch gleichartige Anforderung des Lebensraums oder der Funktion – unabhängig von jeder phylogenetischen Verwandtschaft – zustande kommt.“¹

Damit kann man sagen: *Analogie ist eine Anpassungsähnlichkeit*. Ein klassisches Beispiel sind Grabbeine von Maulwurf und Maulwurfsgrille (Abb. 3). Die beiden Tiere leben in selbst gegrabenen Gängen in lockerer Erde. Sie haben, obwohl sie aus systematisch weit unterschiedlichen Kategorien stammen (Wirbeltier/Insekt) funktionell sehr ähnliche Graborgane ausgebildet, in Gestalt verbreiteter, Krallen bzw. krallenähnliche Verbreiterungen tragender Füße der Vorderbeine.

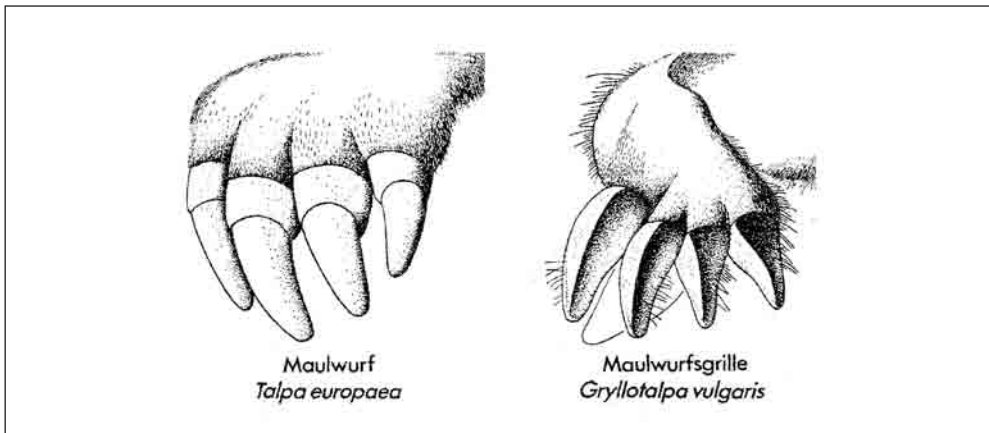


Abb. 3 Grabbeine von Maulwurf und Maulwurfsgrille als analoge Organe (Neuzeichnung)

Den Begriff der Homologie kann man in der Biologie wie folgt definieren:

„Homologie beschreibt die strukturelle Ähnlichkeit, die durch gemeinsame Information aus einem Informationsspeicher zustande kommt.“²

Das bedeutet also phylogenetische Verwandtschaft der beiden Systeme, die sich im Vergleich als homolog bezeichnen lassen. Man kann auch sagen:

„Homologie setzt Informationsübertragung voraus.“³

Als Beispiel sei das Maulwurfsbein und der Fledermausflügel genannt (Abb. 4). Die graphisch gleichartig dargestellten Knochen sind einander homolog, etwa die punktiert gezeichneten beiden Unterarmknochen. Homolog sind sie auch wegen ihrer Lage im Verband zwischen

1 Herder Lexikon Biologie 1994, Bd. 4, S. 263.

2 Ebenda.

3 Ebenda.

den (schwarz gezeichneten) Oberarmknochen und den (schwarz gezeichneten) Handwurzelknochen. Die beiden Skelette haben völlig unterschiedliche Funktion – Versteifen eines Graborgans; Abstützen eines Flugorgans –, aber gleichartige Wurzeln.

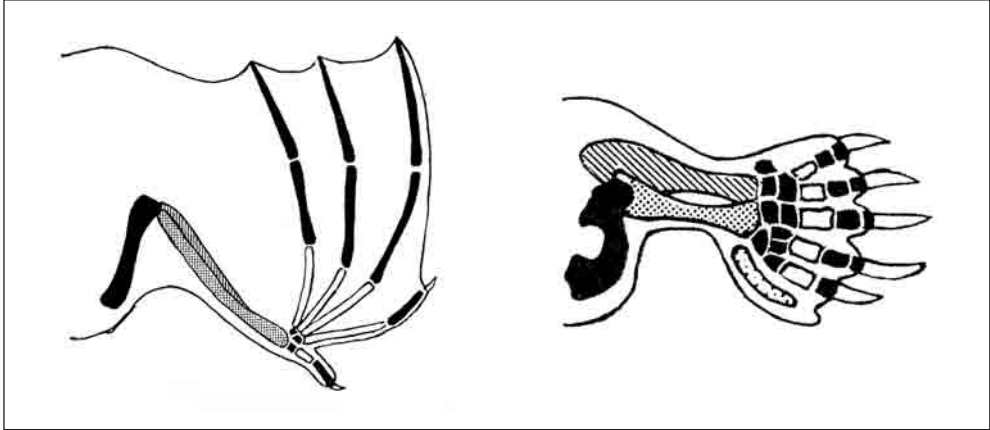


Abb. 4 Skelette im Maulwurfsbein und Fledermausflügel als homologe Organe (nach Herder *Lexikon Biologie* 1994, Bd. 4, S. 264)

Was die Biologie angeht kann man also allgemein sagen: *Analogie bedeutet heterotope Funktionsähnlichkeit im Gegensatz zur homotopen Bauplanähnlichkeit.*

In der Technischen Biologie und Bionik spielt der Homologiebegriff kaum eine Rolle, wohl aber, wie ausgeführt, die auf dem Analogiebegriff basierende Gegenüberstellung.

Von der Biologie über Analogiebildung zur Technik

Dies ist der gängige Weg bionischen Arbeitens, jedoch, wie die Folgeabschnitte zeigen, nicht der einzig mögliche. Es seien einige Beispiele gebracht, darunter klassische.

LEONARDO DA VINCI (1506) hat versucht, unter Einbringung des technischen Wissen seiner Zeit die Funktionsweise des Vogelflügels zu analysieren (Vorgehensweise der *Technischen Biologie*) und, darauf aufbauend, technische Flügel nach dem Vogelflügelprinzip zu fertigen (Vorgehensweise der *Bionik*; Abb. 5). Man kann ihn als den ersten Technischen Biologen und Bioniker bezeichnen, besser vielleicht als den wohl ersten Wissenschaftler der Neuzeit, auf den diese beiden Begriffe zwanglos projizierbar sind.

Nach seinen Untersuchungen, die erst in den 1930er Jahren funktionell bestätigt worden sind, schließen sich die übereinander liegenden Handschwingen beim Abschlag spaltlos; beim Aufschlag bilden sie Schlitz, durch die die Luft strömen kann. Sie erlauben also – nach der damaligen Meinung – beim Abschlag eine Druckentwicklung auf die darunter liegende Luft, beim Aufschlag gehen sie unter geringem Widerstand in die Ausgangsposition zurück (Abb. 5). Die analoge Umsetzung führte zu mit Klappen versehenen Flügeln aus einem System von Weidenruten als Trägern und öl- oder leimgetränkten Leinen als Füllmaterial, die sich beim Abschlag ebenfalls schließen, beim Aufschlag öffnen.

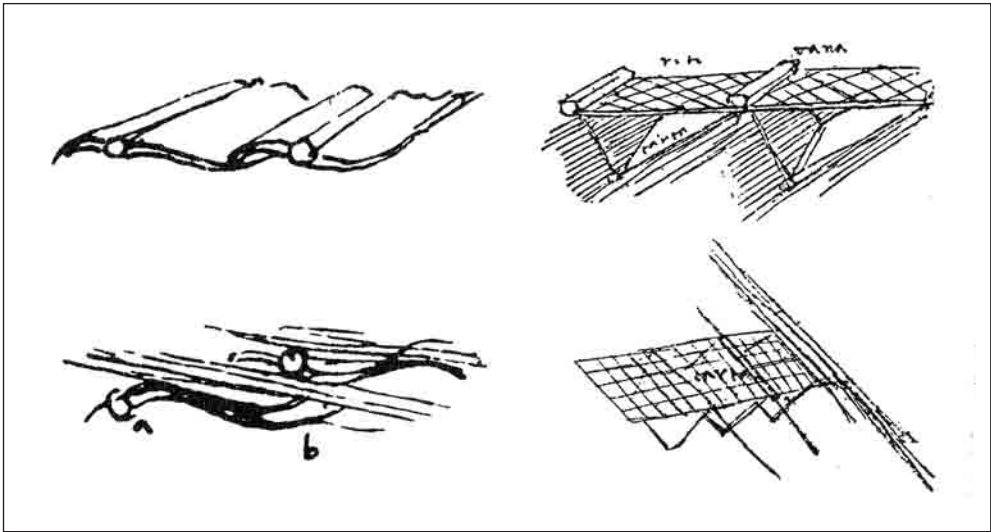


Abb. 5 LEONARDO DA VINCIS Skizzen zum Vogelflügel und zum technischen Schlagflügel (nach GIACOMELLI 1936)

Dass diese Übertragung in der Praxis nicht funktioniert hat, ist bekannt, doch stand sie im Einklang mit den technischen Vorstellungen der damaligen Zeit.

Sir George CAYLEY, ein englischer Landedelmann, gilt als einer der Väter der Luftfahrtforschung. Im frühen 19. Jahrhundert waren bereits Fallschirme üblich, mit denen mutvolle Menschen von Mongolfières beziehungsweise Charlières absprangen, doch waren diese strömungsmechanisch instabil und führten häufig zu Unfällen. Sir George analysierte 1809 die Samen des Wiesenbocksbarts (Abb. 6) und abstrahierte daraus die beiden Prinzipien des tief liegenden Schwerpunkts und das einer schrägen Fallschirmfläche, die sich beim schrägen Anströmen infolge des Herumpendelns automatisch wieder in die stabile Lage zurückdreht.

Der Architekt P. C. NERVI hat als einer der ersten im ersten Drittel des 20. Jahrhunderts isostatische Betonrippen zur Abstützung von Decken verwendet, wie sie sich aus den druck- und zugspannungstrajektoriiellen Knochenbälkchen-Verläufen im Hals von Oberschenkelknochen abstrahieren lassen (NERVI und BARTOLI 1950; Abb. 7).

Die technisch relevanten funktionellen Analogien dieser drei klassischen Beispielen lauten also, nochmals zusammengefasst:

- LEONARDO: Schlitzbildung zwischen Teilflächen und exzentrische Teilflächen-Einlagerung.
- CAYLEY: Tiefliegender Schwerpunkt und abgewinkelte Fallschirmfläche.
- NERVI: druckspannungstrajektorielle Rippung und zugspannungstrajektorielle Rippung.

Ein Beispiel aus der neueren Zeit befasst sich mit der Strömungsanpassung der Rumpfe von Delfinen und Tümmlern (Abb. 8). Aus der Beobachtung O. KRAMERS (1960), dass Delfine ohne Probleme rasch schwimmende Schiffe überholen können, hat sich ein detaillierteres Studium der Delfinhaut ergeben. Diese besteht aus einer zapfentragenden Oberhaut, die in ein schwammiges, Flüssigkeitslagunen tragendes Unterhautgewebe eingreift (Abb. 9).

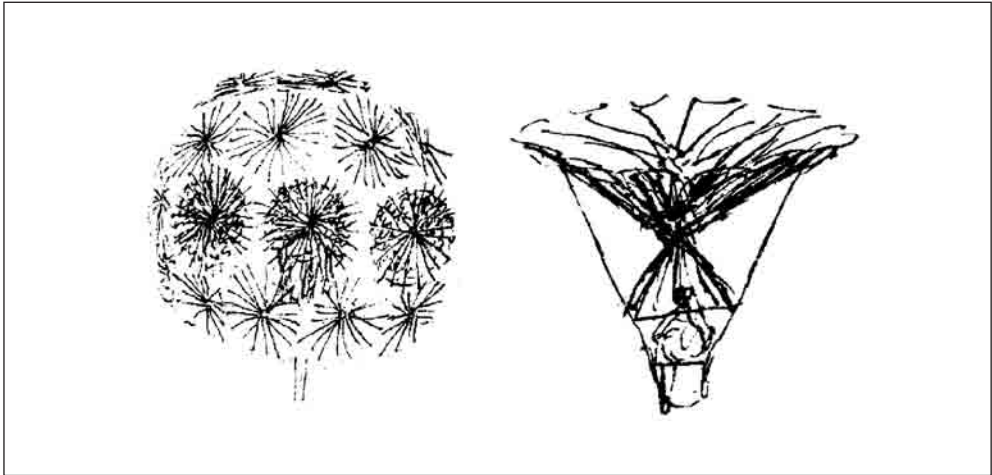


Abb. 6 Sir Georges CAYLEYS Darstellungen von Wiesenbocksbart und davon abstrahiertem Fallschirm (nach CAYLEY 1808)



Abb. 7 Flächen gleicher Spannung im Oberschenkel (Mensch) sowie P. C. NERVIS isostatische Rippen und kennzeichnendes Zitat (nach KUMMER 1965 sowie NERVI und BARTOLI 1950)

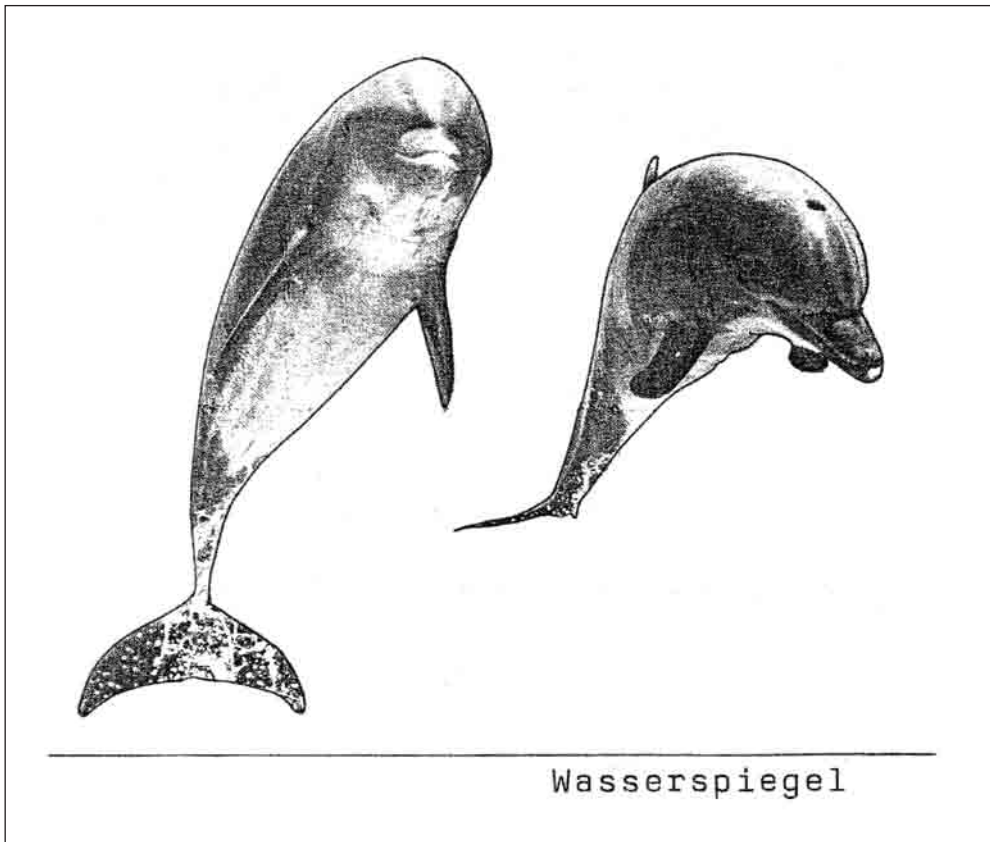


Abb. 8 Springende Delfine (nach einer Zeitungsdarstellung, konturiert und ergänzt)

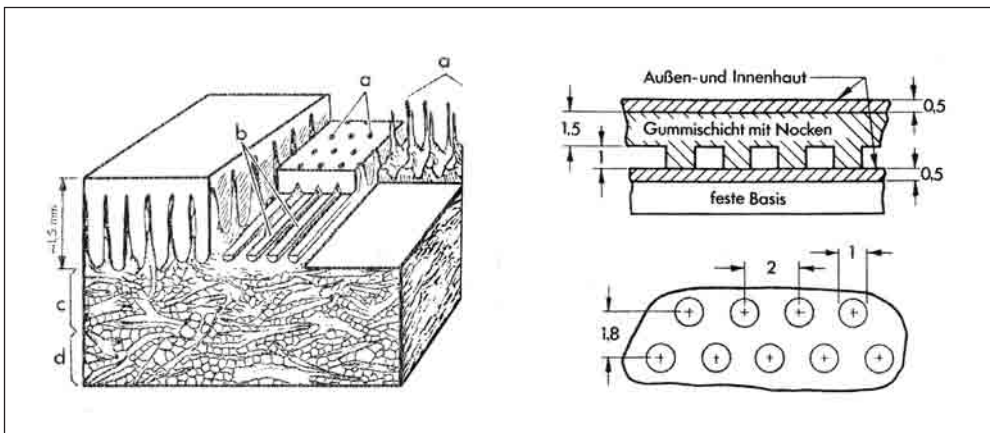


Abb. 9 O. KRAMERS Delfinhaut und O. KRAMERS „künstliche Delfinhaut“. a, b Coriumpapillen und -leisten; c, d Außen- und Innenschicht des Corium (nach KRAMER 1960)

KRAMER hat danach ein analoges System entwickelt, bestehend aus einer noppentragenden Gummischicht (der Oberhaut analog) und einer Fluid-Zwischenfüllung eines bestimmten Steifigkeitsgrades (der Unterhaut analog). Mit beiden Systemen werden sich entwickelnde Wirbel abgedämpft, so dass die Grenzschicht eine Zeitlang laminar bleibt. Die Analogien lauten:

- Steife Oberhaut ~ Steife Gummimembran.
- Zähle Oberhautnoppen ~ Zähle Gumminoppen.
- Elastische Unterhaut mit Zapfen ~ Füllung mit zäher Flüssigkeit.

Die technisch analoge Umsetzung des Naturvorbilds hat zu einer Art „künstlicher Delfinhaut“ geführt, mit der seinerzeit beispielsweise Atomunterseeboote und Torpedos umkleidet worden sind. Mit gegebener Antriebsleistung konnten die technischen Gebilde wegen Verhinderung turbulenter Ablösungserscheinungen schneller vorwärts kommen.

Von der Technik über Analogiebildung zur Technischen Biologie

Wenn der technisch-biologisch arbeitende Biologe nicht das umfangreiche, in den technischen Disziplinen erarbeitete Reservoir an Kenntnissen verwendet, begeht er einen der unverzeihlichen Fehler in der naturwissenschaftlichen Forschung: bewussten Wissensverzicht. Demgemäß ist der Biologe gut beraten, das technische *know how* zumindest als heuristisches Prinzip, wenn nicht als angemessene Beschreibungsform, zu übernehmen. Bereits in der Frühzeit der Biostatik wurde versucht, das Säugerskelett als Brückenkonstruktion zu verstehen. Zunächst wurde beispielsweise die Skelettkonstruktion eines Löwen mit einer Kastenbrücke verglichen (Abb. 10).

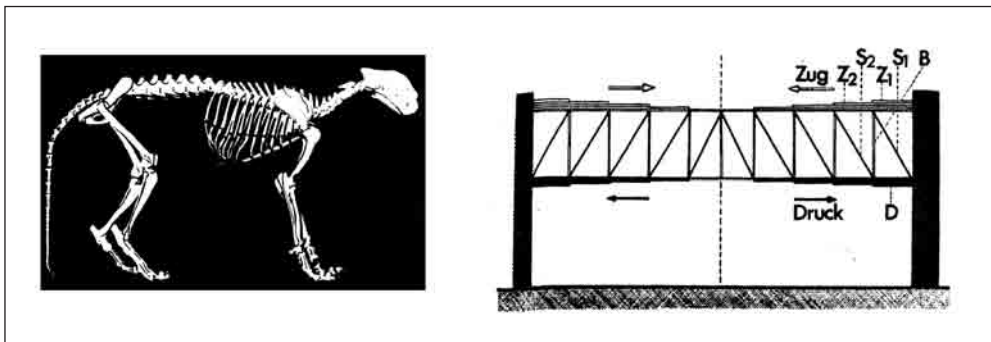


Abb. 10 Skelett eines Löwen und (nicht zutreffende) Brückenanalogie; B Abhängung, D Druck, S Schrägverspannung, Z Zug. (nach KUMMER 1965)

Diese gewinnt ihre Stabilität aber dadurch, dass ihre Stützstrukturen („Beine“) unverrückbar im Boden befestigt sind. Stellt man sie im Gedankenversuch ähnlich auf die Erdoberfläche, wie einen Löwen mit seinen Beinen, so knickt sie zentral in sich zusammen (Abb. 11).

Die richtige Brückenanalogie folgt aus dem Vergleich mit einer Bogen-Sehnen-Brücke (KUMMER 1965, Abb. 12). Diese kann man im Gedankenversuch von ihren Lagern abheben;

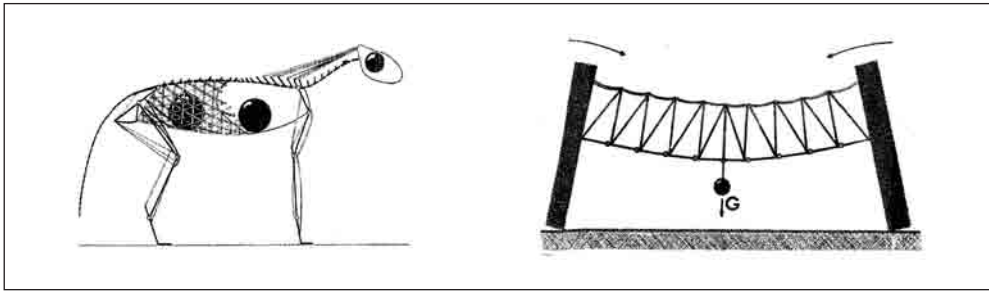


Abb. 11 Abstrahiertes Skelett eines Säugers und nicht stabile Fachwerkbrücke; G Gewicht (nach KUMMER 1965)

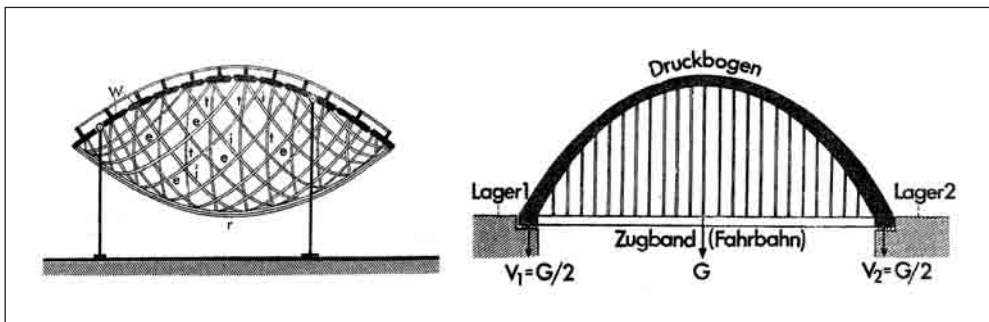


Abb. 12 Versteifungssystem des Säugerrumpfes und stabile Bogen-Sehnen-Brücke; W Wirbelsäule mit Verspannung, t *musculus transversus abdominis*, G Gewicht, V Vertikalkraft; zu den anderen Muskeln vgl. den Text (nach KUMMER 1965, aus NACHTIGALL 1971)

sie bleibt trotzdem stabil. Die funktionellen Analogien zwischen dem Säugerrumpf und der Bogen-Sehnen-Brücke sind die folgenden:

- Säugerrumpf ~ Bogen-Sehnen-Brücke.
- Wirbelsäule ~ Druckbeanspruchter Bogen.
- Horizontalkomponenten der *musculi obliqui abdominis* ~ Zugbeanspruchte Fahrbahn.

Die funktionelle Analogiebildung hat erst dazu geführt, eine so ohne weiteres nicht erschließbare Funktion der *musculi obliqui abdominis externi* (e) und *interni* (i) einzusehen, die sich ja im Kreuzverband erstrecken: zusammen mit einem anderen Muskel, nämlich dem *musculus rectus abdominis* (t), erzeugen sie eine etwa horizontal gelagerte Zugkomponente, die funktionell so wirkt, als ob man die Enden der gebogenen Wirbelsäule mit einem Zugseil verbinden würde.

Analogiefindung „im Nachhinein“

Gar nicht so selten kommt es vor, dass Analogien erst bei späteren, häufig zufälligen Vergleichen gefunden werden, Analogien, die – hätte man sie funktionell an die Basis einer

Vergleichskette gestellt –, rasch entweder zu einem besseren Verständnis eines biologischen Substrats oder zum rascheren Erreichen einer bioinspirierten technischen Konstruktion geführt hätten. Dazu drei Beispiele, deren Analogien „im Nachhinein“ ganz selbstverständlich erscheinen, die mir bei der Bearbeitung aber erst nach einigem Nachdenken klar geworden sind – umso schöner, dass ihnen letztendlich ein Erklärungscharakter unterlegt werden konnte.

Der Vergleich zwischen Propeller und Vogelflügel (NACHTIGALL 1985, hier Abb. 13) zeigt Folgendes: Der zur Schlagbahn schräg angestellte Flügelabschnitt (Anstellwinkel α) erzeugt eine Widerstandskraft W in Anströmrichtung und eine Querkraft Q senkrecht dazu. Die beiden Kraftkomponenten setzen sich zur Luftkraftresultierenden L zusammen. Diese lässt sich wiederum zerlegen in eine Vortriebskomponente V und eine senkrecht dazu verlaufende Komponente. Diese heißt beim Propeller Tangentialkraft T und muss vom Drehmoment des Motors überwunden werden; beim Vogel heißt sie Hubkraft H und hält den Vogel „oben“. Abgesehen von der letzteren Nicht-Übereinstimmung (die Kraft tritt gleichartig auf, hat aber unterschiedliche Funktionen) handelt es sich kräftemäßig praktisch um Identität. Man kann von einer vollkommenen funktionellen Analogie sprechen oder auch von einer vollkommenen idiomorphen Abbildung.

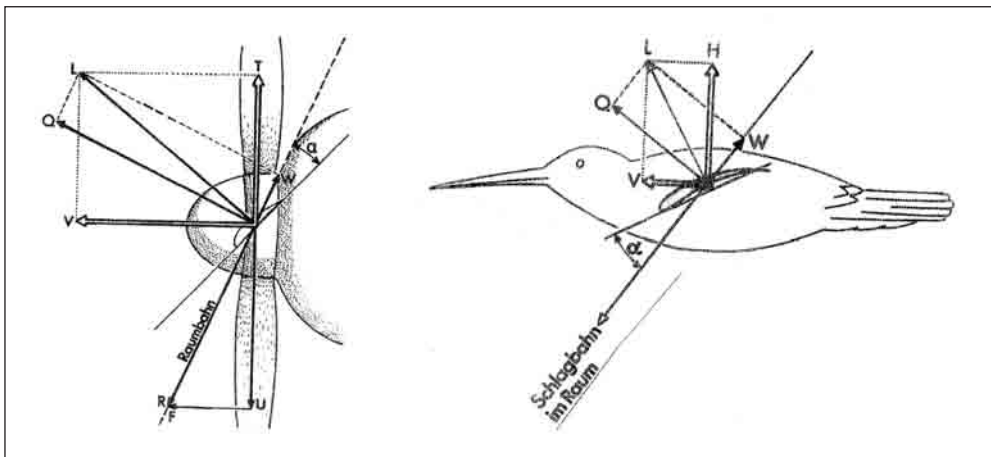


Abb. 13 Propeller und Vogelflügel; zu den Bezeichnungen vgl. den Text (nach NACHTIGALL 1985)

Bei der Mondlandefähre des amerikanischen Apollo-Programms wurden als Treib- und Brennmittel Stickstofftetroxid und ein Hydrazin verwendet, die beim Zusammenfließen in der Brennkammer automatisch zündeten und zu einem Gasgemisch (Stickstoff und Wasserdampf) führten, das die Düse mit hoher Geschwindigkeit verlässt. Analog dazu arbeitet der Bombardierkäfer ebenfalls mit zwei Substanzen, nämlich Hydrochinonen und Wasserstoffperoxid. Über ein den Ventilen analoges Öffnungssystem geraten die Substanzen in eine der Raketenbrennkammer analoge Explosionskammer, wo sie enzymatisch zerlegt werden, so dass ein Gemisch aus Chinonen, Wasserdampf und Sauerstoff aus der Düse schießt (SCHILDKNECHT et al. 1968, Abb. 14). Der Käfer verwendet den bis 100 °C heißen Strahl zur Desinfektion seines Eigeleges und zur Verteidigung, die Mondlandefähre zur Schubzeugung. Trotz fehlender funktioneller Analogie ist die morphologische Analogie im Detail verblüffend.

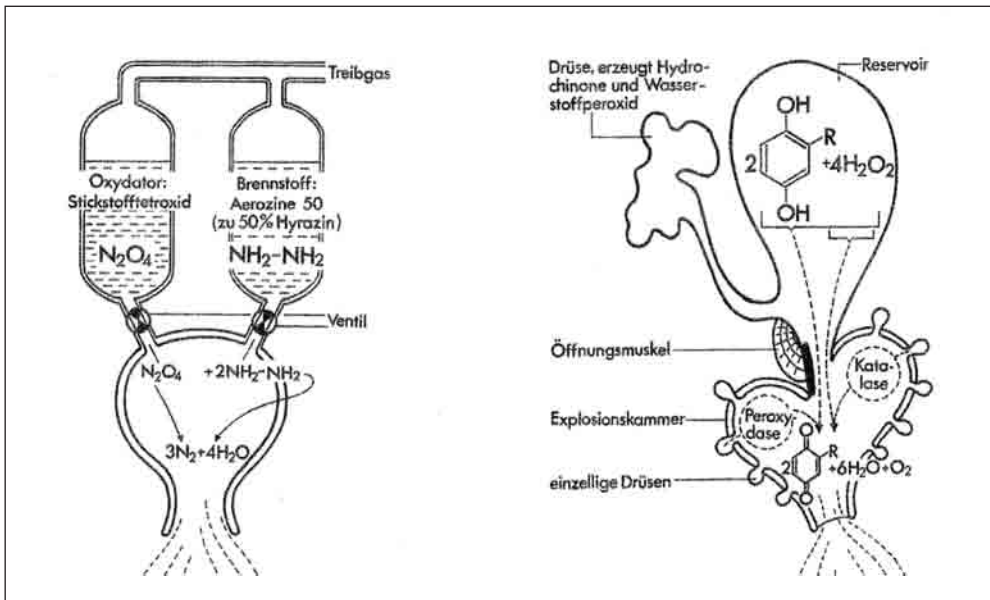


Abb. 14 Apollo-Mondlandefähre und Bombardierkäfer (nach NACHTIGALL 1974)

Ein Flugabwehrsystem, das nach Radarmessung eine Abwehr rakete abschießt, und das Fledermaussonar, das nach Sonarmessung einen Nachtfalter einzufangen hilft, besteht aus vergleichbaren, funktionell durchaus analogen Elementen (NACHTIGALL 1974, Abb. 15). Auch diese Analogie wurde erst im Nachhinein festgestellt; sie steht aber an der Basis des Begriffs *bionics*. Der amerikanische Luftwaffenmajor J. F. STEELE hat sich in den 1940er Jahren Gedanken darüber gemacht, wie man über das Studium des Fledermaussonars die damals uneffizienten Radareinrichtungen verbessern könnte: „Lernen von der Biologie für die Technik.“

Allgemeines Vorgehen

Die allgemeine Vorgehensweise in der Bionik lautet also, auf einen kurzen Nenner gebracht:

- (1.) Naturvorbild erforschen.
- (2.) Naturvorbild nach Prinzipien abstrahieren, d. h. die technisch relevanten Analogien finden.
- (3.) Die abstrahierten Prinzipien technisch-eigenständig umsetzen.

Daraus ergibt sich wieder die mit den Eingangsbeispielen gekennzeichnete Feststellung: *Analogieforschung muss an den Anfang!* Analogieforschung stellt das Bindeglied dar zwischen Erforschen und Abstrahieren. Auf der Suche nach allgemeinen Prinzipien in der Vorgehensweise Vorbild Natur \rightarrow Naturabstraktion \rightarrow Technische Umsetzung bin ich manchen Umweg gegangen, bis ich bemerkt habe: *Der eigentliche schöpferische Aspekt bei bionischem Arbeiten ist das Erkennen und Nutzen der dem Naturvorbild zugrundeliegenden, technikorientierten Analogien.*

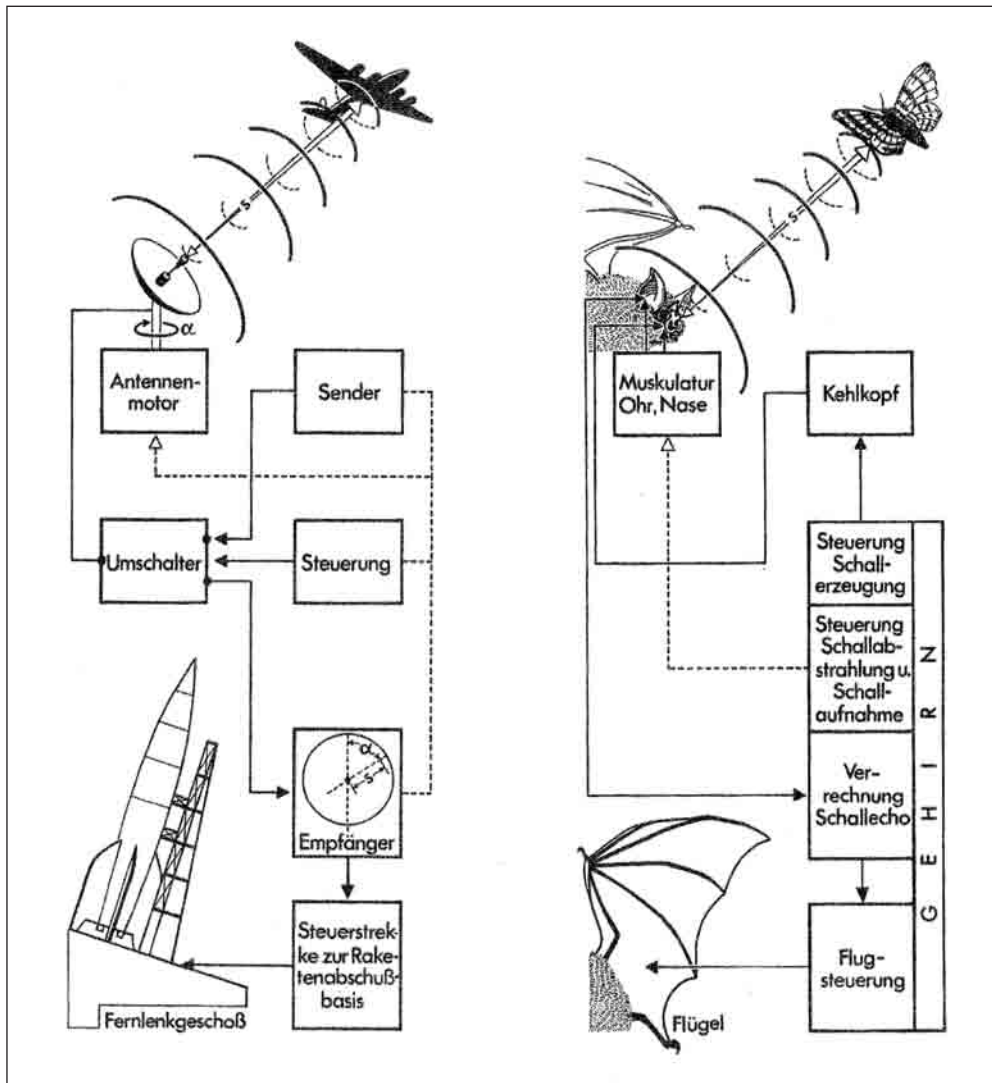


Abb. 15 Flugabwehr-Radar und Fledermaussonar (nach NACHTIGALL 1974)

Literatur

- CAYLEY, George: On aerial navigation (Parts I, II, III). Nicholson's J. 24, 164–174 (1809); 25, 81–87, 161–169 (1810)
- GIACOMELLI, Raffaele: Gli scritti di Leonardo da Vinci sul volo. Roma: Bardi 1936
- HELMCKE, Johann: Ein Beispiel für die praktische Anwendung der Analogieforschung. Mitteilung des Instituts für leichte Flächentragwerke der Universität Stuttgart (IL) 4, 6–15 (1972)
- Herder Lexikon der Biologie: Herder Lexikon der Biologie. (Verfasst von: Franz Joseph DREYHAUPT) Heidelberg, Berlin: Spektrum 1994
- KRAMER, Max: Boundary layer stabilization by distributed damping A. S. N. E.-Journal, 1960, 25–33 (1960)

- KUMMER, Benno: Biomechanik des Säugetierskeletts. Handbuch Zoologie VII, 6. Teil (1965)
- LEONARDO DA VINCI: Sul volo degli ucelli. Florenz ca. 1506. Zitiert in: GIACOMELLI, Raffaele: Gli scritti di Leonardo da Vinci sul volo. Roma: Bardi 1936
- NACHTIGALL, Werner: Biotechnik. Statische Konstruktionen in der Natur. UTB 54, Heidelberg: Quelle & Meyer 1971
- NACHTIGALL, Werner: Phantasie der Schöpfung. Faszinierende Entdeckungen in der Biologie und Biotechnik. Hamburg: Hoffmann und Campe 1974
- NACHTIGALL, Werner: Warum die Vögel fliegen. Hamburg: Röhring 1985
- NACHTIGALL, Werner: Bionik. Grundlagen und Beispiele für Ingenieure und Naturwissenschaftler. Berlin: Springer 1985, 2002
- NACHTIGALL, Werner: Bionik als Wissenschaft. Erkennen → Abstrahieren → Umsetzen. Berlin: Springer 2010
- NERVI, P., et BARTOLI, Archangeli: Perfezionamento nella costruzione di solai, volte, cupole, traviparete et strutture portanti in genere a due o tre dimensioni, con disposizione delle nervature resistenti lungo de linee isostatiche dei momenti o degli sforzi normali. Italienisches Patent Nr. 455678, 1950
- SCHILDKNECHT, Hermann E., MASCHWITZ, Eleonore, und MASCHWITZ, Ulrich: Die Explosionschemie der Bombardierkäfer (Coleoptera, Carabidae). Z. Naturforschung 23b, 1213–1218 (1968)

Prof. em. Dr. Werner NACHTIGALL
Arbeitsstelle Technische Biologie und Bionik
der Akademie der Wissenschaften und der Literatur Mainz
an der Universität des Saarlandes
Postfach 15 11 50
66041 Saarbrücken
Bundesrepublik Deutschland
Tel.: +49 681 3023287
Fax: +49 681 3024610
E-Mail: w.nachtigall@mx.uni-saarland.de

**Festliche Übergabe des Präsidentenamtes
der Deutschen Akademie der Naturforscher Leopoldina –
Nationale Akademie der Wissenschaften
von Volker ter Meulen an Jörg Hacker**

am 26. Februar 2010 in der Aula des Löwengebäudes der
Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg

Nova Acta Leopoldina N. F. Bd. 113, Nr. 385

Herausgegeben vom Präsidium der Akademie

(2010, 84 Seiten, 23 Abbildungen, DVD mit der Dokumentation der Veranstaltung,
21,95 Euro, ISBN: 978-3-8047-2848-6)

Am 26. Februar 2010 fand in der Aula des Löwengebäudes der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg die Feierliche Übergabe des Leopoldina-Präsidentenamtes von Volker TER MEULEN an Jörg HACKER statt. Der Band enthält die Begrüßung durch die Leopoldina-Vizepräsidentin Bärbel FRIEDRICH, die Grußworte der Bundesministerin für Bildung und Forschung Annette SCHAVAN und des Ministerpräsidenten des Landes Sachsen-Anhalt Wolfgang BÖHMER. Im Mittelpunkt stehen die Ansprache des scheidenden XXV. Präsidenten Volker TER MEULEN und die Antrittsrede des XXVI. Präsidenten Jörg HACKER. Ergänzt wird der Band durch die Festrede „Wissenschaftskultur – Zur Vernunft wissenschaftlicher Institutionen“ von Jürgen MITTELSTRASS. Alle Beiträge sind in deutscher und englischer Sprache abgedruckt.

Kybernetik zwischen Ingenieurwesen und Metaphysik – Eine Fallstudie zum Gebrauch von Analogien in den Strukturwissenschaften

Stefan ARTMANN, Jena

Mit 2 Abbildungen

Zusammenfassung

Während des 20. Jahrhunderts entwickelte sich vehement eine Gruppe von Wissenschaften, deren erster exemplarischer Repräsentant die Kybernetik gewesen ist und zu der u. a. die Informations- und die Systemtheorie, die Entscheidungs- und die Komplexitätstheorie gehören. Diese sogenannten „Strukturwissenschaften“ bilden eine Antwort des Wissenschaftssystems auf seine beschleunigte Ausdifferenzierung in relativ eigenständige Disziplinen. Strukturwissenschaften modellieren auf formale Weise relationale Ordnungen (Strukturen), um ihre Modelle auf eine möglichst große Vielfalt von Erfahrungsgegenständen anzuwenden. Strukturwissenschaftliche Forschung wird somit durch ihren möglichen Beitrag für die Zusammenarbeit zwischen den Disziplinen motiviert. Die philosophische Analyse muss dementsprechend den analogischen Gebrauch von Strukturmodellen thematisieren: Welche Kriterien gibt es für die Relevanz ihrer interdisziplinären Übertragung? Der Aufsatz erörtert diese Frage an einer Struktur aus der Kybernetik: dem Regelkreis mit negativer Rückkopplung, und skizziert eine allgemeine methodologische Antwort auf das Analogieproblem der Strukturwissenschaften.

Abstract

The group of sciences including information and systems theory, decision and complexity theory, paradigmatically first represented by cybernetics, evolved particularly rapidly in the twentieth century. These so-called “structural sciences” were an answer to the accelerated differentiation within the science system into relatively autonomous disciplines. Structural sciences model, by formal methods, relational orders (structures) and aim at applying these models to as diverse empirical objects as possible. Research in the structural sciences is thus motivated by its contribution to interdisciplinary cooperation. Therefore, a philosophical analysis must discuss the analogical use of structural models: What are the criteria of relevance for their interdisciplinary transfer? This paper addresses this question by analysing a particular cybernetical structure: the closed-loop control circuit with negative feedback, and sketches a general methodological answer to the problem of analogy in the structural sciences.

Arbeitsteilung in der Wissensproduktion, die Kybernetik und das strukturwissenschaftliche Analogieproblem

Fortschreitende Arbeitsteilung ist eine notwendige Bedingung für das ungeheure Wachstum wissenschaftlicher Produktivität in Neuzeit und Moderne. Die Ausdifferenzierung eines sozialen Systems, in dem Forschung und Lehre nach autonom definierten Kriterien stattfinden, setzt sich systemimmanent mit der Etablierung eigenständiger Disziplinen fort. Sie unterscheiden sich nicht nur durch ihren jeweiligen Bestand anerkannten Wissens sowie ihre Forschungsprobleme und -methoden, sondern auch durch ihre institutionell angebundenen Forschernetzwerke und die Auswahlprozesse, dank derer sich Nachwuchs für die Aufnahme

in solche Netzwerke qualifizieren kann. Grundzüge des Prozesses disziplinärer Ausdifferenzierung finden sich bereits in Adam SMITHS (1723–1790) zweitem Hauptwerk *An Inquiry into the Nature and Causes of the Wealth of Nations* (1776) erwähnt;¹ Bemerkungen SMITHS zum ökonomischen Zusammenhang zwischen Arbeitsteilung und Produktivitätswachstum lassen sich auf das Wissenschaftssystem übertragen. Das gilt insbesondere für seine Einsicht: “As it is the power of exchanging that gives occasion to the division of labour, so the extent of this division must always be limited by the extent of that power, or, in other words, by the extent of the market.”² Auf die Wissenschaft übertragen, folgt daraus, dass ein Anstieg in der Zahl an Forschern, die ihr Wissen miteinander austauschen, den Grad wissenschaftlicher Arbeitsteilung erhöhen kann. Institutionalisierung in Form von relativ autonomen Disziplinen vermag wiederum die Kommunikation zwischen den ihnen jeweils angehörenden Forschern zu verbessern, so dass neues Material und innovative Methoden effektiver diskutierbar sind, als dies innerhalb einer heterogeneren Auswahl von Wissenschaftlern mit stark variierenden Präferenzen der Fall wäre. Die Wahrscheinlichkeit, dass die Ausdehnung des Wissenschaftssystems als ganzes und seine innere Differenzierung sich wechselseitig verstärken, steigt an.³

Wenn der Prozess der Ausdifferenzierung sich fortsetzt und gar beschleunigt, so dass die Disziplinen immer weiter untergliedert werden – hieran nimmt das bekannte *Aperçu* Anstoß, wissenschaftlicher Fortschritt bestehe darin, dass immer mehr Experten über immer weniger wissen –, dann scheint die Gefahr einer allgemeinen Degradierung des Wissenschaftlers zum „Fachidioten“ zu drohen: Die ansteigende Komplexität der Forschung werde durch die zunehmende Beschränktheit des Wirkungskreises des einzelnen Forschers erkaufte. SMITH hat, bezogen auf die ökonomische Arbeitsteilung, diese Gefahr beschrieben und von ihr nur diejenigen ausgenommen gesehen, die keinen bestimmten Beruf ausüben, sondern sich mit den Beschäftigungen anderer befassen, sie vergleichen, miteinander verbinden und daher deren jeweilige Grenzen übersteigen können. Solche Generalisten “[...] are called philosophers or men of speculation, whose trade it is not to do any thing, but to observe every thing; and who, upon that account, are often capable of combining together the powers of the most distant and dissimilar objects”⁴ Aber auch die *philosophers* hätten – außer unter besonderen Umständen, deren Eintreten nicht von ihnen abhängig sei – kaum Gelegenheit, ihre großen Fähigkeiten zum Nutzen anderer einzusetzen.⁵ Und ist angesichts des heute ebenfalls hochgradig ausdifferenzierten Wissenschaftssystems nicht ein noch düsteres Bild von der Möglichkeit

1 “In the progress of society, philosophy or speculation becomes, like every other employment, the principal or sole trade and occupation of a particular class of citizens. Like every other employment too, it is subdivided into a great number of different branches, each of which affords occupation to a peculiar tribe or class of philosophers; and this subdivision of employment in philosophy, as well as in every other business, improves dexterity, and saves time. Each individual becomes more expert in his own peculiar branch, more work is done upon the whole, and the quantity of science is considerably increased by it.” (SMITH, 1776, Bd. 1, S. 14 [zitiert nach der Ausgabe CANNAN 1976]).

2 SMITH 1776, Bd. 1, S. 21.

3 Die Wissenschaftssoziologie hat sich des allgemeinen Mechanismus hinter dieser Dynamik und der funktionalen Rolle von Disziplinen längst angenommen, so z. B. Rudolf STICHWEH: „Einerseits ist eine der wesentlichen Ursachen von Größenwachstum die durch Ausdifferenzierung ermöglichte ‚Aktivierung‘ eines bis dahin synchron und diachron nur lose verknüpften Wissens. Erfahrungsmaterial und Theorien der Wissenschaft werden jetzt eine in sich kritische Masse, die aus sich heraus ständig Innovationen produziert und den Zugriff auf immer Neues motiviert. Andererseits zwingt Größenwachstum zu verstärkt selektiver Behandlung des Materials unter prononciert wissenschaftseigenen Kriterien, und das heißt eben Ausdifferenzierung.“ (STICHWEH, 1984, S. 41f.)

4 SMITH 1776, Bd. 1, S. 14.

5 Vgl. ebenda, Bd. 2, S. 304.

zu zeichnen, den drohenden negativen Auswirkungen der Arbeitsteilung auf den Einzelnen durch Wissenschaft gegenzusteuern? SMITH sah sich gezwungen, den Staat aufzufordern, eine umfassende Erziehung zu garantieren, die zumindest die Voraussetzungen dafür schaffen soll, dass jeder Bürger bestimmte grundlegende Fähigkeiten trotz Arbeitsteilung ausbilden kann.⁶ Dem könnte im Wissenschaftssystem eine Art geplanter Interdisziplinarität entsprechen – wobei allerdings zu klären wäre, von welcher Position aus eine Zusammenarbeit zwischen den Wissenschaften konzipiert und verwirklicht werden könnte, die den Ansprüchen und Interessen der einzelnen Disziplinen Genüge leistete, ohne das Ziel einer miteinander geteilten Kultur von Wissenschaftlichkeit aus den Augen zu verlieren. Weder kann eine einzelne Disziplin dies leisten noch Interdisziplinarität selbst zur Disziplin werden, ohne sich selbst *ad absurdum* und alle anderen Disziplinen in die Unmündigkeit zu führen.⁷ Oder wäre – wider SMITHS Befürchtungen – seiner eigenen Einsicht stärker zu vertrauen: “All systems either of preference or of restraint [...] being thus completely taken away, the obvious and simple system of natural liberty establishes itself of its own accord”⁸ Aus dieser Perspektive ist der Prozess der Ausdifferenzierung der Disziplinen daraufhin zu beobachten, ob in ihm solche Forschungsprogramme entstehen, die sich zumindest zeitweilig zu Agenturen wissenschaftlicher Kooperation weiterentwickeln und in denen das Wissenschaftssystem *of its own accord* Aspekte seiner Einheit zur Darstellung bringt.

Den Ausgangspunkt dieses Aufsatzes bildet die These, dass Entstehung und Entwicklung der Strukturwissenschaften im 20. Jahrhundert eine autonome Antwort des Wissenschaftssystems auf die sich beschleunigende Ausdifferenzierung der Disziplinen darstellen. Zu den Strukturwissenschaften gehören – um nur einige wichtige Beispiele zu nennen – die Kybernetik und die Informationstheorie, die Semiotik und die Spieltheorie, die Synergetik und die Netzwerktheorie, die Informatik und die Systemtheorie, das Operations Research und die Komplexitätstheorie. Die Strukturwissenschaft, der es zuerst gelang, nicht nur im Wissenschaftssystem, sondern auch von Politik und Öffentlichkeit als neuartige Disziplin wahrgenommen zu werden, war die Kybernetik. Einer ihrer Begründer, der amerikanische Mathematiker Norbert WIENER (1894–1964), charakterisierte sie als diejenige Wissenschaft, die “the entire field of control and communication theory, whether in the machine or the animal”⁹, umfasst. WIENER erläutert in seinem berühmtesten populärwissenschaftlichen Werk, dem erstmals 1948 erschienenen Buch *Cybernetics, or Control and Communication in the Animal and the Machine*, die Herkunft und Motivation des Namens der neuen Disziplin: Er stammt vom altgriechischen Wort für den Steuermann ab.¹⁰ So wie die nautische Kunst allgemeine Regeln der Navigation von Schiffen lehren will, so versucht die Kybernetik, ein abstraktes Modell¹¹

6 Vgl. SMITH 1776, Bd. 2, S. 304ff.

7 Vgl. HAYEK 1944 (zitiert nach der Ausgabe CALDWELL 2007), S. 99: “Though it is the resentment of the frustrated specialist which gives the demand for planning its strongest impetus, there could hardly be a more unbearable – and more irrational – world than one in which the most eminent specialists in each field were allowed to proceed unchecked with the realization of their ideals. Nor can ‘coordination,’ as some planners seem to imagine, become a new specialism.”

8 SMITH 1776, Bd. 2, S. 208 (vgl. BUTLER 2007, S. 67 ff.).

9 WIENER 1961, S. 11.

10 Vgl. ebenda, S. 11f.

11 Dieser Aufsatz thematisiert den Begriff des Modells nicht explizit. Er wird hier im Sinne der wissenschaftlichen Darstellung bestimmter Aspekte eines Gegenstandes zu einem durch das betreffende Forschungsprogramm definierten Zweck verstanden (vgl. HENTSCHEL 2007, S. 262). Der Ausdruck „Strukturmodell“, der im Folgenden häufiger fällt, soll die Art der wissenschaftlichen Darstellung mittels formaler Relationssysteme betonen.

davon zu vermitteln, wie Systeme aller Art – also sowohl lebende als auch technische als auch soziale Systeme – gleichsam ihren Kurs festlegen. Mit „Navigation“ im kybernetischen Sinne ist allerdings nicht vorrangig räumliche Bewegung gemeint. Ein Kybernetiker interessiert sich allgemeiner dafür, wie Systeme einen erwünschten Zustand in sich verändernden Umwelten möglichst selbständig verwirklichen, und er gibt eine Antwort auf diese Frage, indem er mathematische Theorien der Rückkopplung bzw. des Regelkreises aufstellt und mit deren Hilfe schließlich auch Artefakte baut, die sich in ihrer Umgebung so verhalten, dass sie einen bestimmten Zweck mit möglichst wenig fremder Hilfe erfüllen.

Der einfache Regelkreis lässt sich an der Tätigkeit des besagten Steuermanns erläutern, der sich bemüht, sein Schiff bei Wind und Wetter auf Kurs zu halten, um in einen bestimmten Hafen einzulaufen. Das gesamte Schiff einschließlich des Steuermanns bildet ein hybrides, menschlich-technisches System mit negativer Rückkopplung, das sich in einer Umwelt, auf dem Meer, bewegt. Dabei erfüllt der Steuermann die Funktion eines Reglers; das Schiff ist, kybernetisch gesprochen, eine Regelstrecke und sein Kurs die Regelgröße. Der gewünschte Kurs des Schiffes, den der Steuermann kennt, stellt die Führungsgröße des Regelkreises dar. Um das Schiff auf Kurs halten zu können, muss der Steuermann ständig die Abweichung des tatsächlichen vom gewünschten Kurs mittels Positionsbestimmungen messen. Abstrakter gesprochen, beobachtet der Regler die Differenz zwischen Regel- und Führungsgröße. Je nachdem, wie der Unterschied zwischen tatsächlichem und gewünschtem Kurs auf Grund von Störgrößen aus der Umwelt, beispielsweise von Strömungsschwankungen und sich drehendem Wind, ausfällt, muss der Steuermann reagieren, indem er das Steuer so einstellt, dass das Schiff möglichst auf Kurs bleibt. Der Kybernetiker spricht hier von der Einstellung der Steuergröße, die auf die Regelstrecke (das Schiff) so wirkt, dass sich die Regel- an die Führungsgröße angleicht. Von Regelung im kybernetischen Sinne wird nur dann gesprochen, wenn Regler und Regelstrecke wie im Fall des Systems „Steuermann und Schiff“ kreisförmig – also in einem Regelkreis – angeordnet sind, so dass das aus beiden bestehende System mittels Rückkopplung sich selbst kontrollieren kann: Der Regler misst fortlaufend die Regelgröße, ist daher über die mittels der Stellgröße erzielte Wirkung seines Eingriffs in die Regelstrecke unterrichtet und reagiert auf die von ihm und den Störgrößen bewirkten Veränderungen der Regelgröße nach erneutem Vergleich mit der Führungsgröße wiederum im Sinne einer Anpassung der Regel- an die Führungsgröße.¹²

Die Kybernetik versucht über ihren konstruktiven Einsatz im Ingenieurwesen hinaus, das Denken in Regelkreisstrukturen für so viele Wissenschaften wie möglich nutzbar zu machen – von der Medizin und Biologie über die Psychologie und Linguistik bis zur Ökonomie und Soziologie. Negative Rückkopplung lässt sich u. a. in der Regelung des physiologischen Gleichgewichts eines Organismus, seiner senso-motorischen Handlungskoordination, der Etablierung sozialer Konventionen und der Organisation von arbeitsteiligen Produktionsprozessen finden. Das Ziel der Kybernetik besteht nun keinesfalls vorrangig darin, bereits in Natur und Kultur bestehende Regelkreise bloß zu katalogisieren, sondern sie strebt danach, immer komplexere Vorgänge durch Rückkopplungsmechanismen kontrollierbar zu machen. Mit einer solchen Vorgehensweise, die bestehende Grenzen sowohl zwischen den Disziplinen als auch zwischen reiner und angewandter Forschung übersteigt, trägt die Kybernetik zu einer die Ausdifferenzierung des Wissenschaftssystems ergänzenden Reintegration der Disziplinen bei. Sie zielt darauf ab, einen weiten Spielraum für das wechselseitige Lernen der Wissen-

¹² Eine übersichtliche Einführung in die Kybernetik bietet FLECHTNER 1970.

schaften durch Anwendung von Strukturbegriffen wie dem des Regelkreises außerhalb des Kontextes zu eröffnen, in dem sie anfänglich formuliert worden sind. Dabei setzt der Einsatz kybernetischer Ideen keine Hierarchisierung der beteiligten Disziplinen innerhalb einer feststehenden Wissenschaftsarchitektur voraus: Wer Regelkreismodelle, die von Biologen entwickelt worden sind, in der Soziologie einsetzt, muss damit keinesfalls die Meinung vertreten, dass die Soziologie eine Teildisziplin der Biologie sei. Außerdem ist nicht vorhersehbar, welche Wissenschaften es für sinnvoll halten werden, eigene wie fremde Forschungsprobleme und Wissensbestände vermittels kybernetischer Theorien hinsichtlich ihrer interdisziplinären Relevanz einzuschätzen, und welche Disziplinen dabei zu einem positiven Ergebnis kommen werden. Alle Strukturwissenschaften bemühen sich darum, mittels der mathematischen Formulierung ihrer Modelle interdisziplinäre Übertragungen einerseits möglichst transparent zu machen und andererseits Kriterien dafür anzubieten, wann sie sinnvoll sein können. Gerade die Beschäftigung mit dem Problem der Abgrenzung angemessener von unangemessenen Anwendungen ist für das Schicksal einer Strukturwissenschaft von großer Bedeutung – das lässt sich an der Geschichte der Kybernetik nachdrücklich aufzeigen. Mit der Aussicht auf die Konstruktion autonom agierender und sogar lernender Systeme, die ihre Ziele an eine sich verändernde Umwelt selbständig anpassen und sie erfolgreich erreichen können, ohne der ständigen Überwachung durch den Menschen zu bedürfen, übte die Kybernetik auf Wissenschaftler, Philosophen, Publizisten und Politiker in West und Ost vor fünfzig Jahren eine große Anziehungskraft aus. Regelkreise galten als der Königsweg zur Automatisierung von Entscheidungsprozessen in komplexen Problemlagen. Dementsprechend wurden alle nur denkbaren Prozesse in der menschlichen Kultur „kybernetisiert“: vom Kochen am eigenen Herd bis zur Planung ganzer Nationalökonomien.¹³ Diese Breite der Anwendung ist nicht von vornherein überdehnt; fragwürdig wird sie allerdings dann, wenn die schematische Darstellung eines Systems durch einen simplen Regelkreis mit einer seriösen kybernetischen Modellierung verwechselt wird und sich an die krude Schematisierung eines Systems übertriebene Hoffnungen auf dessen Optimierung knüpfen. Die Schere zwischen den wissenschaftlichen Ergebnissen der Kybernetik und den hochfliegenden Versprechungen, mit denen die Kybernetik pseudowissenschaftlich vermarktet wurde, öffnete sich immer weiter, so dass auch aus diesem Grund der Name „Kybernetik“ im Laufe der 1970er Jahre als Bezeichnung einer eigenständigen Disziplin mehr und mehr verschwand. Ihre Strukturmodelle lebten aber in Wissenschaften wie der Biologie und der Informatik weiter – für die letzten Jahre lässt sich sogar ein steigendes Interesse an der „alten“ Kybernetik diagnostizieren, und zwar nicht nur bei Wissenschaftshistorikern und Medienwissenschaftlern, sondern auch in den aktuellen Forschungen z. B. der Robotik und der Neurowissenschaften.¹⁴

Wenn das Problem der Abgrenzung angemessener von unangemessenen Anwendungen eine entscheidende Bedeutung für eine Strukturwissenschaft besitzt, so sollte sie aus eigenem Antrieb Kriterien für eine solche Unterscheidung erarbeiten. Dabei kann sie mit der Überlegung einsetzen, dass ein Forschungsprogramm – wie z. B. dasjenige WIENERS – erst dann zur Etablierung einer Strukturwissenschaft (hier der Kybernetik) führt, wenn es nicht mehr nur Erklärungsmodelle einer empirischen Disziplin in eine andere übertragen will, sondern die folgenden drei notwendigen Bedingungen erfüllt.¹⁵ Erstens muss das Forschungsprogramm

13 Vgl. z. B. VON CUBE 1970 und KLAUS 1964.

14 Vgl. z. B. HAGNER und HÖRL 2008, MATARIC 2007 und HAWKINS 2005.

15 Für eine ausführliche wissenschaftsphilosophische Analyse der Strukturwissenschaften siehe ARTMANN 2010.

danach trachten, Erklärungsmodelle ohne Beziehung auf einen bestimmten empirischen Anwendungsbereich zu formulieren, d. h. als letztlich rein formale Beschreibungen von Relationen zwischen inhaltlich unbestimmten Elementen – es handelt sich also um Strukturmodelle ohne festen Bezug auf bekannte Phänomene, die vorgängig gegeben wären und modelliert werden sollten. Zweitens muss das Forschungsprogramm auf dieser theoretischen Grundlage die Anwendung seiner Modelle auf ganz heterogene, aber möglicherweise strukturelle Ähnlichkeiten besitzende Phänomene anstreben. Drittens muss das Forschungsprogramm die Ergebnisse der durchgeführten Anwendungen dazu nutzen, die Strukturmodellierung zu verbessern: beispielsweise zu verfeinern, zu vereinfachen oder gar auf eine andere mathematische Basis zu stellen. Dies geschieht aber nicht um der immer genaueren Modellierung eines besonderen Phänomens willen, sondern zum Zwecke der verbesserten Anwendbarkeit der Strukturmodelle auf ein immer breiteres Spektrum von Phänomenen. Jede Strukturwissenschaft besitzt also durchaus eine bestimmte disziplinäre Abkunft – die Kybernetik vor allem den Maschinenbau und die Physiologie –, und sie orientiert sich anfänglich in ihrer Forschung, dann in ihrer Didaktik an bestimmten Realisierungen ihrer Strukturmodelle. Aber da die Strukturwissenschaften es als ihr Hauptziel verfolgen, eine integrierende Funktion im Wissenschaftssystem zu erfüllen – und keineswegs andere Disziplinen zu ersetzen –, koppeln sie sich von ihren Herkunftsdisziplinen ab, um die Entdeckung möglichst vielfältiger Anwendungen ihrer Strukturmodelle als treibende Forschungsmotivation zu verstetigen. Dadurch sind die Strukturwissenschaften genuin transdisziplinär verfasst. Für ihren Erfolg bei der wissenschaftlichen Integration ist gerade die Verbindung einer disziplinären Abkunft, die Strukturmodelle mit bewährten Musteranwendungen versieht, und einer von Anfang an wirksamen überdisziplinären Anwendungsabsicht, welche die systematische Formalisierung der verwendeten Modelle vorantreibt, sehr förderlich.¹⁶

Die angeführten drei notwendigen Bedingungen für die Qualifikation eines Forschungsprogramms als strukturwissenschaftlich implizieren die überragende Bedeutung von Analogien für die Strukturwissenschaften.

„Wissenschaftstheoretisch gesehen, vollzieht sich im Rahmen der Strukturwissenschaften das, was wir eine Erklärung in Form von Analogiemodellen nennen. Und zwar werden die Gesetze dieser Strukturwissenschaften aus realen Gesetzen dadurch gewonnen, daß man alle deskriptiven und empirischen Konstanten eliminiert bzw. durch allgemeine Konstanten ersetzt, während man nur an den logischen und mathematischen Konstanten festhält. Die auf diese Weise gewonnenen Strukturgesetze sind Gesetze, die dieselbe syntaktische Struktur (bzw. logische Form) besitzen wie die realen Gesetze, aus denen sie abgeleitet wurden. Allerdings können sie nun auf mehr als bloß einen Gegenstandsbereich angewendet werden. Hierbei sind für die Frage nach der Einheit der Wissenschaften gerade jene nomologischen Isomorphismen von Bedeutung, die für Gesetze aus ganz unterschiedlichen Wirklichkeitsbereichen gelten.“¹⁷

Ein strukturwissenschaftliches Modell gründet sich im einfachsten Fall auf einen Analogieschluss, der von zwei erfüllten Voraussetzungen ausgeht: Erstens muss eine Reihe von Übereinstimmungen zwischen zwei Gegenständen, die unterschiedlichen Bereichen der Wirklichkeit entstammen können, bekannt sein; zweitens muss es darüber hinaus mindes-

¹⁶ Vgl. STICHWEH 1994, S. 37f.

¹⁷ KÜPPERS 2000, S. 103.

tens eine weitere bekannte Eigenschaft einer der beiden Gegenstände geben. Ein Analogieschluss folgert nun aus beiden Voraussetzungen, dass auch der andere Gegenstand die in der zweiten Voraussetzung genannte Eigenschaft besitzt.¹⁸ Seien z. B. von zwei Objekten o_1 und o_2 bestimmte Eigenschaften bekannt, die beide miteinander teilen; die Menge dieser Eigenschaften werde mit T bezeichnet. Es seien von o_1 darüber hinaus noch die Eigenschaften a und b bekannt sowie von o_2 die Eigenschaft c . Nun werde empirisch festgestellt, dass a und T gemeinsam b verursachen. Die Behauptung, dass auch das gemeinsame Auftreten von c und T (ohne a) b bewirke, ergibt sich aus einem Analogieschluss, der auf den genannten Voraussetzungen beruht. Trifft der Schluss zu, so spielen a und c im gleichen Kontext T , aber an verschiedenen Objekten o_1 und o_2 eine analoge kausale Rolle hinsichtlich b .¹⁹ Im Unterschied zur Induktion ist hierbei kennzeichnend, dass der dargestellte Analogieschluss auf der hypothetischen Annahme einer abstrakten Kausalstruktur beruht, die – anders als die konkreten Eigenschaften aus der Menge T – nicht unmittelbar beobachtet werden kann.

Auf die allgemeinste Weise lässt sich die Verfahrensweise eines Analogieschlusses folgendermaßen darstellen: Gegeben seien zwei Sachverhalte s_1 und s_2 und ein Strukturmodell M , das – wenn es gültig ist – zu der Folgerung berechtigt, dass s_1 und s_2 dieselbe innere Struktur S besitzen. Wird nun M hypothetisch angenommen, so ist die Struktur S von s_1 und s_2 aus der unterstellten Gültigkeit von M sowie der empirischen Kenntnis von s_1 und s_2 deduzierbar. Die Sachverhalte s_1 und s_2 gelten dann insofern als analog, dass sie die von M abstrakt dargestellte Struktur S konkret verwirklichen.²⁰ Die Gefahr eines solchen Analogieschlusses auf Basis eines Strukturmodells besteht offenkundig darin, dass er leicht ins Beliebigere führen kann, da sich irgendwelche Übereinstimmungen vermutlich zwischen jedem Paar willkürlich ausgewählter Sachverhalte finden lassen. Wenn eine ganze Wissenschaft sich auf die Suche nach einer bestimmten Art von Analogien machen will, darf sie dementsprechend ihr Augenmerk nicht nur auf die möglichst exakte Formulierung der Struktur S durch ein formales Modell M richten, sondern muss auch die penible Bewertung ihrer Analogieschlüsse an Hand von Kriterien für die Relevanz der gefundenen Ergebnisse vornehmen. Die Definition solcher Standards macht das Analogieproblem der Strukturwissenschaften aus, das nicht nur Details, sondern die Basis ihrer Forschung betrifft. Bevor jedoch Kriterien für einzelne Strukturwissenschaften und Anwendungsgebiete bestimmbar sind, muss zuerst die Frage beantwortet werden, aus welcher Quelle solche konkreten Bewertungsmaßstäbe ihre Geltung beziehen können. Dies soll im Folgenden an Hand des Einsatzes einer kybernetischen Analogie untersucht werden.

Die Logik einer kybernetischen Analogie: Negative Rückkopplung

Die Geschichte der Kybernetik durchzieht eine tiefe Unsicherheit, worum es sich bei ihr in wissenschaftsphilosophischer Hinsicht überhaupt handelt: Ist sie “a unifying science, a common basis for thought, a convenient common language for functionally related problems, a set of analogies, or a program”?²¹ Diese Unsicherheit lässt sich exemplarisch an den Stellungnahmen des Philosophen und Soziologen Arnold GEHLEN (1904–1976) zur Kyber-

18 Vgl. SALMON 2001, S. 197f.

19 Vgl. HESSE 1970, S. 72f. und 101.

20 Vgl. ITKONEN 2005, S. 32ff.

21 ROSENBLITH 1963/65, S. 196.

netik aufzeigen. Einerseits weist GEHLEN ausdrücklich darauf hin, dass mit der Kybernetik die Technik „bis in den Mittelpunkt der menschlichen Weltauslegung und damit auch seiner Selbstauffassung vor[gerückt sei ...]“,²² da sie bedeutsame Einsichten in die Funktionsweise des Gehirns und des Nervensystems verspreche. Mehr noch: Er qualifiziert die Kybernetik sogar als „eine übergreifende Universalwissenschaft“.²³ Zugleich diagnostiziert GEHLEN jedoch nicht nur, dass sich diese Disziplin „bestenfalls im Entstehungsstadium“²⁴ befinde und daher in Gefahr stehe, infolge frühzeitiger ideologischer Instrumentalisierung in diesem Stadium zu verkümmern. Darüber hinaus prognostiziert er früh, dass die Bemühung um eine kybernetische Universalwissenschaft angesichts der fortgeschrittenen wissenschaftlichen Arbeitsteilung letztlich scheitern müsse, weil ihre hochgradig durchmathematisierten Theorien schon für Wissenschaftler, die nicht selbst Kybernetiker wären, nur zu schwer zu durchdringen seien.²⁵ Angesichts dieser in sich vielleicht nicht widersprüchlichen, so doch zumindest spannungsvollen Einschätzung der Kybernetik belässt es GEHLEN resümierend bei der blässen Bemerkung, dass die Kybernetik „eine sonderbare Wissenschaft“²⁶ sei.

Der Grund für eine solche schwankende Beurteilung der Kybernetik liegt in einer zu oberflächlichen Analyse der Logik kybernetischer Analogien, die nur durch eine Rekonstruktion des Ineinandergreifens sogenannter „starker“ und „schwacher“ Methoden in dieser Strukturwissenschaft aufzuhellen ist. Beide Arten von Problemlösungsverfahren lassen sich folgendermaßen unterscheiden:

“By necessity, problem solving in novel domains makes use of *weak methods* – problem solving techniques of quite general application whose generality is assured by the fact that they do not use or require much prior knowledge of the structure of the problem domain. Problem solving in well-understood domains uses *strong methods* – powerful techniques that are carefully tailored to the specific structure of the domain to which they are applied. Of course strong methods are almost always more powerful than weak methods, but they are simply not available, by definition, when entirely new territory is explored.”²⁷

Die wichtigste schwache Methode der Strukturwissenschaften ist der Analogieschluss in einer wissenschaftlich schon vorstrukturierten Problemlage. Analogisieren gehört zu den schwachen Methoden, weil sie heuristisch in jedem Gegenstandsbereich und zwischen allen Gegenstandsbereichen verwendbar ist. Gerade diese Universalität erfordert es, dass die Resultate analogischen Schließens immer an Hand von Kriterien für ihre Relevanz eingehend bewertet werden – welche Kennzeichen hierfür heranzuziehen sind, ist abhängig vom interdisziplinären Kontext der jeweiligen Analogiebildung. „Ob etwas relevant ist oder nicht, lässt

22 GEHLEN 1957, S. 13 (zitiert nach der Ausgabe REHBERG 2004).

23 GEHLEN 1965 (zitiert nach der Ausgabe REHBERG 2004, S. 196).

24 Ebenda.

25 Siehe GEHLEN 1958 (zitiert nach der Ausgabe REHBERG 2004, S. 400f.).

26 GEHLEN 1956 (zitiert nach der Ausgabe REHBERG 2004, S. 287).

27 SIMON et al. 1981, S. 5. – Die Unterscheidung von schwachen und starken Methoden steht orthogonal zu derjenigen zwischen theorie- und datengetriebenen Forschungsprozessen. Liegt z. B. bereits eine mathematisch formulierte Theorie vor, die experimentell umsetzbar ist, sind eher Methoden verfügbar, die hochgradig an eine Problemklasse angepasst (also „stark“) sind, als wenn für eine große Datenmenge eine mathematisch formalisierte Theorie erst gefunden werden soll. Im ersten Fall lässt sich ein Forschungsproblem entweder mathematisch darstellen und durch bekannte Verfahren lösen, oder es ist klar als nicht zur betreffenden Problemklasse gehörig einzuschätzen, während im zweiten Fall nur allgemeine Heuristiken (also „schwache“ Methoden) für die Problemlösung zur Verfügung stehen (vgl. LANGLEY et al. 1987, S. 13f. und S. 23ff.).

sich aber durch logische Überlegungen allein nicht ermitteln – für die Art von Relevanz, um die es bei den Argumenten aus der Analogie geht, ist Tatsachenwissen nicht unerheblich.“²⁸ In den Strukturwissenschaften gehören zu den Daten, auf die sich dieses Tatsachenwissen stützt, nicht nur experimentell gewonnene Angaben über Erfahrungsgegenstände, sondern auch Informationen über den bisherigen Erfolg oder Mißerfolg von Analogien in den interdisziplinär kooperierenden Disziplinen. Hierdurch lässt sich die schwache Methode des Analogisierens strukturwissenschaftlich gleichsam stärken.²⁹ Erstens können die Ergebnisse eines Analogieschlusses mittels der Anwendung mathematischer und experimenteller Verfahren in derjenigen Wissenschaft, für die er neue Erkenntnisse erbringen soll (also im Zielbereich der Analogie), überprüft werden. Zweitens sollte das in einer der beteiligten Disziplinen (dem Quellbereich der Analogie) bewährte Wissen, das analogisch in andere Wissenschaften übertragen wird, aus der Anwendung möglichst starker Methoden stammen. “Analogical mappings thus provide the principal bridge between weak and strong methods when the source of analogy is a well-defined procedure.”³⁰ Drittens besitzen die beteiligten Wissenschaften womöglich bereits eine Vorgeschichte von Versuchen, interdisziplinär Wissen auf die Weise von Analogien zu übertragen, und können die dabei gewonnenen Erfahrungen für die Beurteilung eines neuen Versuchs nutzen.

Im günstigsten Fall können die Resultate der Anwendung erfolgreicher Methoden im Quellbereich einer Analogie zur Lösung der Probleme in ihrem Zielbereich beitragen. Dann bestätigt sich die methodologische Einsicht, dass “[a]nalogy can be viewed as one method for changing the given problem space to another that is more effective”.³¹ Der Erkenntnisfortschritt, der damit erzielbar ist, soll im Folgenden an einer grundlegenden kybernetischen Analogie: dem Regelkreis mit negativer Rückkopplung,³² exemplarisch dargestellt werden. Bei diesem Beispiel handelt es sich um eine Übertragung aus dem Bereich technischer Artefakte in denjenigen von Organismen, aus einem ingenieurwissenschaftlichen Quellbereich in einen neurophysiologischen Zielbereich. Durch die kybernetische Analogie wird eine Dampfmaschine (Abb. 1) mit einem zentralnervös gesteuerten Lebewesen vergleichbar, und zwar unter dem Gesichtspunkt der Selbstregulierung durch den Fliehkraftregler bzw. den Reafferenzmechanismus, deren gemeinsame Regelkreisstruktur *in abstracto* von der Kybernetik beschrieben worden ist.

Das vermutlich bekannteste technische Beispiel für die Regelung eines Systems mittels negativer Rückkopplung ist die automatische Konstanthaltung der Drehzahl einer Dampfmaschine. WIENER beschreibt den zugrundeliegenden Mechanismus folgendermaßen:

“Another example of a purely mechanical feedback system – the one originally treated by Clerk Maxwell – is that of the governor of a steam engine, which serves to regulate its velocity under varying conditions of load. In the original form designed by Watt, it consists of two balls attached to pendulum rods and swinging on opposite sides of a rotating shaft. They are kept down by their own weight or by a spring, and they are swung upward

28 SALMON 2001, S. 203.

29 Die Strukturwissenschaften bemühen sich also darum, den von HENTSCHEL (2007, S. 245ff.) herausgearbeiteten Geltungsanspruch der Analogie in den Naturwissenschaften, der zeitlich und sachlich weiterreicht als derjenige der Metapher, auf seine äußersten Grenzen hin zu erproben.

30 KLAHR und SIMON 1999, S. 533. – Zu den Begriffen des Quell- und des Zielbereichs einer Analogie vgl. THAGARD 1995.

31 KLAHR und SIMON 1999, S. 533.

32 Zum Regelkreis mit negativer Rückkopplung siehe die Veranschaulichung am Steuermann auf seinem Schiff im ersten Abschnitt dieses Aufsatzes.

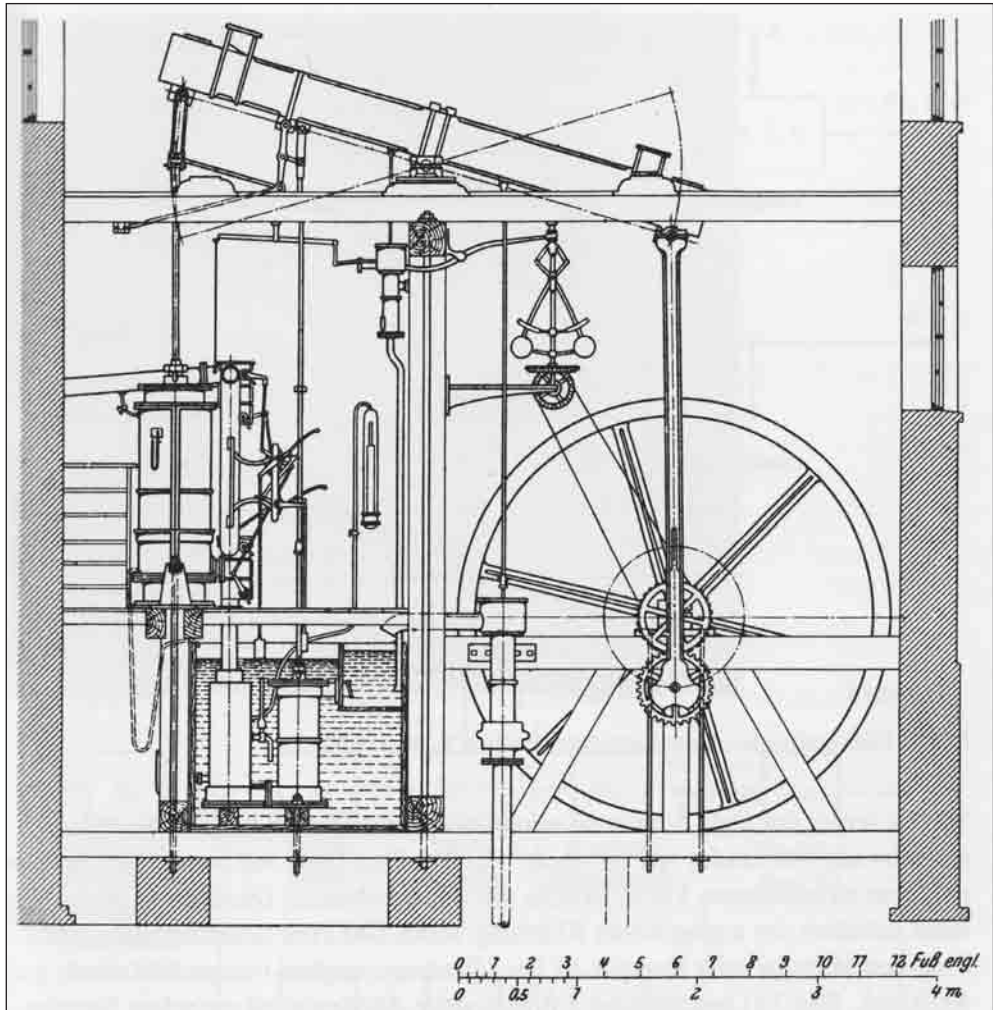


Abb. 1 Darstellung einer Wattschen Dampfmaschine mit *governor* (MATSCHOSS 1908, Bd. 1, Abb. 107)

by a centrifugal action dependent on the angular velocity of the shaft. They thus assume a compromise position likewise dependent on the angular velocity. The position is transmitted by other rods to a collar about the shaft, which actuates a member which serves to open the intake valves of the cylinder when the engine slows down and the balls fall, and to close them when the engine speeds up and the balls rise. Notice that the feedbacks tends to oppose what the system is already doing, and is thus negative.”³³

Das Schwungrad der Dampfmaschine stellt die Regelstrecke des Regelkreises dar, wobei als Regelgröße die Drehzahl (*velocity*) des Rads unter Last- und Dampfdruckänderungen – also

33 WIENER 1961, S. 97. – Zur Frühgeschichte technischer Regelungen siehe MAYR 1969.

unter Einfluss von Störgrößen – gilt. Die Regelgröße wird von einer Regelungseinrichtung, dem Wattischen Fliehkraftregler (*governor*), gemessen. Dies geschieht an Hand der Winkelgeschwindigkeit der rotierenden Welle des Reglers, die z. B. durch einen Seiltrieb mit dem Schwungrad verbunden ist. Je nach Geschwindigkeit dieser Welle verändert sich die Höhenposition von zwei Kugeln, die einander gegenüber an der Welle mittels Pendelstangen angebracht sind. Der Regler misst aber nicht nur den gegenwärtigen Wert der Regelgröße (oder Ist-Wert): Die Höhenbewegung der Fliehpindel wird von einer mechanischen Vorrichtung an die Stellgröße übertragen. Bei dieser Vorrichtung handelt es sich erstens um Gestänge, welche die Bewegung der Pendel auf einen Bundring an der Welle übertragen (steigen die Pendel, sinkt der Ring; sinken sie, steigt er). Zweitens ist der Bundring durch Gestänge mit den Einlassventilen des Zylinders der Dampfmaschine, deren Öffnungsgrad die Stellgröße des Regelkreises bildet, verbunden. Insgesamt kann damit eine Veränderung des Öffnungsgrades der Ventile abhängig von der tatsächlichen Drehzahl des Schwungrads erzielt werden. Wie diese Veränderung des Werts der Stellgröße auszufallen hat, ist von der gewünschten Drehzahl des Schwungrads, d. h. dem Wert der Führungsgröße (oder Soll-Wert), abhängig. Um ihn einstellen zu können, lässt sich die Verbindung zwischen Bundring und Ventilen, z. B. die Länge des sie verbindenden Gestänges, durch den Maschinisten verändern. Die Regelungsvorrichtung vergleicht ständig den Ist-Wert mit dem Soll-Wert und beeinflusst infolge des Resultats ihres Vergleichs mittels der Einstellung der Stellgröße wiederum die Regelstrecke, um den Wert der Regelgröße an denjenigen der Führungsgröße anzugleichen. Es wird soviel Frischdampf in den Zylinder eingelassen, wie benötigt wird, um die Drehzahl des Schwungrads möglichst stabil auf dem Soll-Wert zu halten. Sinken die Fliehpindel, ist das Schwungrad langsamer geworden, und die Ventile müssen geöffnet werden; steigen sie, ist es schneller geworden, und die Ventile sind zu schließen. Zusammengefasst ergeben sich die folgenden Zuordnungen zwischen Bauteilen der Dampfmaschine und mit ihnen verknüpften physikalischen Größen einerseits sowie den funktionalen Rollen im Regelkreis andererseits: Schwungrad – Regelstrecke; tatsächliche Drehzahl des Schwungrads – Regelgröße; Wattischer Fliehkraftregler – Regler; gewünschte Drehzahl des Schwungrads – Führungsgröße; Öffnungsgrad der Einlaßventile – Stellgröße; Dampfdruck und Last – Störgrößen (siehe Abb. 2 A und B).

Das zweite Beispiel für die Regelung eines Systems mittels negativer Rückkopplung, das hier betrachtet werden soll, entstammt der Neurophysiologie. Es handelt sich um die Kontrolle der Wechselwirkungen zwischen dem Zentralnervensystem und der Peripherie eines Organismus mittels des Reafferenzprinzips, das die Biologen Erich VON HOLST (1908–1962) und Horst MITTELSTAEDT (*1923) im Jahre 1950 beschrieben haben.³⁴ Das Regelungsproblem, auf das dieses Prinzip eine Antwort gibt, besteht darin, wie das Zentralnervensystem einlaufende Impulse (die Afferenz) und auslaufende Impulse (die Efferenz) in eine „gesetzmäßige Beziehung“³⁵ bringt – und zwar bei Koordinationsleistungen, die nicht durch Reflexmechanismen erklärbar sind, weil sie die Beteiligung eines auch ohne direkte Reizanstöße ständig aktiven Kontrollsystems erfordern. Es vergleicht Erwartungen daran, wie sich Bewegungen des Organismus auf dessen Wahrnehmungen auswirken werden, mit den tatsächlich eintretenden Sinnesdaten und steuert im Falle von Abweichungen motorisch nach. Das funktionale Prinzip, das der Tätigkeit eines solchen organischen Reglers zugrunde liegt, nennen VON HOLST und MITTELSTAEDT „Reafferenz“ und beschreiben es wie folgt:

³⁴ Siehe VON HOLST und MITTELSTAEDT 1950.

³⁵ Ebenda, S. 464.

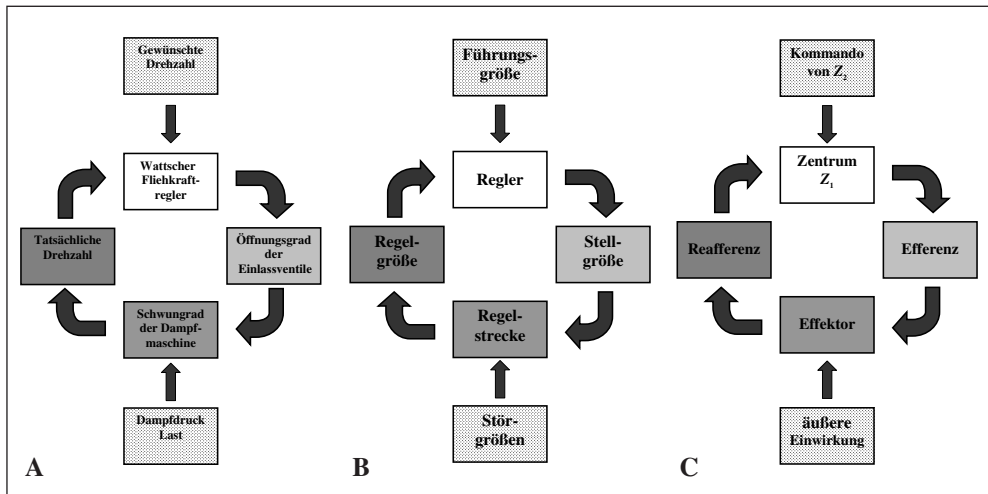


Abb. 2 Schemata zur kybernetischen Analogie „negative Rückkopplung“. (A) Schema zur Regelung der Drehzahl einer Dampfmaschine³⁶. (B) Schema des abstrakten Regelkreises. (C) Schema zum Reafferenzprinzip³⁷

„Wir betrachten [...] irgendein [neuronales] Zentrum Z_1 , das einen Effektor *EFF* motorisch und sensorisch versorgt. Dieser Effektor kann ein Muskel, ein Glied oder der ganze Körper sein. Dem Zentrum Z_1 sind ein oder mehrere Zentren Z_2 bis Z_n übergeordnet. Irgendein *Kommando* K von Z_n – d. h. eine bestimmte *Änderung* des nach Z_1 absteigenden Impulsstroms – veranlasst hier eine efferente Impulsfolge E , die eine ihr streng zugeordnete, mit bestimmter zeitlicher Verzögerung in der benachbarten Ganglienmasse sich ausbreitende Aktivitätsänderung verursacht, die *Efferenzkopie* EK . Der in die Peripherie abfließende Efferenzstrom E löst über den Effektor die zugehörige Reafferenz A aus, die mit der Efferenzkopie in Wechselwirkung tritt. Wir wollen die Efferenz und ihre Kopie hier willkürlich mit Plus (+), die Reafferenz mit Minus (–) bezeichnen. Die Efferenzkopie und die Reafferenz heben sich in Z_1 gegenseitig auf: das von Z_n absteigende Kommando fließt unbehindert als Efferenz heraus. Sobald infolge irgendeiner *äußeren Einwirkung* am Effektor die gesamte Afferenz zu groß oder zu klein ist, so bleibt in Z_1 entweder ein +- oder ein --Rest übrig. *Dieser Rest* wird aufwärts – wie wir sehen werden, manchmal bis zu den höchsten Zentren – *weitergeleitet*; wir wollen ihn eine *Meldung* M nennen. Die aufsteigende Meldung kann – aber *muß nicht!* – auf ihrem Wege in Z_2 eine Abzweigung haben und dort noch einmal mit dem absteigenden Kommando K eine Summe bilden. In diesem Falle wird das System von Z_2 abwärts sich selbst im Gleichgewicht halten; es wird zu einem *Regelsystem* im Sinne der Techniker. Nehmen wir etwa an, eine Einwirkung auf den Effektor *EFF* verursache eine *Zunahme* der --Afferenz in Z_1 , so wird jetzt die aufsteigende --Meldung in Z_2 das +-Kommando *verringern*, bis wieder Gleichgewicht herrscht. Und umgekehrt wird eine von außen verursachte *Abnahme* der --Afferenz in Z_1 einen +-Rest ergeben, und dieser wird über Z_2 das +-Kommando *verstärken*. Es wird also

³⁶ Vgl. MAYR 1969, S. 11, Bild 4.

³⁷ Vgl. VON HOLST und MITTELSTAEDT 1950, S. 467, Figur 4.

beide Male die *Efferenz so lange geändert, bis keine Meldung mehr von Z_1 weitergeht*. [...] Wir wollen nun noch jede Änderung der Afferenz, die *nicht* direkte Folge einer Efferenz ist, sondern durch *äußere* Einwirkungen – über Proprio- oder Exterorezeptoren – entsteht, eine *Exafferenz* nennen. Die Exafferenz ist also in unserem Schema der +- oder --Rest in Z_1 , der als Meldung weiterläuft.“³⁸

VON HOLST und MITTELSTAEDT weisen im Zitat darauf hin, dass die Arbeitsweise des Reafferenzprinzips dem eines „Regelssystem[s] im Sinne der Techniker“ gleicht; dementsprechend fällt es leicht, die folgenden Zuordnungen zwischen organischen Komponenten und Prozessen einerseits sowie den funktionalen Rollen im Regelkreis andererseits vorzunehmen: Effektor – Regelstrecke; Reafferenz – Regelgröße; Zentrum Z_1 – Regler; Kommando K von Zentrum Z_2 – Führungsgröße; Efferenz – Stellgröße; äußere Einwirkung am Effektor – Störgröße (siehe Abb. 2B und C).

Indem ein technisches und ein organisches System, die Dampfmaschine und der Reafferenzapparat, mit Hilfe des kybernetischen Schemas des Regelkreises in funktionaler Hinsicht übereinstimmend beschrieben werden können, lässt sich von einer Analogie zwischen beiden Systemen sprechen. VON HOLST hat wiederholt betont, dass die Möglichkeit, die Arbeitsweise des zentralen Nervensystems im Sinne eines Regelkreises zu verstehen, vor allem durch jene Ingenieure und Mathematiker eröffnet worden ist, welche die Regelungstechnik und die Kybernetik entwickelt haben.³⁹ Gemäß dieser geschichtlichen Diagnose bildet das Ingenieurwesen den Quellbereich und die Neurophysiologie den Zielbereich der Analogie zwischen Dampfmaschine und Reafferenzapparat. Ihre erkenntnisfördernde Kraft entstammt dem Import eines Strukturmodells aus einer Disziplin, die vergleichsweise einfache Artefakte real konstruiert, in eine Disziplin, die vergleichsweise komplexe Lebewesen ideell synthetisiert. Das im ersten Forschungsgebiet bereits gewonnene Verständnis von Regelkreisen wird damit in einem noch wenig durchschauten Gebiet eingesetzt, um zu einer ersten ausgearbeiteten und überprüfbaren Modellierung der allgemeinen Mechanismen zu gelangen, welche den dort beobachtbaren Phänomenen zugrunde liegen.

Auf keinen Fall darf die kritische Funktion der kybernetischen Analogie zwischen technischer und organischer Regelung vernachlässigt werden: Sie erlaubt es, gleichzeitig mit der Feststellung von Übereinstimmungen auch die Unterschiede deutlich zu erkennen. So schreiben VON HOLST und MITTELSTAEDT in einer Fußnote zu ihrer Darstellung des Reafferenzprinzips:

„Es sei betont, daß diese ‚negative Rückkopplung‘ (‘Negative feed back’ der angelsächsischen Literatur) *kein notwendiger* Bestandteil des Reafferenzprinzips ist und mit diesem nicht verwechselt werden darf! Das Entscheidende für unser Prinzip ist der Mechanismus,

³⁸ Ebenda, S. 467f.

³⁹ Vgl. VON HOLST 1956 sowie VON HOLST, 1961, S. 22 („Wir Biologen haben allen Grund, den Technikern dankbar zu sein, daß sie uns Denkmethode[n] liefern, die es ermöglichen, systemtheoretische Fragen in der Biologie präzise zu fassen, prüfbare Hypothesen zu entwickeln, Ergebnisse mathematisch zu formulieren und damit endlich zu beweisen, daß auch diese Art der Forschung legitime Wissenschaft ist. Diese Verfahrensweisen sind für uns so wichtig, daß wir sie selbst hätten entwickeln müssen, wenn die Technik sie uns nicht angeboten hätte. Ja, wir waren dabei, sie mühsam zu entwickeln, denn manche Funktionsprinzipien von Regelssystemen sind ja auch in biologischem Bereich erkannt worden, und gewiß nicht immer später, als der Techniker sie für menschliche Zwecke erfand.“) und S. 31 („Wir sahen, daß es den Methoden der Regeltechnik zu danken ist, wenn wir heute biologische Systeme erforschen können, ohne den Boden exakter Wissenschaft zu verlassen.“).

der Reafferenz und Exafferenz unterscheidet. In der Regeltechnik spielt dieser Unterschied keine Rolle.“⁴⁰

In der Neurophysiologie gilt der Regelkreis mit negativer Rückkopplung als eine zwar wichtige Komponente desjenigen Mechanismus, der die Aufgabe hat, zwei Arten von afferenter Information zu differenzieren; dass es sich gerade um einen Regelkreis solcher Art handelt, der als Mittel zu diesem Zweck eingesetzt wird, ist ein bedeutender empirischer Befund, aber kein Ausdruck einer prinzipiellen Notwendigkeit. In der Regelungstechnik hingegen ist das Mittel als solches der Forschungsgegenstand, ohne dass eine spezifische (z. B. neurophysiologische) Aufgabe dieses Interesse rechtfertigen müsste. Während für die Neurophysiologie die organische Aufgabe des übergreifenden Systems die Invariable und das Instrument „Regelkreis mit negativer Rückkopplung“ die Variable darstellt, betrachtet die Regelungstechnik dieses Instrument als Invariable, die für variable Aufgaben – u. a. in Lebewesen – eingesetzt werden kann. So machen sich einerseits die Unterschiede zwischen den disziplinären Kontexten, in denen das Regelkreismodell eingesetzt wird, geltend: hier ingenieurwissenschaftlicher Maschinenbau, dort naturwissenschaftliche Neurophysiologie. Andererseits wird die Wirksamkeit der kybernetischen Analogie bestätigt, die trotz dieser Unterschiede in beiden Kontexten Erkenntnisfortschritte gemäß den dort jeweils geltenden Kriterien erbringen kann.

Nach der Darstellung der Analogie zwischen zwei konkreten Regelkreisen mit negativer Rückkopplung kommt es nunmehr darauf an, die abstrakte Beziehung zwischen dem Quell- und dem Zielbereich dieser Analogie, wie sie durch die kybernetische Struktur des Regelkreises gestiftet wird, genauer zu charakterisieren. Ausgangspunkt hierfür soll der Sachverhalt sein, dass der namensgebende Begriff der Strukturwissenschaften – eben der Begriff der Struktur – selbst letztlich nichts anderes bezeichnet als eine Analogie im Formalen. Dies führt die Definition struktureller Eigenschaften von Relationen, die der Philosoph und Logiker Rudolf CARNAP (1891–1970) gegeben hat, klar vor Augen:

„Eine Relation wird durch ihre Struktur vollständig charakterisiert in bezug auf ihre formalen Eigenschaften, wenn wir hierunter diejenigen ihrer Eigenschaften verstehen, die sich bei bloßer Berücksichtigung der Identität und Verschiedenheit unter den Relationsgliedern ergeben, unter Nichtbeachtung der sonstigen Beschaffenheit der Glieder. An Stelle des hiermit erläuterten, aber nicht scharf abgegrenzten Begriffs der ‚formalen Eigenschaften‘ verwenden wir deshalb lieber den auf das Gleiche zielenden, aber scharf definierbaren Begriff der ‚strukturellen Eigenschaften‘ einer Relation P . Eine Eigenschaft wird dadurch als strukturelle Eigenschaft charakterisiert, daß sie, wenn sie irgend einer Relation R zukommt, auch allen Relationen derselben Struktur zukommt, also allen zu R isomorphen Relationen.“⁴¹

Eine Relation wird strukturell bestimmt, wenn diejenigen ihrer Eigenschaften angegeben werden, die alle Relationen gleicher Struktur ebenfalls besitzen – genauer formuliert: die alle Relationen besitzen, welche zu derselben Struktur gehören, denn eine bestimmte Struktur ist extensional definiert als Menge von isomorphen Relationen. Dass zwei Relationen P und Q isomorph sind, heißt: Wenn zwischen bestimmten Elementen x und y einer Menge A die

40 VON HOLST und MITTELSTAEDT 1950, S. 468, Fußnote 2, zum oben zitierten Satz „Es wird also beide Male die Efferenz so lange geändert, bis keine Meldung mehr von Z_1 weitergeht.“

41 CARNAP 1929, S. 54.

Relation P vorliegt und zwischen bestimmten Elementen z und w einer Menge B die Relation Q , dann existiert eine eindeutige Relation S zwischen den Elementen der Menge A und den Elementen der Menge B , so dass S zwischen x und z sowie y und w vorliegt. Die Relation S ist genau dann eindeutig, wenn sie jedem x genau ein z , jedem z genau ein x , jedem y genau ein w und jedem w genau ein y zuordnet.⁴² Die mittels der Relation S angebbare Struktur der Relationen P und Q sieht von all denjenigen Eigenschaften der Elemente x , y , z und w ab, die über ihre Eigenschaft, Relata von P bzw. Q zu sein, hinausgehen – dies meint CARNAP, wenn er von „bloßer Berücksichtigung der Identität und Verschiedenheit unter den Relationsgliedern“ spricht.

Konkrete Regelkreise können als Relationen zwischen mindestens sechs Relata (Regelstrecke, Regelgröße, Störgrößen, Führungsgröße, Regler und Stellgröße) betrachtet werden, z. B. die Relation D , die zwischen den Komponenten einer Dampfmaschine mit Wattschen Fliehkraftregler besteht (siehe Abb. 2A), und die Relation O , die zwischen den Komponenten eines zentralnervösen Apparates mit Reafferenz besteht (siehe Abb. 2C). Die Kybernetik führt nun eine Isomorphie K ein, so dass – unabhängig sowohl von den stofflichen Eigenschaften der Relata von D und O als auch von etwaigen weiteren Relationen, in welche diese Relata eingebunden sein mögen – die strukturelle Übereinstimmung zwischen den Relationen D und O erscheint (siehe Abb. 2B). Der abstrakte kybernetische Regelkreis – die Regelkreisstruktur – „jenseits“ der konkreten Regelkreise der Dampfmaschine und des Reafferenzapparates ist durch die formale Analogie angegeben: also durch die eindeutige Relation K zwischen den Elementen der Dampfmaschine (dargestellt als Relata der Relation D) und den Elementen des Reafferenzapparates (dargestellt als Relata der Relation O). Extensional betrachtet, ist die hiermit angegebene Struktur die Klasse aller zueinander isomorphen konkreten Regelkreise.

Es stellte eine gefährliche Verkürzung kybernetischer Analogien dar, sie auf einen ihrer Bestandteile zu reduzieren. Wer die beiden konkreten Regelkreise als die wahren Gegenstände der Kybernetik betrachtete – die kybernetische Analogie also auf ihre Relata einschränkte –, der könnte aus den anfangs dieses Abschnitts genannten Deutungsmöglichkeiten der Kybernetik entweder „convenient common language for functionally related problems“ oder „set of analogies“ wählen. Die Entscheidung zwischen beiden Charakterisierungen wäre abhängig von der relativen Gewichtung des Quell- und Zielbereichs der Analogie: Der Ingenieur betrachtete die Kybernetik vermutlich eher als geeignetes Mittel für die Kommunikation mit dem Biologen, und der Biologe schätzte sie als heuristische Menge von Analogien, die technologisch inspiriert sind. Wer hingegen nur die Isomorphie zwischen den konkreten Regelkreisen als eigentlichen Gegenstand der Kybernetik begriff, der wäre auf dem Wege zu einer Deutung der Kybernetik als „common basis for thought“ und baute sie je nach philosophischer Radikalität bis zu einer transzendentalphilosophischen oder metaphysischen Auffassung aus.⁴³ Die Logik kybernetischer Analogien versteht aber nur derjenige angemessen, der sowohl die konkreten Regelkreise als auch die abstrakte Isomorphie des Regelkreises gleichberechtigt in sie integriert. Dann erst wird die Kybernetik als Strukturwissenschaft ernst genommen: als *program* einer *unifying science*, die sich zwischen Ingenieurwesen und Metaphysik hindurch verwirklicht.

42 Vgl. RUSSELL 1920, S. 52ff. (zitiert nach RUSSELL 1993).

43 Vgl. VON WEIZSÄCKER 1971 bzw. GÜNTHER 1980.

Zum strukturwissenschaftlichen Programm des Analogisierens

Eine Strukturwissenschaft wie die Kybernetik beschäftigt sich mit bestimmten Möglichkeiten, zwischen den Forschungsgegenständen ganz unterschiedlicher Disziplinen (wie dem Maschinenbau und der Neurophysiologie) schlüssige Analogien herzustellen. Diese Analogien beruhen auf Isomorphien zwischen Beschreibungen (zumindest von Teilen) der jeweiligen Gegenstände als Relationssystemen und damit auf der Zugehörigkeit der beschriebenen Relationen zur selben Struktur. Im analysierten Beispiel handelte es sich hierbei um die Dampfmaschine und den Reafferenzapparat, ihre Beschreibung mittels der Relationen D und R sowie der Isomorphie K zwischen D und R . Die innere Stimmigkeit strukturwissenschaftlicher Analogien soll durch ihre mathematische Darstellung gewährleistet werden – d. h. durch starke Methoden der Formalisierung. Zugleich regen die Strukturwissenschaften diejenigen Disziplinen, die als Quell- und Zielbereiche ihrer Analogien fungieren, dazu an, die vorgeschlagenen Analogien in ihrer jeweiligen einzelwissenschaftlichen Forschung zu bewähren. Wenn es einer Strukturwissenschaft gelingt, in diesen beiden Hinsichten erfolgreich zu sein, wird ihr eigenes Forschungsfeld – der durch ihre Strukturbegriffe konstituierte Raum möglicher Analogien zwischen den Gegenständen anderer Disziplinen – stabilisiert und damit als ein Medium, das analogische Repräsentationsformen für fachspezifische Probleme bereithält, einsetzbar. „Stabilisierung“ heißt, dass der strukturwissenschaftliche Analogieraum zum autonomen Quellbereich für eine unbestimmte Menge von Disziplinen als Zielbereichen geworden ist. Dann hat sich eine Strukturwissenschaft wie die Kybernetik von ihren Herkunftsdisziplinen wie dem Maschinenbau und der Biologie abgekoppelt; sie vermittelt nicht mehr nur zwischen verschiedenen Disziplinen als Quell- und Zielbereichen kybernetischer Analogien, sondern die ihnen zugrundeliegenden Strukturen (wie der Regelkreis mit negativer Rückkopplung) wirken selbst – unabhängig von bestimmten Musteranwendungen, aber auf Grund ihres vorhergehenden Erfolges bei der interdisziplinären Kooperation – als formaler Quellbereich von Analogien. Dann werden die Isomorphien, die Analogien zwischen konkreten Gegenständen formal begründen, als Relata zu konkreten Gegenständen betrachtet. Dieser Vorgang vergegenständlicht eine Struktur – eine Isomorphie zwischen empirischen Gegenständen, die einer Analogie zugrunde liegt – zum formalen Modell eines empirischen Gegenstandes, das seine Geltung aus ebendieser Isomorphie – der Struktur – bezieht. Der Grund der Analogie wird zu einem ihrer Analoga transformiert und erlaubt gerade hierdurch, sie als eigenständiges Instrument strukturwissenschaftlicher Forschung von jedem konkreten Anwendungskontext zu lösen.

Die Analyse der Logik kybernetischer Analogien mündet in der Beschreibung von Strukturwissenschaften als autonomen Agenturen der Integration des Wissenschaftssystems, wie sie bereits im ersten Abschnitt dieses Aufsatzes skizziert worden ist. Ihre Vorgehensweise lässt sich an Hand der folgenden vier Merkmale allgemein charakterisieren:

- *Gegenstandstheoretisch* bestimmen Strukturwissenschaften ihre Objekte auf formale Weise als relationale Ordnungen zwischen inhaltlich nicht näher bestimmten Elementen. Solche abstrakten Beziehungssysteme können, ganz im Sinne der modernen Mathematik, als „Strukturen“ bezeichnet werden.⁴⁴
- *Forschungsprogrammatisch* zielen Strukturwissenschaften im Unterschied zur Mathematik darauf ab, ihre Strukturbeschreibungen auf eine unbestimmte, aber möglichst große

44 Zum mathematischen Strukturbegriff siehe BOURBAKI 1948.

Vielfalt von Erfahrungsgegenständen anzuwenden. Ihre gegenständliche Abstraktheit ist somit genuin transdisziplinär motiviert.⁴⁵

- *Wissenschaftssystematisch* bilden Strukturwissenschaften Brücken zwischen den Formal-, Erfahrungs- und Technikwissenschaften. Ihre transdisziplinäre Motivation setzt sich in interdisziplinäre Kooperationen der verschiedensten Sparten des arbeitsteiligen Wissenschaftssystems um.⁴⁶
- *Erkenntnisregulativ* orientieren Strukturwissenschaften die von ihnen angeregten interdisziplinären Kooperationen an generellen Aspekten wissenschaftlicher Forschung. Hierzu entwerfen sie auch das Bild einer durch den Einsatz ihrer Analogien generierten Einheit der Wissenschaft als Grundlage einer von allen Disziplinen geteilten autonomen Kultur von Wissenschaftlichkeit überhaupt.⁴⁷

Die strukturwissenschaftliche Haltung zum ausdifferenzierten Wissenschaftssystem fördert eine generelle Skepsis gegenüber allen Versuchen, es von einer ausgezeichneten Instanz aus so organisieren zu wollen, dass den einzelnen Disziplinen in methodischer oder inhaltlicher Hinsicht unüberschreitbare Grenzen ihrer Forschung zugewiesen würden. Dies käme – um die ökonomische Analogie vom Anfang dieses Aufsatzes wieder aufzugreifen – der Einführung eines umfassenden Ordnungsrahmens gleich, der (nur ein wenig zugespitzt) „wissenschaftsphilosophischer Merkantilismus“ genannt werden könnte. Damit ist die Einsetzung einer die gesamte Forschungslandschaft säuberlich untergliedernden Regulierungsbehörde gemeint, die jede wissenschaftliche Aktivität einer in Gegenstandsbereich und Methodik festgelegten Disziplin unterordnet, wobei der betreffenden Disziplin umgekehrt ein Monopol über ihre jeweilige Erkenntnisregion zuerkannt wird. Einen solchen Merkantilismus zu akzeptieren, wäre für alle Forschungsprogramme langfristig nachteilig, weil er dazu führte, Ressourcen zu verwenden (genauer: zu verschwenden), um am monopolistischen Anspruch einer Disziplin auf eine bestimmte Erkenntnisregion beteiligt zu werden. Dieser Tendenz arbeiten die Strukturwissenschaften mit ihren Analogien entgegen. Sie funktionieren als Agenturen gegen die Etablierung einer starren Architektonik der Wissenschaft, gerade indem sie für die Reintegration von Disziplinen im Zeitalter der Ausdifferenzierung der Wissenschaft arbeiten. Die Strukturwissenschaften bilden keine neue Spitze oder Basis einer Wissenschaftsarchitektur, sondern arbeiten – global verfügbar und lokal wirksam – mitten in der Forschungslandschaft.

Literatur

- ARTMANN, Stefan: Historische Epistemologie der Strukturwissenschaften. München: Fink 2010
- BALSIGER, Philipp W.: Transdisziplinarität. Systematisch-vergleichende Untersuchung disziplinenübergreifender Wissenschaftspraxis. München: Fink 2005
- BOURBAKI, Nicolas: L'Architecture des mathématiques. In: LE LIONNAIS, François (Éd.): Les grands courants de la pensée mathématique; pp. 35–47. Paris: Blanchard 1948
- BUTLER, Eamonn: Adam Smith – a Primer. With a Commentary by Craig SMITH. London: The Institute of Economic Affairs 2007
- CARNAP, Rudolf: Abriß der Logistik. Mit besonderer Berücksichtigung der Relationstheorie und ihrer Anwendungen. Wien: Springer 1929
- CUBE, Felix von: Technik des Lebendigen. Sinn und Zukunft der Kybernetik. Stuttgart: DVA 1970

45 Zur Diskussion um Transdisziplinarität siehe BALSIGER 2005.

46 Zur Brückenfunktion der Strukturwissenschaften siehe KÜPPERS 2000.

47 Zum strukturwissenschaftlichen Bild der Einheit der Wissenschaft siehe ARTMANN 2010.

- FLECHTNER, Hans-Joachim: Grundbegriffe der Kybernetik. Eine Einführung. Fünfte Auflage. Stuttgart: Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft 1970
- GEHLEN, Arnold: Über die gegenwärtigen Kulturverhältnisse. *Merkur* 100/6, 520–531 (1956) (zitiert nach der Ausgabe REHBERG (Hrsg.) 2004, S. 285–297)
- GEHLEN, Arnold: Die Seele im technischen Zeitalter. Sozialpsychologische Untersuchungen in der industriellen Gesellschaft. Reinbek bei Hamburg: Rowohlt 1957 (zitiert nach der Ausgabe REHBERG (Hrsg.) 2004, S. 1–137)
- GEHLEN, Arnold: Bestimmung des gegenwärtigen Kulturzustandes. *Wissenschaft und Weltbild* 2, 81–91 (1958) (zitiert nach der Ausgabe REHBERG (Hrsg.) 2004, S. 394–409)
- GEHLEN, Arnold: Anthropologische Ansicht der Technik. In: FREYER, Hans, PAPAŁEKAS, Johannes Chr., und WEIPPERT, Georg (Hrsg.): Technik im technischen Zeitalter. Stellungnahmen zur geschichtlichen Situation. S. 101–118. Düsseldorf: Schilling 1965 (zitiert nach der Ausgabe REHBERG (Hrsg.) 2004, S. 189–203)
- GÜNTHER, Gotthard: Beiträge zur Grundlegung einer operationsfähigen Dialektik, Band III. Hamburg: Meiner 1980
- HAGNER, Michael, und HÖRL, Erich (Hrsg.): Die Transformation des Humanen. Beiträge zur Kulturgeschichte der Kybernetik. Frankfurt (Main): Suhrkamp 2008
- HAWKINS, Jeff: On Intelligence. New York: Henry Holt 2005
- HAYEK, Friedrich August von: The Road to Serfdom. Chicago: University of Chicago Press 1944 (zitiert nach der Ausgabe CALDWELL, Bruce (Ed.): The Collected Works of F. A. Hayek, Vol. II: The Road to Serfdom. Text and Documents. The Definitive Edition. Chicago: University of Chicago Press 2007)
- HENTSCHEL, Klaus: Zur Bedeutung von Analogien in den Naturwissenschaften. *Scientia Poetica* 11, 241–275 (2007)
- HESSE, Mary B.: Models and Analogies in Science. Second Edition. Notre Dame: University of Notre Dame Press 1970
- HOLST, Erich von: Zur Einführung. In: MITTELSTAEDT, Horst (Hrsg.): Regelungsvorgänge in der Biologie. S. 7–8. München: Oldenbourg, 1956
- HOLST, Erich von: Biologische Regelung. Eine kritische Betrachtung. In: MITTELSTAEDT, Horst (Hrsg.): Regelungsvorgänge in lebenden Wesen. Nachrichtenverarbeitung, Steuerung und Regelung in Organismen. S. 21–31. München: Oldenbourg 1961
- HOLST, Erich von, und MITTELSTAEDT, Horst: Das Reafferenzprinzip. (Wechselwirkungen zwischen Zentralnervensystem und Peripherie.) *Naturwissenschaften* 37, 464–476 (1950)
- ITKONEN, Esa: Analogy as Structure and Process. Approaches in Linguistics, Cognitive Psychology and Philosophy of Science. Amsterdam, Philadelphia: Benjamins 2005
- KLAHR, David, and SIMON, Herbert A.: Studies of scientific discovery. Complementary approaches and convergent findings. *Psychological Bulletin* 125, 524–543 (1999)
- KLAUS, Georg: Kybernetik und Gesellschaft. Berlin: Deutscher Verlag der Wissenschaften 1964
- KÜPPERS, Bernd-Olaf: Die Strukturwissenschaften als Bindeglied zwischen Natur- und Geisteswissenschaften. In: KÜPPERS, Bernd-Olaf (Hrsg.): Die Einheit der Wirklichkeit. Zum Wissenschaftsverständnis der Gegenwart. S. 89–105. München: Fink 2000
- LANGLEY, Pat, SIMON, Herbert A., BRADSHAW, Gary L., and ZYTKOW, Jan M.: Scientific Discovery. Computational Explorations of the Creative Process. Cambridge, Mass.: MIT Press 1987
- MATARIC, Maja J.: The Robotics Primer. Cambridge, Mass.: MIT Press 2007
- MATSCHOSS, Conrad: Die Entwicklung der Dampfmaschine. Eine Geschichte der ortsfesten Dampfmaschine und der Lokomobile, der Schiffsmaschine und Lokomotive. Berlin: Springer 1908
- MAYR, Otto: Zur Frühgeschichte der technischen Regelungen. München, Wien: Oldenbourg 1969
- REHBERG, Karl-Siegbert (Hrsg.): Arnold Gehlen. Gesamtausgabe, Bd. 6: Die Seele im technischen Zeitalter und andere sozialpsychologische, soziologische und kulturanalytische Schriften. Frankfurt (Main): Klostermann 2004
- ROSENBLITH, Walter A.: Norbert Wiener. In memoriam. *Kybernetik* 2, 195–196 (1963/65)
- RUSSELL, Bertrand: Introduction to Mathematical Philosophy. Second Edition. London: Allen and Unwin 1920 (zitiert nach RUSSELL, Bertrand: Introduction to Mathematical Philosophy. Republication of Second Edition. Mineola, NY: Dover 1993)
- SALMON, Wesley C.: Logik. Übersetzt von Joachim BUHL. Stuttgart: Reclam 2001
- SIMON, Herbert A., LANGLEY, Patrick W., and BRADSHAW, Gary L.: Scientific discovery as problem solving. *Synthese* 47, 1–27 (1981)
- SMITH, Adam: An Inquiry into the Nature and Causes of the Wealth of Nations. London: Strahan and Cadell 1776 (zitiert nach der Ausgabe CANNAN, Edwin (Hrsg.): Adam Smith. An Inquiry into the Nature and Causes of the Wealth of Nations. Two Volumes in One. With a New Preface by George J. STIGLER. Chicago: University of Chicago Press 1976)
- STICHWEH, Rudolf: Zur Entstehung des modernen Systems wissenschaftlicher Disziplinen. Physik in Deutschland 1740–1890. Frankfurt (Main): Suhrkamp 1984

STICHWEH, Rudolf: Wissenschaft, Universität, Professionen. Soziologische Analysen. Frankfurt (Main): Suhrkamp 1994

THAGARD, Paul: Mental Leaps. Analogy in Creative Thought. Cambridge, Mass.: MIT Press 1995

WEIZSÄCKER, Carl Friedrich VON: Die Einheit der Natur. Studien. München, Wien: Hanser 1971

WIENER, Norbert: Cybernetics, or Control and Communication in the Animal and the Machine. Second Edition. Cambridge, Mass: MIT Press 1961

PD Dr. Stefan ARTMANN
Frege Centre for Structural Sciences
Friedrich-Schiller-Universität
Zwätzengasse 4
07737 Jena
Bundesrepublik Deutschland
Tel.: 49 3641 944106
Fax: 49 3641 944108
E-Mail: stefan.artmann@uni-jena.de

Altern in Deutschland

Die Deutsche Akademie der Naturforscher Leopoldina und die Deutsche Akademie für Technikwissenschaften acatech gründeten im Mai 2005 eine gemeinsame interdisziplinäre Akademiengruppe „Altern in Deutschland“, die auf der Grundlage der besten verfügbaren wissenschaftlichen Evidenz öffentliche Empfehlungen erarbeitete, um die Chancen der im letzten Jahrhundert erheblich gestiegenen Lebenserwartung – die „gewonnenen Jahre“ – vernünftig zu nutzen und mit den Herausforderungen des demographischen Alterns klug umzugehen.

Nova Acta Leopoldina N. F.

Bd. 99, Nr. 363 – Altern in Deutschland Band 1

Bilder des Alterns im Wandel

Herausgegeben von Josef EHMER und Otfried HÖFFE unter Mitarbeit von Dirk BRANTL und Werner LAUSECKER

(2009, 244 Seiten, 32 Abbildungen, 1 Tabelle, 24,00 Euro, ISBN: 978-3-8047-2542-3)

Bd. 100, Nr. 364 – Altern in Deutschland Band 2

Altern, Bildung und lebenslanges Lernen

Herausgegeben von Ursula M. STAUDINGER und Heike HEIDEMEIER

(2009, 279 Seiten, 35 Abbildungen, 9 Tabellen, 24,00 Euro, ISBN: 978-3-8047-2543-0)

Bd. 101, Nr. 365 – Altern in Deutschland Band 3

Altern, Arbeit und Betrieb

Herausgegeben von Uschi BACKES-GELLNER und Stephan VEEN

(2009, 157 Seiten, 29 Abbildungen, 20 Tabellen, 24,00 Euro, ISBN: 978-3-8047-2544-7)

Bd. 102, Nr. 366 – Altern in Deutschland Band 4

Produktivität in alternden Gesellschaften

Herausgegeben von Axel BÖRSCH-SUPAN, Marcel ERLINGHAGEN, Karsten HANK, Hendrik JÜRGES und Gert G. WAGNER

(2009, 157 Seiten, 28 Abbildungen, 2 Tabellen, 24,00 Euro, ISBN: 978-3-8047-2545-4)

Bd. 103, Nr. 367 – Altern in Deutschland Band 5

Altern in Gemeinde und Region

Stephan BEETZ, Bernhard MÜLLER, Klaus J. BECKMANN und Reinhard F. HÜTTL

(2009, 210 Seiten, 10 Abbildungen, 11 Tabellen, 24,00 Euro, ISBN: 978-3-8047-2546-1)

Bd. 104, Nr. 368 – Altern in Deutschland Band 6 (in Vorbereitung)

Altern und Technik

Herausgegeben von Ulman LINDENBERGER, Jürgen NEHMER, Elisabeth STEINHAGEN-THIESSEN, Julia DELIUS und Michael SCHELLENBACH

Bd. 105, Nr. 369 – Altern in Deutschland Band 7

Altern und Gesundheit

Herausgegeben von Kurt KOCHSIEK

(2009, 302 Seiten, 46 Abbildungen, 18 Tabellen, 24,00 Euro, ISBN: 978-3-8047-2548-5)

Bd. 106, Nr. 370 – Altern in Deutschland Band 8

Altern: Familie, Zivilgesellschaft, Politik

Herausgegeben von Jürgen KOCKA, Martin KOHLI und Wolfgang STRECK unter Mitarbeit von Kai BRAUER und Anna K. SKARPELIS

(2009, 343 Seiten, 44 Abbildungen, 9 Tabellen, 24,00 Euro, ISBN: 978-3-8047-2549-2)

Bd. 107, Nr. 371 (2009) – Altern in Deutschland Band 9

Gewonnene Jahre. Empfehlungen der Akademiengruppe Altern in Deutschland

(2009, 102 Seiten, 1 Abbildung, 12,00 Euro, ISBN: 978-3-8047-2550-8)

Revolution als „Fieber“: Variationen eines Vergleichs¹

Werner Friedrich KÜMMEL ML, Mainz

Mit 1 Abbildung

Zusammenfassung

Während der Französischen Revolution kam „Fieber“ als Metapher auf, um einzelne Merkmale und Situationen revolutionären Geschehens negativ zu kennzeichnen. Vergleichspunkte waren die schnelle Ausbreitung durch Ansteckung wie bei einer Seuche, später auch typische Symptome von Fieberkranken. 1938 wählte der amerikanische Historiker Crane BRINTON „Fieber“ als *conceptual scheme*, um den ähnlichen Ablauf der vier wichtigsten Revolutionen seit dem 17. Jahrhundert zu illustrieren, aber ohne negative Konnotation. Vergleichspunkt war nun der regelhafte Ablauf von Fieber. BRINTONS Fieber-Schema, das viel kritisiert oder sogar völlig ignoriert wurde, erweist sich, verglichen mit den punktuell ausgerichteten Fieber-Metaphern, als dem Gegenstand nicht angemessen.

Abstract

During the French Revolution, the word “fever” was used metaphorically to signify negatively individual traits and situations in revolutionary occurrences. The comparative points of reference were rapid epidemic contagiousness and, later, the typical medical symptoms of a feverish condition. In 1938 the American historian Crane BRINTON chose “fever” as a *conceptual scheme* to illustrate the similar courses followed by the four most important revolutions since the 17th century, without, however, attaching any negative connotation. The comparative points of reference were now the regular course of fever. Compared to specifically directed fever metaphors, BRINTON’s much faulted or even entirely ignored fever scheme is demonstrated to be much less suitable.

Die Französische Revolution erschien den Zeitgenossen und ebenso späteren Betrachtern als ein Geschehen, das noch nie dagewesen war und über alle bisherige Erfahrung hinausging – nicht allein wegen des Ausmaßes der politisch-sozialen Umwälzungen und wegen der Schnelligkeit, mit der sie sich vollzogen und von Frankreich aus auf andere Länder übergriffen, sondern auch, weil inmitten aller Zufälligkeiten zugleich etwas historisch völlig Neues gesehen wurde, das unvorhersehbar und nicht mehr rückgängig zu machen war.² Immanuel KANT (1724–1804) urteilt 1798 in seiner Schrift *Der Streit der Fakultäten*, ausgehend von „den Aspekten und Vorzeichen unserer Tage“, im Blick auf die Zukunft folgendermaßen: „Ein solches Phänomen in der Menschengeschichte vergißt sich nicht mehr, weil es eine Anlage und ein Vermögen in der menschlichen Natur zum Bessern aufgedeckt hat, dergleichen

1 Für die Anregung zum vorliegenden Beitrag danke ich Klaus HENTSCHEL (Stuttgart), für Quellen- und Literaturhinweise Herrn Dr. Franz DUMONT (Mainz) und Herrn PD Dr. Michael NIEDERMEIER (Berlin, Goethe-Wörterbuch).

2 Zum Folgenden vgl. BERDING 1978.

kein Politiker aus dem bisherigen Laufe der Dinge herausgeklügelt hätte [...]“.³ Später, nach Abschluss der Revolutionsepoche, beschreibt Georg Wilhelm Friedrich HEGEL (1770–1831) in seinen *Vorlesungen über die Philosophie der Geschichte* das grundsätzlich Neue, das die Französische Revolution hervorgebracht hatte, in einem kühnen Bild: „Solange die Sonne am Firmamente steht und die Planeten um sie herumkreisen, war das nicht gesehen worden, daß der Mensch sich auf den Kopf, auf den Gedanken stellt und die Wirklichkeit nach diesem erbaut.“⁴ Verfechter und erst recht Gegner der Französischen Revolution griffen bei dem Bemühen, dieses singuläre Phänomen zu charakterisieren, immer wieder zu bildhaften Vergleichen. „Die wesentlichen Metaphern, in welchen die Revolution nicht als Menschenwerk, sondern als unwiderstehlicher Prozess beschrieben und gedeutet wird, also die Metapher des reißenden Stromes, des Sturmwindes, des anschwellenden Flusses, stammen alle noch von den Handelnden selbst.“⁵

Versucht man einen Überblick über die Metaphern für die Französische Revolution und für Revolution im allgemeinen zu gewinnen, so bietet das materialreiche Werk von Alexander DEMANDT über *Metaphern für Geschichte* eine Fülle von Belegen. Sie beziehen sich, wie angedeutet, hauptsächlich auf übermächtige, unausweichliche Naturabläufe.⁶ Eine Metapher fehlt allerdings bei DEMANDT: Revolution als „Fieber“. Sie kam während der Französischen Revolution schon früh auf, wurde dann auch auf andere Revolutionen angewendet und im 20. Jahrhundert sogar zu einer Modellvorstellung für den Ablauf der vier wichtigsten neuzeitlichen Revolutionen erhoben. Wenn wir im Folgenden dieser Metapher nachgehen, die bisher, wenn überhaupt, nur wenig beachtet wurde,⁷ so ist vorweg nach dem Begriffsinhalt von „Fieber“ zu fragen. Bis in das 19. Jahrhundert wurde unter „Fieber“ nicht wie heute lediglich eine erhöhte Körpertemperatur als Begleiterscheinung verschiedenster Krankheiten verstanden, sondern „Fieber“ war – zumal für medizinische Laien – in erster Linie eine *selbständige*, durch Ansteckung sich verbreitende Krankheit mit dem Hauptmerkmal Fieber, also eine Seuche. Es wurden viele Arten von „Fieber“ unterschieden und der Begriff daher oft im Plural verwendet. Im Laufe des 19. Jahrhunderts vollzog sich eine Umwertung: „Fieber“ verlor seinen Rang als selbständige epidemische Krankheit, es wurde heruntergestuft zu einem bloßen Krankheitssymptom, das auch bei vielen anderen, nicht epidemischen Erkrankungen auftrat.⁸ Diese Entwicklung in der medizinischen Wissenschaft, die im Sprachgebrauch der Laien naturgemäß erst verzögert rezipiert wurde, spielte auch eine Rolle für unser Thema, wie wir sehen werden.

Die vorliegende Skizze, die sich nicht auf die Historiographie im engeren Sinne beschränkt, sondern auch andere Textsorten einbezieht, konzentriert sich im ersten Teil exemplarisch auf den deutschen Sprachraum – zum einen, weil sich die Fieber-Metapher nicht zufällig fast nur bei Kritikern und Gegnern der Revolution findet, zum andern, weil die Französische Revolution von Anfang an, wie Christoph Martin WIELAND (1733–1813) schon im Januar 1793 in seinen *Betrachtungen über die gegenwärtige Lage des Vaterlandes* registrierte, „eine Aufmerksamkeit und Theilnehmung erregte, die vielleicht in keinem andern Lande von Europa

3 KANT 1981, S. 361.

4 HEGEL 1970, S. 529.

5 ARENDT 1968, S. 64.

6 Vgl. DEMANDT 1978, Register S. 516.

7 Auf einige wichtige Beispiele verweist das Register in BRUNNER et al. 1972–1997, einige andere bietet JÄGER 1971 in einem „Zusatz“, S. 46f.

8 Vgl. hierzu FELDHUSEN 1999.

so lebhaft, so warm und so allgemein gewesen ist als in Deutschland.“⁹ Der zweite Teil wird dann dem Versuch gewidmet sein, im 20. Jahrhundert Fieber als Schema für den Ablauf von Revolutionen in die vergleichende Revolutionsforschung und -historiographie einzuführen. Dieser Versuch wurde in den USA in einem Umfeld unternommen, das durch enge Kontakte zwischen Geschichtswissenschaft und Sozialwissenschaft gekennzeichnet war.

1. Medizinische Metaphern

Medizinische Metaphern für geschichtliche Ereignisse oder Abläufe haben eine weit zurückreichende Tradition, die hier einleitend kurz umrissen werden soll.¹⁰ Schon der griechische Historiker HERODOT (5. Jh. v. Chr.) nennt Bürgerkrieg ein „Kranksein“.¹¹ THUKYDIDES (um 460–um 400 v. Chr.) lässt den NIKIAS vom verantwortungsbewussten Politiker als einem „Arzt“ sprechen.¹² Der lateinische Kirchenvater LACTANTIUS (um 300 n. Chr.), der mittelalterliche Chronist OTTO VON FREISING (1111/15–1158) und später Johann Gottfried HERDER (1744–1803) beschreiben den Untergang des römischen Reiches als „tödliche Krankheit“.¹³ GOETHE vergleicht politische Wechselfälle mit der Unruhe eines chronisch Kranken, und für JEAN PAUL (1763–1825) ähneln „die Völker mit aller ihrer Weltgeschichte [...] den Epileptischen, welche, so oft sie ihren Zufall [= Anfall] schon erlitten haben, doch niemals vorhersehen, wenn er sie wieder hinwirft“.¹⁴ Der englische Publizist Edmund BURKE (1729–1797) erklärt es in seinen berühmten, Ende 1790 veröffentlichten *Reflections on the Revolution in France* für unerlässlich, sich in England mit den „französischen Angelegenheiten“ zu befassen,

„wenigstens insofern, als wir die neue Arznei oder die neue Pest von uns abzuwehren haben. Wenn es eine Arznei ist, so brauchen wir sie nicht, und darum verwerfen wir sie, weil wir die schlimmen Folgen aller unnützen Arzneien kennen. Wenn es eine Pest ist, so ist sie von so schrecklicher Art, daß die strengste Quarantäne kaum streng genug sein kann, uns dagegen zu schützen.“¹⁵

Alexis DE TOCQUEVILLE (1805–1859), auch er ein Revolutionskritiker, spricht 1858 rückblickend in einem Brief von „dieser Krankheit der französischen Revolution“ und von einem „Virus neuer und unbekannter Art“, das sie verursacht habe.¹⁶ Das Vorgehen bei der Abfassung seines Buches *L'Ancien Régime et la Révolution* (1856) beschreibt er ebenfalls in einem medizinischen Bild: „Ich wollte nicht allein erkennen, welchem Übel der Kranke erlegen war, sondern auch, wie er sich vom Tode hätte erretten können. Ich machte es wie jene Ärzte, die in jedem abgestorbenen Organ die Gesetze des Lebens zu entdecken suchen.“¹⁷

Während und nach der Französischen Revolution waren deren Gegner auch in Deutschland und Österreich „erfinderisch in medizinisch-diagnostischen Begriffen für Revolution und

9 WIELAND 1797, S. 369.

10 Vgl. dazu die knappe Übersicht bei DEMANDT 1978, S. 25–27.

11 V, 28.

12 VI, 14.

13 DEMANDT 1978, S. 80.

14 Zitiert ebenda, S. 28 und 120.

15 BURKE 1967, S. 149.

16 TOCQUEVILLE 1866, S. 402f. (am 16. 5. 1858 an Louis DE KERGORLAY).

17 TOCQUEVILLE o. J., S. 7.

Revolutionäre“. So ist z. B. in der von Christian Friedrich Daniel SCHUBART (1739–1791) herausgegebenen *Vaterlandschronik* 1789 die Rede von „Freiheitstobsucht“,¹⁸ Leopold Alois HOFFMANN (1760–1806) spricht 1792 von der „Tollwuth der Aufklärungsbarbaren“, Ernst August Anton VON GÖCHHAUSEN (1740–1824) verurteilt 1794 die „Epidemie der Aufklärungswuth, die ganz Europa verheert“, und Friedrich GENTZ (1764–1832), der publizistische Anführer der deutschsprachigen Revolutionsgegner, verknüpft im selben Jahr zwei eigentlich unvereinbare medizinische Bezeichnungen: „Die Schwärmerey von 1789 war nur der Embryo des ausgewachsenen Wahnsinns von 1792.“¹⁹

Zu den medizinischen Metaphern für Geschichte gehört auch der Begriff der „Krise“. In der antiken Medizin, deren Tradition noch bis zur Mitte des 19. Jahrhunderts fortwirkte, bedeutet *krisis* im Sinne von Entscheidung denjenigen Zeitpunkt im Verlauf einer Krankheit, zu dem eine Wendung zum Besseren oder Schlechteren eintritt. Im deutschen Sprachraum wurde dieser Begriff, von Ausnahmen abgesehen, zumindest auf der lexikalischen Ebene „erst nach der Französischen Revolution und auch dann nur zögernd als politischer, sozialer und zuletzt ökonomischer Begriff verwendet“.²⁰ GOETHE ist sich der medizinischen Herkunft des Begriffs bewusst, wenn er in *Wilhelm Meisters Lehrjahre* im Hinblick auf Zeiten des Übergangs, allerdings bezogen auf den einzelnen Menschen, nicht die Geschichte, die Frage stellt: „Alle Übergänge sind Krisen, und ist die Krise nicht eine Krankheit?“²¹ Jacob BURCKHARDT (1818–1897), der in seinen Vorlesungen *Über das Studium der Geschichte*, die später als *Weltgeschichtliche Betrachtungen* herausgegeben wurden, ein berühmtes Kapitel den „geschichtlichen Krisen“ widmete, versteht unter „Krisen“ im Unterschied zu den „allmählichen und dauernden Einwirkungen und Verflechtungen der großen Weltpotenzen auf- und miteinander“ die „beschleunigten Prozesse“ und interpretiert den Krisen-Begriff ebenfalls noch von seinem medizinischen Ursprung her: „Die Krisen und selbst ihre Fanatismen sind [...] als echte Zeichen des Lebens zu betrachten, die Krisis selbst als eine Aushilfe [= Selbsthilfe] der Natur, gleich einem Fieber [...]“.²²

2. Die Fieber-Metapher für Revolutionen

Wenn wir uns nun der Fieber-Metapher für Revolution im Einzelnen zuwenden und sie ab 1789 verfolgen, so soll damit natürlich nicht ausgeschlossen werden, dass sie auch schon früher auf soziale Unruhen, Aufstände, Glaubenskämpfe usw. angewendet wurde. Doch ist unverkennbar, dass sie vom Beginn der Französischen Revolution an im deutschen Sprachgebiet gehäuft auftritt, bezogen teils auf lokale oder regionale Unruhen im Gefolge der französischen Ereignisse, teils auf das revolutionäre Geschehen als ganzes. Ein frühes Beispiel, allerdings noch verknüpft mit dem Begriff „Rebellion“, nicht der Revolution, findet sich bei Rudolph Zacharias BECKER (1752–1822). Er war Herausgeber der *Deutschen Zeitung* und Autor des *Noth- und Hülfsbüchleins für Bauersleute*, das ab 1788 mit nicht weniger als 400 000 Exemplaren weite Verbreitung fand.²³ BECKER stand den Zielen der Französischen Revolution durchaus mit einiger Sympathie gegenüber, warnte aber schon früh vor unüberlegter Nachah-

18 JÄGER 1971, S. 46.

19 Zitiert bei WEISS 1997, S. 229, 174, 600.

20 KOSELLECK in BRUNNER et al., Bd. 3, S. 621 (1982).

21 GOETHE, Abt. I, Bd. 23, S. 142 (1901).

22 BURCKHARDT 2000, S. 463 und 484; wörtlich gleichlautend im Manuskript der Vorlesungen (vgl. S. 241 und 261).

23 Vgl. hierzu SIEGERT 1978.

mung in Deutschland, weil er einen friedlichen Fortschritt propagierte. Als im August 1790 Bauernunruhen in Sachsen ausgebrochen waren, die auf das französische Vorbild zurückgingen und die stärksten in Deutschland waren, legte BECKER seiner Zeitung im September eine von ihm selbst verfasste Flugschrift *Das Rebellions-Fieber* bei; er ließ außerdem noch 2000 Exemplare über den Buchhandel verkaufen und nahm sie später auch in das *Noth- und Hilfsbüchlein* auf.²⁴ Die Flugschrift, die den wahren Verfasser nicht nennt, ist in das Gewand einer Rede des Pastors Wohlgemuth gekleidet, der die zur Vereinigung mit anderen Rebellen bereiten Männer des fiktiven Dorfes Mildheim von ihrem Vorhaben abzubringen versucht, da es in Deutschland keine mit Frankreich vergleichbaren Mißstände gebe. Der Text zeigt klar, worin der Anknüpfungspunkt für die Fieber-Metapher lag: „Diese Seuche hat sich, wie ein ansteckendes Fieber, immer weiter ausgebreitet [...]“. Unter Hinweis auf den unglücklichen Ausgang der Bauernkriege von 1525 ermahnt BECKER die Leser, „daß vernünftige Landleute [...] sich vor dem Rebelliren scheuen müßten, wie vor dem Fieber“, und schließt mit der Warnung, „daß sie das Rebellionsfieber auch nicht bey sich einschleichen lassen möchten!“²⁵ Ende Oktober 1790 äußert sich BECKER in einem Nachtrag *Noch etwas über das Rebellionsfieber* in seiner Zeitung erleichtert über die „meistens glücklich unterdrückten Unruhen“.²⁶

Auch GOETHE gebraucht die Fieber-Metapher im Sinne der ansteckenden Ausbreitung, wenn er im September 1792 unter Bezugnahme auf Studentenunruhen in Jena seinen Adressaten im Auftrag des Herzogs bittet, er möge in Erfahrung bringen, „wer diejenigen sind die dieses Fieber unterhalten“.²⁷ WIELAND fügt die Metapher in eine konsequent medizinische Denk- und Ausdrucksweise ein. Im Januar 1793 macht er sich in der zitierten Abhandlung Gedanken darüber, was geschehen wäre, wenn in Deutschland vier Jahre zuvor die gleichen Verhältnisse geherrscht hätten wie in Frankreich: Dann wären nämlich, davon ist er überzeugt, „anstatt es bloß bey Dispositionen zur Ansteckung blieb, die Symptome des Fiebers selbst ausgebrochen, und das Deutsche Volk aus einem bloß theilnehmenden Zuschauer schon lange handelnde Personen geworden.“²⁸ Mit der Fieber-Metapher wird aber nicht nur das Merkmal der Ausbreitung revolutionärer Bestrebungen durch „Ansteckung“ illustriert, sondern auch, dass die bereits erfolgte Ansteckung zunächst verborgen blieb: Der antirevolutionär gesinnte ungenannte Verfasser des 1799 in Nürnberg erschienenen *Wörterbuchs der französischen Revolutions-Sprache* spricht im Artikel „La Liberté ou la Mort“ vom „schleichenden Freiheitsfieber“.²⁹

Wechseln wir nun über zu den Revolutionen von 1830 und 1848, so begegnet uns auch hier wieder die Fieber-Metapher für politisch-soziale Unruhen oder die Revolution als ganze. In einem Brief an Karl Friedrich ZELTER (1758–1832) in Berlin vom 5. Oktober 1830 verknüpft GOETHE diese Metapher mit einer anderen Revolutionsmetapher und nimmt noch einen weiteren medizinischen Begriff hinzu: „Das Pariser Erdbeben hat seine Erschütterungen durch Europa lebhaft verzweigt; ihr habt davon ja auch einen Fieber-Anstoß [= Fieber-Anfall] empfunden. Alle Klugheit der noch Bestehenden liegt darin, daß sie die einzelnen Paroxysmen unschädlich machen, und das beschäftigt uns denn auch an allen Orten und Enden.“³⁰

24 [BECKER] 1790a; vgl. dazu SIEGERT 1978, Sp. 721–733.

25 [BECKER] 1790a, S. 5, 10, 16.

26 [BECKER] 1790b, Sp. 685.

27 GOETHE, Abt. 4, Bd. 10, S. 142 (1892).

28 WIELAND 1797, S. 389.

29 *Wörterbuch* 1799, S. 17. Vgl. HÖFLER 1899/1970, S. 143, unter Hinweis auf ein medizinisches Werk von 1742: „Schleich-Fieber = langsam verlaufende oder versteckte (heimliche) Fieber, die sich anfangs wenig äußern.“

30 GOETHE, Abt. 4, Bd. 47, S. 276 (1909).

Hier ist mit dem Vergleich, dass sich Fieber durch Ansteckung über weite Strecken ausbreitet, noch das zusätzliche Merkmal verbunden, dass Fieber auch mehrfach nacheinander, ja periodisch wieder auftreten kann, als „Wechselfieber“, wie man es damals nannte, hatte doch z. B. die Malaria gerade 1826 „noch einmal Europa von Oslo bis Athen“ heimgesucht.³¹

Wenig später stoßen wir bei Heinrich HEINE (1797–1856) auf einen Aspekt der Fieber-Metapher für Revolution, der bereits im Zusammenhang mit einem Zitat Jacob BURCKHARDTS und der „medizinischen Krisen-Metaphorik“ kurz berührt worden ist. HEINE bezieht sich 1832 auf die im Gefolge der Juli-Revolution aufgekommene Diskussion über die „Revolution in Permanenz“, d. h. über die Wiederholungen von Revolutionen. „Die Revolution ist eine und dieselbe“, erklärt HEINE im Rückblick auf 1830 und 1789, und um als Demokrat und Republikaner den Begriff „Revolution“ vor Fehldeutungen als „Umsturz“ zu schützen, definiert er ihren „Hauptbegriff“: „Wenn die Geistesbildung und die daraus entstandenen Sitten und Bedürfnisse eines Volkes nicht mehr im Einklange sind mit den alten Staatsinstitutionen, so tritt es mit diesen in einen Notkampf, der [...] eine Revoluzion genannt wird. So lange die Revoluzion nicht vollendet ist“, herrschen „Staatssiechtum“ und „Fieberhitze“. Im Gegensatz zu den bisher vorgestellten Fieber-Metaphern ist hier mit „Fieberhitze“ nicht die grundsätzlich negativ bewertete Ausbreitung einer ansteckenden Seuche gemeint, sondern der typische Höhepunkt einer revolutionären Entwicklung vor der Entscheidung zum guten oder schlechten Ausgang.

Im geläufigen abwertenden Sinn finden wir die Fieber-Metapher dagegen wieder im Zusammenhang der Revolution von 1848. Der Althistoriker und Archäologe Ernst CURTIUS (1814–1896), der Erzieher des späteren Kaisers FRIEDRICHS III., betont in Briefen mit der Fiebermetapher neben der weiträumigen Ausbreitung besonders die psychischen Aspekte. „Der wahnsinnige Taumel, welcher von der Seine her unser Volk angesteckt hat“, schreibt er am 11. März 1848, „Berlin macht in seiner fieberhaften Aufregung einen fürchterlichen Eindruck“ (14. Mai), und im gleichen Monat verfasst er ein Gedicht „Mein Volk“, in dessen vierter Strophe es heißt: „Das ist mein Volk, mein deutsches, nicht, / Sein Blick ist irr, es kocht sein Blut / Entflammt in wälscher Fieberglut.“³² Hier zielt der Vergleich auf die mit der körperlichen Überhitzung verbundenen Wahnvorstellungen, die Fieberdelirien.

Der Schweizer Jeremias GOTTHELF (1797–1854), ein erklärter Revolutionsgegner, bezieht in seinem Alterswerk *Zeitgeist und Berner Geist* (1851/52) im Rückblick auf die 1848er Revolution die Metapher nicht mehr nur auf eine konkrete historische Situation, sondern auf die Politik im allgemeinen:

„Politisches Leben ist eine Art von Krankheitszustand, welcher überwunden werden muss, eine Gärung, welche das Ungesunde ausscheiden, wiederum Ruhe und Frieden ins Leben bringen soll. Wer meint, in einem Volke müsse ein beständig reges politisches Leben sein, das sei der rechte Normalzustand, der täuscht sich so übel wie der, welcher wähnte, der Mensch müsse beständig im Fieber liegen.“³³

Diese Überlegung führt GOTTHELF zum Begriff des „politischen Fiebers“ als eines stets drohenden oder gar immer wiederkehrenden Zustandes, den er zusätzlich mit einer weiteren, besonders aktuellen Seuchen-Metapher charakterisiert: „Umsonst schreit man dem Volke zu, sich doch nicht fort und fort aufrütteln, in politische Fieber bringen zu lassen, doch einmal

31 ACKERKNECHT 1963, S. 81.

32 CURTIUS 1903, S. 371, 381, 392.

33 GOTTHELF 1959, S. 38.

endlich die ungesunden Elemente auszuschneiden [...]. Das ist das politische Leben, eine wüste³⁴ Cholera, über welche niemand Macht hat als Gott alleine [...].“ Diese „politischen Fieber“ malt GOTTHELF in drastischen Bildern Fieberkranker aus. Er empört sich über

„ganze Banden, welche das verruchte Handwerk treiben, die Menschen fortdauernd in politischen Fiebern wüst krank zu erhalten. Kaum ist eine politische Frage [...] glücklich überwunden, und es will die Ruhe kommen, das Volk sich erholen, [...] werfen sie eine neue auf, einen neuen Zankapfel ins Volks, das Fieber ist wieder da, es schlöttert alles wieder, in wilden Krämpfen klappern alle Zähne.“³⁵

In anderer Richtung führt Friedrich NIETZSCHE (1844–1900) die Fieber-Metapher für Revolution weiter, wenn er sie – ebenfalls mit negativer Bewertung – aus der politischen Sphäre in die geistig-künstlerische überträgt. Im ersten Teil von *Menschliches, Allzumenschliches* (1878) widmet er einen Abschnitt der „Revolution in der Poesie“. Er beklagt, dass es „in der modernen Dichtkunst [...] keine so glückliche allmähliche Herauswicklung aus den selbstgelegten Fesseln“ gegeben habe wie in der Musik; nicht „stilles verborgenes Wachstum“, sondern „Abbruch der Tradition“ und das „Fieber der Revolution“ beherrschten die Entwicklung der Poesie, seitdem der „moderne Geist mit seiner Unruhe, seinem Haß gegen Maß und Schranken, auf allen Gebieten zur Herrschaft gekommen“ sei.³⁶

Ziehen wir hier eine Zwischenbilanz mit der Feststellung, dass im Zuge der Französischen Revolution bei deren Kritikern und Gegnern im deutschen Sprachraum – aber sicherlich nicht nur hier – die Fieber-Metapher aufkam, um damit bestimmte Merkmale und Situationen des revolutionären Geschehens zu kennzeichnen. Es handelt sich dabei um typische Metaphern, d. h. um „geistvolle, aber nur für den Augenblick, die spezifische Sprechsituation bzw. den jeweiligen Kontext des Textes konzipierte Stilmittel“, ohne dass sie über „diese momentgebundene Wirkung hinaus einen Langzeiteffekt haben oder haben sollen“.³⁷ Die Vergleichspunkte waren unterschiedlich: Anfangs dominierte das Bild der schnellen, unberechenbaren, unaufhaltsamen Ausbreitung wie bei einer ansteckenden Seuche, dann aber kamen auch hinzu die Erregungszustände, Wahnideen und Krampfanfälle von Fieberkranken. Stets wurde die Metapher abwertend gebraucht, auch dann, wenn sie ausnahmsweise einmal in umgekehrter politischer Richtung verwendet wurde,³⁸ und meist wurde sie auf eine konkrete Situation bezogen. Allerdings finden wir die Fieber-Metapher auch in ihrer zeitlichen Dimension erweitert, indem damit über den engeren Wortinhalt eines vorübergehenden Fiebers hinaus wiederholt auftretende oder länger dauernde, ja dauerhafte Phänomene bezeichnet wurden: „Fieberhitze“ als Durchgangsstadium in bestimmten revolutionären Konstellationen (HEINE), das politische Leben als immer wiederkehrende „politische Fieber“ (GOTTHELF), das „Fieber der Revolution“ als Signatur moderner Dichtung (NIETZSCHE). Doch liegen auch hier wiederum charakteristische Metaphern vor als „sprachliche Instrumente zur punktuellen Verdeutlichung“, ohne „systematische, übergeordnete Funktion für das Ganze“.³⁹

34 „wüst“ im Sinne von „heftig, wild, maßlos“.

35 Ebenda, S. 39.

36 NIETZSCHE 1980, S. 181f.

37 HENTSCHEL 2007, S. 245.

38 So ist z. B. während der 1848er Revolution, um übertriebene Furcht und Warnungen vor der „Reaktion“ zu kennzeichnen, die Rede von „sinnbetörendem Fieber“ und „Fieberwahn“. Vgl. die Zitate in BRUNNER et al., Bd. 5, S. 205f. (1984).

39 HENTSCHEL 2007, S. 249.

3. Die Naturgeschichte der Revolution

Die schon im 19. Jahrhundert begonnene Diskussion darüber, ob den bisherigen Revolutionen weitere folgen würden und es sogar einen gleichartigen Ablauf von Revolutionen gebe, wurde im 20. Jahrhundert in den USA systematischer als zuvor aufgegriffen, und zwar aus einer sozialwissenschaftlichen Perspektive. Die nordamerikanische Geschichtswissenschaft hatte sich Ende des 19. Jahrhunderts durch Anschluss an die europäische neu orientiert, um den US-Zentrismus und den „*second-hand*-Charakter“ ihres Faches zu überwinden.⁴⁰ Dazu gehörte auch der Anschluss an die europäische Revolutionsforschung. Ein eigenwilliger Pionier auf diesem Gebiet war Lyford P. EDWARDS (1882–1984 [sic]), der ursprünglich Theologe und Kirchenhistoriker war, sich dann aber der Soziologie zuwandte.⁴¹ Er stand in engem Austausch mit Robert E. PARK (1864–1944) von der *Chicago school* der Soziologie und veröffentlichte 1927 sein Buch *The Natural History of Revolution*,⁴² das PARK gewidmet war und das dieser mit einem Geleitwort versah. EDWARDS unternahm darin den Versuch, am Leitfaden der vier wichtigsten Revolutionen der Neuzeit, d. h. der englischen des 17. Jahrhunderts, der amerikanischen von 1774/76, der französischen von 1789/99 und der russischen von 1917 ein allgemeines Schema für den Ablauf von Revolutionen aufzustellen. Dieses Werk, das amerikanische Soziologen immerhin 1970 eines Nachdrucks in der Reihe *The Heritage of Sociology* für würdig befanden, ist für unser Thema insofern von Bedeutung, als Crane BRINTON (1898–1968), damals junger Historiker an der *Harvard University*, das Buch 1929 durchaus kritisch rezensierte, aber dann 1938 in seiner *Anatomy of Revolution*, an EDWARDS anknüpfend, einen weiterführenden ähnlichen Entwurf vorlegte.⁴³ Dabei ging er über EDWARDS hinaus und führte als Schema für den Ablauf von Revolutionen den Ablauf von Fieber ein.

Vergegenwärtigen wir uns zunächst in gebotener Kürze das Konzept von EDWARDS. Ausdrücklich distanziert er sich, um einem biologistischen Missverständnis des Titels seines Buches vorzubeugen, von der Praxis früherer soziologischer Autoren, Phänomene der menschlichen Gesellschaft mit Analogien aus der Biologie zu erklären. Dennoch hält er es für zulässig und nützlich, mit Hilfe solcher Analogien lediglich eine „Ähnlichkeit ohne Verwandtschaft“ zwischen sozialen und biologischen Prozessen festzustellen.⁴⁴ Er geht dabei von der Annahme aus, dass Revolutionen jeweils einen in der Grundstruktur typischen Verlauf zeigten und insofern sogar einer Messung zugänglich seien – es sei denn, man betrachte Revolutionen als „outside the natural order“ stehend.⁴⁵ Abgesehen von dem Begriff *natural order*, den EDWARDS ebenso wenig näher definiert wie den Leitbegriff *natural history*, abgesehen auch von den ebenfalls verwendeten Begriffen „Evolution“ und „Symptom“, enthält er sich natur- und medizinbezogener Metaphern, vor allem führt er kein spezielles, aus Natur(wissenschaft) oder Medizin entlehntes Schema für den Gesamtverlauf von Revolutionen ein. Nach dem ersten Kapitel über „Revolution und Evolution“, das dem Nachweis gewidmet ist, dass Revolutionen stets Ergebnisse evolutionärer Prozesse seien, erläutert EDWARDS anschließend die langsame Entwicklung revolutionärer Bewegungen (II)

40 Vgl. KREUTZ 2004, S. 310f.

41 Vgl. über EDWARDS das Sammelwerk *Contemporary Authors*, Bd. 113, S. 140 (1985).

42 EDWARDS 1927/1973.

43 Vgl. über BRINTON den Artikel von BRACKNEY 1999.

44 EDWARDS 1927/1973, S. 4.

45 Ebenda, S. 69.

und gliedert die Revolutionen selbst in folgende Phasen: Vorläufersymptome von Unruhen (III), fortgeschrittene Symptome von Revolution (IV), wirtschaftliche Faktoren und der soziale Mythos (V), der Ausbruch der Revolution (VI), der Aufstieg der Radikalen (VII), die Herrschaft des Terrors (VIII), die Rückkehr zur Normalität (IX), die nächste Revolution (X). Eines der Hauptziele von EDWARDS besteht darin, gegenüber mechanistischen Erklärungen, wonach die Entstehung von Revolutionen allein durch äußere Faktoren vorherbestimmt sei, die Bedeutung kollektiven Handelns einzelner Gruppen in bestimmten Situationen vor Augen zu führen.

Das Werk von EDWARDS braucht uns hier im einzelnen nicht zu beschäftigen, umso mehr aber die Rezension seines „Fortsetzers“ Crane BRINTON. Er sprach zwar von einem interessanten und nützlichen Versuch, übte aber zugleich in mehreren Punkten Kritik: Die vier großen Revolutionen seit dem 17. Jahrhundert, auf die sich EDWARDS beschränkt habe, seien eine zu schmale Grundlage für seine Schlussfolgerungen; außerdem seien die älteren Quellen hauptsächlich in qualitativer Hinsicht, nicht aber in quantitativer Hinsicht aussagekräftig, worauf die moderne Sozialforschung ausgerichtet sei, und grundsätzlich seien Kausalitäten, wenn es um menschliches Handeln gehe, extrem komplex, Revolutionen daher mehr oder weniger einmalige Vorgänge und nicht vorhersehbar. BRINTON bemängelt weiter, dass EDWARDS verschiedene soziologische Aspekte zu wenig beachtet habe und auf dem Gebiet der Französischen Revolution, wie mehrere Fehler zeigten, auch nicht kompetent genug sei. Das Gesamturteil lautet, EDWARDS stehe mit seinem Buch den französischen Enzyklopädisten des 18. Jahrhunderts näher als dem modernen Naturforscher (*physical scientist*). Erst wenn man sich mit allen diesen Einwänden hinreichend auseinandergesetzt habe, könne eine „Naturgeschichte der Revolution“ geschrieben werden.⁴⁶

4. Brintons *Anatomy of Revolution*

Trotz dieser gravierenden Kritik muss das Unternehmen von EDWARDS BRINTON so fasziniert haben, dass er, und zwar ebenfalls auf der Grundlage der vier gleichen Revolutionen seit dem 17. Jahrhundert, 1938 einen ähnlichen Entwurf präsentierte, dem er den Titel *The Anatomy of Revolution* gab.⁴⁷ Damit knüpfte er an einen in der englischsprachigen Welt seit dem 17. Jahrhundert geläufigen Begriff für eine wissenschaftliche Untersuchung an,⁴⁸ mit dem er für moderne Leser zugleich einen „naturwissenschaftlichen“ Anspruch andeutete. BRINTONS Werk erschien 1952, 1957 und zuletzt 1965 in einer revidierten und erweiterten Fassung,⁴⁹ außerdem 1959 auch in deutscher Übersetzung,⁵⁰ geriet danach aber schnell in Vergessenheit.⁵¹ Bevor BRINTON mit der *Anatomy of Revolution* sein bekanntestes Buch veröffentlichte, war er ab 1930 schon mit vier Monographien zur Französischen Revolution hervorgetreten. In der ersten über die Jakobiner (1930) hatte er sich zur amerikanischen *new history* bekannt, „deren Exponenten – zeitlich parallel, aber inhaltlich unabhängig von Lucien Febvre und Marc Bloch – ein in Fragestellung und Methode der ‚Annales-Schule‘ verwandtes Modell

⁴⁶ BRINTON 1929.

⁴⁷ BRINTON 1938.

⁴⁸ Vgl. z. B. DONNE 1611 oder BURTON 1621.

⁴⁹ BRINTON 1965.

⁵⁰ BRINTON 1959.

⁵¹ Vgl. hierzu und zum Folgenden KREUTZ 2004, S. 311–320.

von Geschichte als historischer Sozialwissenschaft entwickelten“.⁵² Gegenüber einseitigen Interpretationen des politischen Radikalismus aus Klassenlage und sozioökonomischen Erfahrungen, die BRINTON als historische Erklärungen nicht genügten, lenkte er den Blick auf die von Wunschvorstellungen und Ritualen geprägte kollektive Praxis. Im Unterschied zu EDWARDS trieb BRINTON als einer der ersten amerikanischen Revolutionshistoriker auch umfangreiche Quellenforschung, nicht zuletzt in französischen Départements-Archiven. Er verstand sich nicht nur als Historiker, sondern auch als Soziologe, „der nach Gesetzen forscht“, wie er 1934 in einer These über die Jakobiner formuliert hatte.⁵³

In der *Anatomy of Revolution*, der wir uns jetzt im Einzelnen zuwenden, verfolgt BRINTON das Ziel, „in erster Näherung gewisse gleichartige Züge festzustellen, die im Verlaufe von vier erfolgreichen Revolutionen in neuzeitlichen Staaten aufgetreten sind.“⁵⁴ Das Ergebnis soll aber „keine vollständige Soziologie der Revolution sein“, es soll auch kein „Idealtyp der Revolution“ gesucht werden. „Die Schlussfolgerungen können daher auch nur für diese vier Revolutionen gelten. Ihre Ausdehnung auf andere Revolutionen oder die Revolution im allgemeinen darf nur vorsichtig und bescheiden versucht werden.“ BRINTON sieht in seinem Buch „den Anfang des Versuchs einer Systematisierung [...], die noch in den Kinderschuhen steckt.“⁵⁵

Zu diesem Zweck will er „an das Studium der Revolution ungefähr im Geist des Naturwissenschaftlers“ herangehen⁵⁶ und betont den „klinischen“ Charakter der Gesellschaftswissenschaften.⁵⁷ Er versteht darunter eine Methodik, „wo das gelenkte Experiment nach Art der klassischen Chemie und Physik unmöglich ist. Wir könnten diese Art wissenschaftliche Arbeit, die auf Hilfsexperimenten basiert, aber nicht an sich eine Reihe gelenkter Experimente ist, die ‚klinische‘ nennen.“⁵⁸ Zunächst diskutiert BRINTON die Frage, ob zum historischen Verständnis von Revolutionen der Gleichgewichtsbegriff angemessen und nützlich wäre, und richtet schon hier den Blick auf die Medizin, nicht die Physik:

„Wir wissen, daß etwa im menschlichen Körper die Gleichgewichtsstörung, die wir Krankheit nennen, mit bestimmten Reaktionen einhergeht, die auf die ungefähre Wiederherstellung des früheren Zustandes abzielen. Sehr wahrscheinlich treten in einem Gesellschaftssystem, dessen Gleichgewicht gestört ist, ähnliche Reaktionen der Wiederherstellung auf [...]. In Gesellschaftssystemen strebt, wie im menschlichen Körper, eine Art natürliche Heilkraft, eine *vis medicatrix naturae*, fast selbsttätig nach dem Ausgleich einer Veränderung durch eine andere, restaurative Veränderung.“⁵⁹

Obwohl für BRINTON „das begriffliche Bild des gesellschaftlichen Gleichgewichts [...] auf lange Sicht wohl das brauchbarste für die Revolutionssoziologie“ ist, hält er es doch für sein Vorhaben für ungeeignet, weil es zu viel voraussetze: „Zur vollen Brauchbarkeit verlangt es eine genauere Erfassung der ziffernmäßigen Veränderlichkeit, als uns heute möglich

52 Ebenda, S. 313.

53 Zitiert ebenda, S. 314.

54 Die im Text gegebenen Zitatnachweise beziehen sich auf die deutsche Ausgabe von 1959.

55 BRINTON 1959, S. 16f.

56 Ebenda, S. 16.

57 Ebenda, S. 7.

58 Ebenda, S. 25.

59 Ebenda, S. 30f.

ist.“ Stattdessen scheint ihm „die beste Modellvorstellung [*conceptual scheme*]⁶⁰ für unseren Zweck ein Bild aus der Pathologie zu sein. Wir werden die Revolutionen als eine Art *Fieber* betrachten, [...] nur aus Zweckmäßigkeitsgründen, ohne Anspruch auf absolute oder ewige Gültigkeit, ohne moralischen Unterton.“⁶¹ Ein längeres Zitat sei hier erlaubt, um BRINTONS Argumentation und seinen Gebrauch medizinischer Termini zu verdeutlichen:

„Die Fieberkurve läßt sich leicht aufzeichnen. Etwa eine Generation vor Ausbruch der Revolution, im *ancien régime*, treten in der Gesellschaft Anzeichen der kommenden Störungen auf. Sie sind strenggenommen noch keine Symptome, denn wenn die Symptome voll entwickelt sind, ist die Krankheit schon da. Man kann eher von ‚prodromalen‘ Anzeichen sprechen, die dem scharf blickenden Diagnostiker das Kommen einer Krankheit anzeigen. Dann treten die vollen Symptome auf: Das Fieber der Revolution hat eingesetzt. Es steigt unter Schwankungen bis zur Krise an, oft von einem Delirium begleitet, der Herrschaft der ärgsten Terroristen, der Schreckensherrschaft. Nach der Krise kommt die Periode der Gesundung, meist mit ein oder zwei Rückschlägen. Schließlich ist das Fieber vorbei und der Patient wieder gesund, vielleicht sogar in mancher Hinsicht durch das Erlebnis gestärkt, jedenfalls für einige Zeit gegen einen ähnlichen Anfall immunisiert, aber ganz bestimmt nicht in einen vollständig neuen Menschen verwandelt. Die Parallele läßt sich vollständig zu Ende führen, denn Gesellschaften, die den ganzen Zyklus der Revolution durchgemacht haben, sind vielleicht dadurch in mancher Hinsicht stärker. Aber sie gehen durchaus nicht vollständig umgestaltet aus dem Prozeß hervor.“⁶²

BRINTON will den Fieber-Vergleich aber nicht im Sinne einer „organischen“ Gesellschaftstheorie, eines politischen „Organismus“, verstanden wissen und sieht bei seiner Begriffswahl auch vorgegebene Fehler: Zum einen sei „der Gebrauch von Wörtern wie Fieber, Krankheit und Krise nur zu einem kleinen Teil logisch“, zum andern wolle „niemand Fieber haben. Das Wort allein ist schon voll unangenehmer Begleitgefühle [...]. Wir scheinen Revolutionen zu verwerfen, indem wir sie mit einer Krankheit vergleichen.“⁶³ BRINTON will jedoch Revolutionen keineswegs negativ bewerten und verweist darauf, „daß Fieber biologisch etwas Gutes, nicht etwas Schlechtes für den Körper ist, der es überlebt. Das Fieber verbrennt sozusagen die bösen Keime, wie die Revolution böse Menschen und schädliche oder zwecklose Einrichtungen vernichtet.“⁶⁴ Im Abschnitt über den „Abfall der Intellektuellen“, die im

60 Walter THEIMER übersetzt BRINTONS Begriff *conceptual scheme* meist mit „Modellvorstellung“, spricht aber z. B. auch von der „Fieber-Analogie“. Da die Begriffe „Modell“ und „Analogie“ in der wissenschaftlichen Diskussion inhaltlich und hinsichtlich der gegenseitigen Abgrenzung – bei allen Differenzen im einzelnen – einigermaßen klar umrissen sind, wird im Folgenden, um falsche Festlegungen und Zuordnungen zu vermeiden, BRINTONS *conceptual scheme* mit „Fieber-Schema“ wiedergegeben.

61 SAUER 1960, Sp. 1058, vermutet den Ausgangspunkt für BRINTONS Fieber-Modell, der sich selbst dazu nicht äußert, in den oben zitierten Aussagen Jacob BURCKHARDTS über die große Krisis als „einer[r] Aushilfe der Natur, gleich einem Fieber“. BRINTON erwähnt allerdings BURCKHARDT nicht. Der Brite Richard H. CROSSMAN, Altphilologe und späterer Labour-Politiker, meint dagegen, BRINTON habe sich von der berühmten Schilderung des Bürgerkrieges in Kerkyra durch den griechischen Geschichtsschreiber THUKYDIDES inspirieren lassen (III, 82). Vgl. CROSSMAN 1939, S. 214. BRINTON weist tatsächlich in der Bibliographie der *Anatomy* auf diesen oft als politische „Pathologie“ bezeichneten Text hin mit der Bemerkung, er sei „one of the best clinical reports ever written on what we have called the crisis of revolution“ (1965, S. 285). Bei THUKYDIDES fehlt jedoch jeder Vergleich der politischen Kämpfe in Kerkyra mit Fieber.

62 BRINTONS 1959, S. 31f.

63 Ebenda, S. 34.

64 Ebenda, S. 35.

ancien régime „die bestehenden Einrichtungen scharf angreifen und große Veränderungen in Gesellschaft, Wirtschaft und Regierung fordern,“ gestaltet BRINTON das Bild des Fiebers mit bakteriologischen Details weiter aus: „Wir können die Intellektuellen dieser Art mit den weißen Blutkörperchen, den Wächtern des Blutstroms, vergleichen. Es kann aber auch ein Zuviel an weißen Blutkörperchen geben, dann ist der Körper krank.“⁶⁵ Für die Französische Revolution registriert BRINTON „eine Inkubationszeit von mehreren Jahrzehnten“⁶⁶ und fragt, ob „nicht im Sinne unserer Fieber-Analogie einzelne Personen als ‚Überträger‘ gelten und klassifiziert, benannt, beschrieben werden“ könnten. Doch mahnt er hier zur Vorsicht: „Wir müssen uns hüten, Revolutionäre und besonders revolutionäre Führer buchstäblich als ‚Keimträger‘ anzusehen“, denn das Fieber-Schema solle „ein Hilfs- und nicht eine Zwangsvorstellung sein“.⁶⁷

Während des Kampfes zwischen den Gemäßigten und den Extremisten herrscht „eine allgemeine Hochspannung“, und „das Fieber strebt der Krise zu. Die Fieberkurve geht zwar auf und nieder, im ganzen aber doch nach oben“.⁶⁸ Mit der Machtübernahme der Radikalen ist dann „die Krise im Fieber der Revolution erreicht, die man gewöhnlich die Schreckensherrschaft nennt“.⁶⁹ BRINTON betont die jeweils kleine Zahl der Radikalen, denn in großen Volksmassen könne man „das Fieber des Fanatismus nicht lange genug aufrechterhalten“, seien schnelle, endgültige Entscheidungen daher schwierig.⁷⁰ „Gemäß unserer Modellvorstellung“, bemerkt BRINTON zum Sturz ROBESPIERRES, „werden wir den Thermidor [27. 7. 1794] als Rekonvaleszenz nach dem Fieber der Revolution betrachten müssen“, doch verweist er auch auf mehrfache „deutliche Rückfälle, wie man sie ja während einer Rekonvaleszenz erwarten muß“.⁷¹ Russland habe inzwischen, urteilt BRINTON 1956, die „Krisenperiode“ wohl hinter sich, befinde sich aber immer noch „in einer langen, unruhigen Rekonvaleszenzperiode nach dem Revolutionsfieber“.⁷² Daher bestehe das „Problem einer Erklärung für die besondere Form des langen revolutionären Fiebers in Rußland“.⁷³ Hierzu stellt BRINTON fest, die vier untersuchten Revolutionen zeigten „in immer größerem Umfang das Phänomen der Versprechungen an das Volk“, wobei der Kommunismus „nur die derzeitige Stufe dieser wachsenden Liste von Verheißungen“ darstelle, die jedoch niemals erfüllt werden könnten. Die Revolution sei „kein Fieber, das mit solchen Mittelchen geheilt werden kann“. Diese Überlegung sprengt nun BRINTONS Fieber-Schema, das nach der „Krise“ normalerweise ein Ende des Fiebers, eine Erholung und vielleicht sogar Kräftigung vorsieht, und lässt ihn im Blick auf die revolutionären kommunistischen Bewegungen in Nahen und Fernen Osten zum Bild einer allgemeinen Krankheit wechseln: „Zumindest für einige Zeit müssen wir diese Krankheit für so unheilbar halten wie den Krebs.“⁷⁴ Generell warnt BRINTON allerdings vor Missverständnissen des Fieber-Vergleichs in Bezug auf das Ende von Revolutionen: „Die Modellvorstellung vom Fieber ist unzulänglich, wenn man sie so versteht, dass das Ganze in einer einfachen ‚Heilung‘ endet. In allen unseren Revolutionen

65 Ebenda, S. 68.

66 Ebenda, S. 110.

67 Ebenda, S. 139.

68 Ebenda, S. 211.

69 Ebenda, S. 211, 247.

70 Ebenda, S. 219.

71 Ebenda, S. 282, 284.

72 Ebenda, S. 285.

73 Ebenda, S. 317.

74 Ebenda, S. 364f.

finden sich Fortsetzungen, eine Reihe kleinerer Revolutionen, in denen sich die Kräfte der ersten Revolution erst voll auswirken.“⁷⁵

Auch die Frage nach den von einer Revolution herbeigeführten Veränderungen erläutert BRINTON mit Begriffen des Fieber-Vergleichs. So sei z. B. Russland „durch das Fieber teilweise verändert worden, aber das gilt auch für das Virus. Dieses ist hier zumindest geschwächt.“⁷⁶ Insgesamt aber kommt BRINTON zu dem Schluss, dass nach einer großen Revolution „der Patient in mancher Hinsicht gestärkt aus dem überwundenen Fieber hervorgeht, gegen vielleicht gefährlichere Attacken immunisiert“.⁷⁷ Auch wenn man „der Einmaligkeit historischer Geschehnisse alle notwendigen Konzessionen“ mache, urteilt BRINTON zusammenfassend, ergäben sich bei allen vier untersuchten Revolutionen auffällige Regelmäßigkeiten. „Unsere Modellvorstellung vom Fieber läßt sich zur Veranschaulichung dieser Regelmäßigkeiten benutzen.“⁷⁸ In einem Punkt allerdings, nämlich bei der Herrschaft der Radikalen, glaubt er, über die bloße „Veranschaulichung“ hinausgehen zu können, und missachtet dabei die eigenen Mahnungen, seine Interpretationsweise nicht zu überziehen: „Jetzt beginnen wir fast zu glauben, dass unsere Modellvorstellung mehr als ein bloßes Hilfsmittel ist, dass sie irgendwie eine Beschreibung der ‚Realität‘ ist. In der Krisis scheint der kollektive Patient hilflos durch ein Delirium zu taumeln.“⁷⁹

Aus dieser Übersicht über BRINTONS *Anatomy of Revolution* geht klar hervor, dass sein Schema von Revolution als „Fieber“ sich von den früheren Fieber-Metaphern wesentlich unterscheidet: Anknüpfungspunkte für den Vergleich sind bei BRINTON nicht mehr die schnelle, unmerkliche Ausbreitung von Fieber durch Ansteckung oder die Delirien und Unruhezustände Fieberkranker, Anknüpfungspunkt ist vielmehr der regelhafte, in einer Kurve darstellbare Ablauf von Fieber mit bestimmten Phasen. Fieber erscheint nicht mehr im Bild einer fieberhaften Seuche, sondern im Bild eines allgemeinen Krankheitssymptoms. Darin spiegelt sich die bereits erwähnte, von der Medizin im 19. Jahrhundert vollzogene Umdeutung des Fiebers von selbständigen epidemischen Krankheitseinheiten zu einem allgemeinen Krankheitssymptom – eine Umdeutung, deren Ergebnis der Historiograph des 20. Jahrhunderts sicherlich ohne nähere Kenntnis dieses Prozesses gefolgt ist. Neben diesem Unterschied zwischen BRINTONS Fieber-Schema und den früheren Fieber-Metaphern gibt es jedoch auch eine Gemeinsamkeit, die darin liegt, dass auf dem Höhepunkt von Revolutionen wie bei Fieber wahnhaftige Ideen, „Delirien“, eine wichtige Rolle spielen.

In dem nachfolgenden Diagramm (Abb. 1) sind die Vergleiche zwischen Revolution und Fieber durch Metaphern sowie (rechts) durch BRINTONS Verlaufsschema einander gegenübergestellt. Die entsprechenden Attribute sind durch einen einfachen Pfeil, Wechselbeziehungen durch einen Doppelpfeil gekennzeichnet.

Ausgangspunkt ist der „kranke“ Staat, der von revolutionären Tendenzen erfasst werden kann wie Menschen von Fieber. Damit verbunden sind eine gesteigerte politisch-soziale Dynamik, vergleichbar der erhöhten Körpertemperatur, eine Ausbreitung durch Ansteckung im übertragenen bzw. im wörtlichen Sinn, öffentliche Unruhen und gewaltsame Veränderungen, vergleichbar den Erregungszuständen und Delirien Fieberkranker, außerdem in beiden Bereichen ein anfallsartiger bzw. schubweiser Verlauf und ein Gesamtverlauf in vier Phasen. Der

75 Ebenda, S. 316f.

76 Ebenda, S. 326.

77 Ebenda, S. 365.

78 Ebenda, S. 348.

79 Ebenda, S. 355.

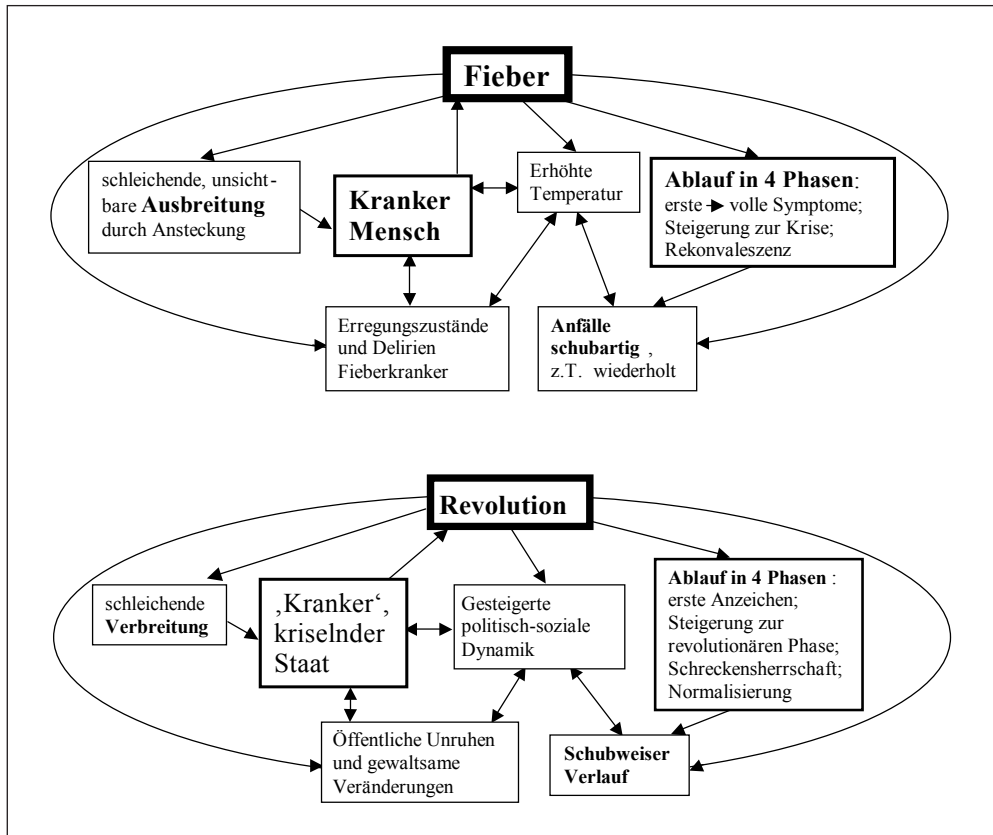


Abb. 1 Vergleiche zwischen Revolution und Fieber durch Metaphern sowie durch BRINTONS Verlaufsschema

Grad der politisch-sozialen Dynamik und das Ausmaß der kritischen Lage des Staates sind korreliert mit der Höhe des Fiebers bzw. der Schwere der Krankheit, die öffentlichen Unruhen und gewaltsamen Veränderungen mit den Erregungszuständen und Delirien Fieberkranker, die revolutionären Schübe mit den schubartigen Fieberanfällen. Den vier Phasen einer Revolution entsprechen die vier Phasen eines Fieberablaufs von den ersten, noch kaum bemerkbaren Krankheitszeichen über die voll ausgebildeten Symptome und die Steigerung zur „Krise“ bis zur Entfieberung und Rekonvaleszenz.

5. Rezeption von Brinton

Versuchen wir uns nun einen Überblick zu verschaffen, wie BRINTONS *The Anatomy of Revolutions* in der Fachwelt beurteilt wurde,⁸⁰ so ist zunächst zu bemerken, dass das Werk in

⁸⁰ Vgl. dazu den kurzen, aber instruktiven Überblick von BELAND 2005, der sich jedoch – mit einer Ausnahme – auf amerikanische Besprechungen beschränkt und dabei vor allem die Zusammenhänge mit der damaligen politischen Weltlage im Auge hat, ohne auf das Fieber-Schema näher einzugehen.

den USA deutlich mehr Resonanz fand als in Europa und bei Soziologen und Politologen auf mehr Interesse stieß als bei Historikern, insgesamt aber viel Kritik auf sich zog. Obwohl die *Anatomy* in Nachrufen und späteren Würdigungen als sein bekanntestes und einflussreichstes Buch, ja als „Klassiker“ und – nicht ganz zu Recht – als Beginn der „vergleichenden Revolutionsforschung“ bezeichnet wird, blieb nicht nur die erste Auflage von 1938, sondern blieben auch die Nachkriegsaufgaben sowie die deutsche Übersetzung in führenden *historischen* Fachzeitschriften, vor allem in Europa, weithin unbeachtet, während andere Werke BRINTONS durchaus mit einer Besprechung gewürdigt wurden. Das gilt z. B. für die *Historische Zeitschrift*, die *Revue Historique*, die *Annales Historiques de la Révolution française* und *The English Historical Review*. Darüber hinaus zeigt sich, dass BRINTONS These von gleichartigen Abläufen der vier untersuchten Revolutionen eher auf Zustimmung stieß als sein Selbstverständnis als naturwissenschaftlich-„klinisch“ arbeitender Soziologe und Historiker oder gar das Fieber-Schema.

Wenn wir im Folgenden eine kleine Auswahl von Rezensionen vorstellen, so konzentrieren wir uns dabei auf das Problem des Fieber-Schemas und auf allgemeine Aspekte. Besonderes Interesse kann natürlich die Rezension von Lyford P. EDWARDS in einer soziologischen Zeitschrift beanspruchen. Er rühmt BRINTONS Buch als „admirable synthesis of history and sociology“ und gibt dessen Schlussfolgerungen ohne Einwände wieder – doch das Fieber-Schema erwähnt er mit keinem Wort; er scheint es, obwohl von BRINTON ausführlich begründet, für unwichtig oder geradezu für entbehrlich gehalten zu haben.⁸¹ Ähnlich verfährt der Politologe Samuel BERNSTEIN: Er wirft BRINTON vor, mit seinem „Schematismus“ die unterschiedlichen Stadien historischer Entwicklung zu wenig zu beachten, und bemerkt missbilligend, BRINTON nenne den Thermidor nach dem Terror „the convalescence after a fever“, aber die Vergleichsvorstellung, zu der diese Formulierung gehörte, ist ihm keine Diskussion wert.⁸² Weit schärfer urteilte der aus Deutschland in die USA emigrierte Rechtshistoriker und Soziologe Eugen ROSENSTOCK-HUESSY (1888–1973), der 1931 ein Buch über *Die europäischen Revolutionen* publiziert hatte. Er konstatiert bei BRINTON, den er als „an adept of science, operating with abstractions like a ‘fever curve’“, kennzeichnet, ein vordergründiges, verkürztes Methodenbewusstsein und Geschichtsverständnis: „the significance of the book is not in any of its positive statements. It lies in the fact that Brinton [...] asserts that his is the only ‘scientific’ method. This is a relapse to the *more geometrico* superstition of Spinoza.“⁸³ Die historische Bedeutung von Revolutionen erschließe sich nicht, wenn man glaube, man bewege sich außerhalb ihres Wirkungsbereiches. „It is not to be found in anything happening immediately after and during the fever but in habits, immunities, and powers developed generations and centuries later.“⁸⁴

Eine Kritik, die ebenso grundsätzlich ausfiel, aber ausführlich auch das Fieber-Modell einschloss, verfasste der Historiker Louis GOTTSCHALK (1899–1975) in Chicago, der 1929 ein Buch *The Era of the French Revolution, 1715–1815* veröffentlicht hatte und danach ein mehrbändiges Werk über LAFAYETTE vorbereitete. Ausgehend von der Praxis des Historikers, bei Phänomenen gleichen Namens, wie etwa Kriegen oder Revolutionen, Ereignisreihen zu vergleichen und einander gegenüberzustellen, warnt er vor Irrwegen:

81 EDWARDS 1939, das Zitat S. 122.

82 BERNSTEIN 1939, S. 458.

83 ROSENSTOCK-HUESSY 1938/39, S. 883.

84 Ebenda, S. 884.

“To make out of comparisons and contrasts of them anything like sociology or natural science is not only likely to be elaboration of the obvious; it is frequently obfuscation of the obvious by high-flown terminology, involved definitions, overrigid concepts, and particularly the profligate use of such words as ‘uniformities’, ‘laws’, ‘types,’ etc., borrowed from the natural sciences.”⁸⁵

GOTTSCHALK gesteht BRINTON zwar zu, es sei ihm gelungen, solche „Verdunklung“ in einem höheren Maße zu vermeiden, als es der Titel seines Buches erwarten lasse, er hat sogar eine gewisse Sympathie für das Fieber-Schema, aber die gravierenden Einwände überwiegen: Zum einen sei in terminologischer Hinsicht die Bezeichnung *metaphor* angemessener als *conceptual scheme*, auch sei statt von *uniformities* bei den vier untersuchten Revolutionen besser von *analogies* zu sprechen, und der Titel des Buches solle statt *Anatomy of Revolution* besser *Pathology of Revolution* lauten. Zum andern bezweifelt GOTTSCHALK prinzipiell den Sinn und Nutzen von BRINTONS Fieber-Schema für das historische Verständnis von Revolutionen. “I do not believe it adds much to his comparisons beyond the burden of still another comparison. It is a neat figure of speech, but it has no more scientific value than a comparison with a storm (which he discards) or with a horse race or with the succession of the seasons might have.” In ironischer Form parallelisiert GOTTSCHALK Punkt für Punkt ein Pferderennen und die Abfolge der Jahreszeiten mit dem Verlauf einer Revolution, und auf das mögliche Argument, das Fieber-Schema sei dann doch treffender und „wissenschaftlicher“, entgegnet er, es passe ohnehin nur gut auf die Französische Revolution, auf die drei anderen Revolutionen schon weniger und am wenigsten auf die amerikanische, die BRINTON nicht zufällig immer wieder aus den Augen verliere und sich dafür entschuldige, dass sie das modellhafte Fieber nicht so durchlaufen habe wie ein „normaler Patient“. GOTTSCHALKS Haupteinwand zielt jedoch auf BRINTONS unhaltbaren Objektivitätsanspruch: “The principal criticism of this sort of comparative study of history, however, is that the things compared have no objectivity and yet must be treated, for the purpose of comparison, as if their values were constant and uniformly recognizable.” Wenn BRINTON eine historische Tatsache als “an empirically verifiable statement about phenomena in terms of a conceptual scheme” definiere, dann seien Aussagen über geschichtliche Ereignisse selten in dieser Weise empirisch verifizierbar, da es sich meist um Auffassungen handle, die unterschiedlich interpretiert werden könnten und denen daher kein „soziologischer oder (natur)wissenschaftlicher Wert“ zukommen könne. Trotz alledem zeigt sich GOTTSCHALK beeindruckt von BRINTONS Vorsicht gegenüber seinen Schlussfolgerungen – sein Buch sei besser, gelehrter und vorsichtiger als jedes andere Buch ähnlicher Art, das er kenne.⁸⁶

Die zwiespältige Aufnahme, die BRINTONS *Anatomy of Revolution* von Anfang an fand, setzte sich auch in der Folgezeit fort – zwiespältig in doppelter Hinsicht: Zustimmung eher bei Politologen und Soziologen als bei Historikern, Zustimmung eher zum „komparatistischen“ Ansatz und dessen Ergebnissen als zum „klinischen“, quasi-naturwissenschaftlichen methodischen Anspruch, wobei das damit verbundene Fieber-Schema meist abgelehnt oder einfach ignoriert wurde. Der Politologe Hans WASSMUND schreibt 1978 anerkennend, BRINTON habe „1938 in seiner bedeutenden Studie eines Vergleichs der englischen, amerikanischen, französischen und russischen Revolution fünf bei deren Ausbruch, trotz aller sonst

85 GOTTSCHALK 1939, S. 219.

86 Ebenda, S. 220.

bestehenden Unterschiede, immer wiederkehrende Ursachen“ zusammengefasst.⁸⁷ Das Fieber-Schema erwähnt er jedoch mit keinem Wort. Es war eine Ausnahme, wenn der Historiker Wolfgang SAUER 1960 in einer Sammelrezension zu der vorsichtig positiven Einschätzung kommt, BRINTONS Buch vermöge „doch soviel zu zeigen, dass das Modell der Fieberkurve mindestens ein wichtiges Merkmal des Gegenstandes trifft“.⁸⁸ Dagegen fällt 2004 der Historiker Wilhelm KREUTZ das scharfe Urteil, schon diese Modellvorstellung BRINTONS zeige „die Naivität, mit der er sich von der klassischen Hermeneutik des Historismus lossagte“.⁸⁹ Nicht einzelne seiner Thesen, sondern sein bis zuletzt, d. h. bis 1965, unverändertes Festhalten an der „kurzlebigen, aber einflussreichen Schule einer ‚Naturgeschichte‘ der Revolution“⁹⁰ hätten das Buch schnell in Vergessenheit geraten lassen. In der Literatur zur „vergleichen- den“ Revolutionsforschung wird es gelegentlich noch genannt, auch der britische Historiker Charles TILLY, der in seiner brillanten Studie *Die europäischen Revolutionen* (1993) „revolutionäre Situationen“ zwischen 1492 und 1992 untersuchte, führt es in der Bibliographie noch auf, geht im Text aber nirgends darauf ein. BRINTONS Hoffnung, sein „Anfang des Versuchs einer Systematisierung“ werde von künftigen Forschern, die „besser zu systematisieren verstehen“, weitergeführt,⁹¹ konnte nicht in Erfüllung gehen, weil durch die Forschung seither das Bild von „revolutionären Situationen“ erheblich differenziert und damit einheitlichen Verlaufsmodellen der Boden entzogen worden ist.

BRINTONS Fieber-Schema war allerdings von Anbeginn an zum Scheitern verurteilt. Es beruhte auf zwei fragwürdigen Prämissen: Zum einen auf der Annahme, dass die untersuchten Revolutionen eine Gleichartigkeit oder doch Ähnlichkeit des Ablaufs wie bei Naturvorgängen zeigten, was jedoch nur durch die – zweifellos anschauliche – Parallelisierung mit einer Fieberkurve „begründet“ wurde, zum anderen auf der Annahme, dass der Historiker und Soziologe zwar nicht wie der exakte Naturwissenschaftler experimentieren, aber doch wie dieser „klinisch-kasuistisch“ arbeiten könne. Das Fieber-Schema war außerdem, wie BRINTON selbst eingestand, mit der Hypothek belastet, dass Revolutionen mit einem Krankheitssymptom verglichen wurden, das für den Leser negativ besetzt war, obwohl es sich aus biologischer Sicht um eine „gesunde“, normale Körperreaktion handelte und BRINTON Revolutionen keineswegs von vornherein negativ bewertet wissen wollte. Dieser zwar unbeabsichtigte, aber nicht völlig zu eliminierende negative Akzent war für den Vergleich mit dem Gesamtablauf revolutionärer Prozesse grundsätzlich ungeeignet, er passte dagegen durchaus bei punktuell ausgerichteten Metaphern, um einzelne Merkmale und Situationen revolutionären Geschehens kritisch zu illustrieren.

Abschließend bleibt noch die Frage, wie BRINTONS Fieber-Schema zu klassifizieren ist, das er selbst als *conceptual scheme* bezeichnete. Für GOTTSCHALK erfüllte es nicht die Anforderungen an eine Modellvorstellung, vielmehr sah er darin, wie erwähnt, eher eine Metapher oder sogar bloß „a neat figure of speech“, die zudem keinen Erkenntnisvorteil gegenüber anderen Vergleichen bot.⁹² Zweifellos handelt es sich nicht um ein „Modell“ im eigentlichen Sinne, denn eine „hohe Komplexität“⁹³ ist nicht gegeben, aber auch nicht um eine norma-

87 WASSMUND 1978, S. 43.

88 SAUER 1960, Sp. 1060.

89 KREUTZ 2004, S. 317.

90 BAKER und ZIZEK 1998, S. 359, zitiert bei KREUTZ 2004, S. 320.

91 BRINTON 1959, S. 17.

92 GOTTSCHALK 1939, S. 220.

93 HENTSCHEL 2007, S. 262.

le Metapher, denn der Ähnlichkeitsvergleich betrifft nicht schlaglichtartig einen einzelnen Punkt, sondern einen längeren Verlauf mit mehreren Punkten, die allerdings eng zusammengehören und nicht so deutlich verschieden sind, um von einer typischen Analogie sprechen zu können; für eine solche fehlen auch die „ganzen Netze von Relationen“ und die „Wechselseitigkeit der Bezüge von Primär- und Sekundärbereich“.⁹⁴ BRINTONS Fieber-Schema könnte man vielleicht als eine Sonderform der Metapher, als mehrfach aufgegliederte, „additive“, in der Zeitachse verlängerte Metapher bezeichnen.

Jedenfalls erscheinen von hier aus betrachtet die einfachen Fieber-Metaphern, wie wir sie im ersten Teil dieses Beitrages kennenlernten, dem Gegenstand Revolution eher angemessen – als „vergleichvermittelte Bedeutungsübertragung“⁹⁵ zur punktuellen Veranschaulichung bestimmter Aspekte revolutionären Geschehens, allerdings mit vorgegebener (und auch gewollter) negativer Bewertung und ohne einen über die momentane Verdeutlichung hinausgehenden Erkenntnisanspruch. BRINTONS Fieber-Schema für den Gesamtverlauf von Revolutionen war dagegen im Ansatz verfehlt; es konnte (und könnte vielleicht auch heute noch) eine allgemeine Leserschaft überzeugen, nicht aber in der Fachwelt Anerkennung finden – dem „komparatistischen“ Anliegen des Autors hat es mehr geschadet als genützt.

Literatur

- ACKERKNECHT, Erwin H.: Geschichte und Geographie der wichtigsten Krankheiten. Stuttgart 1963
- ARENDT, Hannah: Über die Revolution. Frankfurt (Main) 1968
- BAKER, Keith Michael, and ZIZEK, Joseph: The American Historiography of the French Revolution. In: MOLHO, Anthony, and WOOD, Gordon S. (Eds.): *Imagined Histories. American Historians interpret the Past*; pp. 349–392. Princeton, N. J. 1998
- BECKER, Rudolph Zacharias: Noth- und Hilfsbüchlein für Bauersleute oder lehrreiche Freuden- und Trauer-Geschichte der Einwohner zu Mildheim. Gotha 1788. Hrsg. und mit einem Nachwort versehen von Reinhart SIEGERT. Dortmund 1980
- [BECKER, Rudolph Zacharias]: Das Rebellions=Fieber wie solches der Pastor Wohlgemuth in einer Rede beschrieben [...] Gotha 1790a
- [BECKER, Rudolph Zacharias]: Noch etwas über das Rebellionsfieber. *Deutsche Zeitung*, 43. Stück, Sp. 685–693. 29. 10. 1790b
- BELAND, Matthew: Revolution under Review: The Reception of Crane Brinton's *The Anatomy of Revolution*. Princeton 2005. http://www.princeton.edu/csbs/conferences/february_2005/papers/Beland.doc
- BERDING, Helmut: Revolution als Prozess. In: FABER, Karl-Georg, und MEIER, Christian (Hrsg.): *Historische Prozesse*. S. 266–289. München 1978
- BERNSTEIN, Samuel: Rez. von BRINTON, Crane: *The Anatomy of Revolution*. *New York* 1938. *Political Science Quarterly* 53, 456–458 (1939)
- BRACKNEY, William H.: Brinton, Crane. In: *American National Biography*. Vol. 3, pp. 558f. New York, Oxford 1999
- BRINTON, Crane: Rez. von EDWARDS, Lyford P.: *The Natural History of Revolution*. Chicago 1927. *Political Science Quarterly* 44, 302–303 (1929)
- BRINTON, Crane: *The Jacobins. An Essay in the New History*. New York 1930
- BRINTON, Crane: *The Anatomy of Revolution*. New York 1938; revised editions 1952 und 1957, revised and expanded edition 1965
- BRINTON, Crane: *Die Revolution und ihre Gesetze*. Übersetzt von Walter THEIMER. Frankfurt (Main) 1959
- BRUNNER, Otto, CONZE, Werner, und KOSELLECK, Reinhart (Hrsg.): *Geschichtliche Grundbegriffe: Historisches Lexikon zur politisch-sozialen Sprache in Deutschland*. Bd. 1–8. Stuttgart 1972–1997

94 Ebenda, S. 252.

95 KOPPE 1984, S. 868a.

- BURCKHARDT, Jacob: Weltgeschichtliche Betrachtungen. In: BURCKHARDT, Jacob: Aesthetik der bildenden Kunst. Über das Studium der Geschichte. Mit dem Text der „Weltgeschichtlichen Betrachtungen“ in der Fassung von 1905. Hrsg. von Peter GANZ. S. 349–540. München, Basel 2000 (= Jacob BURCKHARDT: Werke. Kritische Gesamtausgabe. Bd. 10)
- BURKE, Edmund: Betrachtungen über die französische Revolution. In der deutschen Übertragung von Friedrich GENTZ. Bearbeitet und mit einem Nachwort von Lore ISER. Frankfurt (Main) 1967
- BURTON, Robert: *The Anatomy of Melancholy*. Oxford 1621
- CROSSMAN, Richard H.: Rez. von BRINTON, Crane: *Vivisection History*. *The New Statesman and Nation*, 11 February 1939, 214–216 (1939)
- CURTIUS, Ernst: Ein Lebensbild in Briefen. Hrsg. von Friedrich CURTIUS. Berlin 1903
- DEMANDT, Alexander: Metaphern für Geschichte. Sprachbilder und Gleichnisse im historisch-politischen Denken. München 1978
- DONNE, John: *An Anatomie of the World*. London 1611
- EDWARDS, Lyford P.: *The Natural History of Revolution*. Chicago 1927; repr. with a Foreword by Morris JANOWITZ. Chicago, London 1970 und 1973
- EDWARDS, Lyford P.: Rez. von BRINTON, Crane: *The Anatomy of Revolution*. *New York* 1938. *American Sociological Review* 4, 122f. (1939)
- FELDHUSEN, Friederike: Von der Krankheit zum Symptom. Konzepte vom Fieber im 19. Jahrhundert. Med. Diss. Mainz 1999
- GENTNER, Dedre: Structure-mapping: A theoretical framework for analogy. *Cognitive Science* 7, 155–170 (1983)
- GOETHE, Johann Wolfgang von: Werke („Weimarer Ausgabe“). Abt. 1: Werke. Bd. 1–55; Abt. 4: Briefe. Bd. 1–50. Weimar 1887–1919
- GOTTHELF, Jeremias: Zeitgeist und Berner Geist. In: GOTTHELF, Jeremias: Sämtliche Werke. Hrsg. von R. HUNZIKER u. a. Bd. 13. Hrsg. von Werner JUKER. Erlenbach-Zürich 1959, S. 5–520
- GOTTSCHALK, Louis: *The Era of the French Revolution, 1715–1815*. Cambridge, Mass. 1929
- GOTTSCHALK, Louis: Rez. von BRINTON, Crane: *The Anatomy of Revolution*. *New York* 1939. *The Journal of Modern History* 11, 219–221 (1939)
- GRIEWANK, Karl: *Der neuzeitliche Revolutionsbegriff. Entstehung und Geschichte*. Frankfurt (Main) 1973
- HEGEL, Georg Wilhelm Friedrich: Vorlesungen über die Philosophie der Geschichte. In: HEGEL: Werke. Hrsg. von Eva MOLDENHAUER und Karl Markus MICHEL. Bd. 12. Frankfurt (Main) 1970
- HENTSCHEL, Klaus: Zur Bedeutung von Analogien in den Naturwissenschaften. *Scientia Poetica* 11, 241–275 (2007)
- HÖFLER, Max: *Deutsches Krankheitsnamen-Buch*. München 1899. Repr. Hildesheim, New York 1970
- JÄGER, Hans-Wolf: *Politische Metaphorik im Jakobinismus und im Vormärz*. Stuttgart 1971
- KANT, Immanuel: *Der Streit der Fakultäten*. In: KANT, Immanuel: Werke in zehn Bänden. Hrsg. von Wilhelm WEISSEDEL. Bd. 9, 265–393. Darmstadt 1981
- KOPPE, Franz: Art. „Metapher“. In: MITTELSTRASS, Jürgen (Hrsg.): *Enzyklopädie Philosophie und Wissenschaftstheorie*. Bd. 2, S. 867–870. Mannheim, Wien, Zürich 1984
- KREUTZ, Wilhelm: Crane Brinton und Robert Roswell Palmer – Revolutionssoziologie und transatlantische Deutung der Revolution. In: PELZER, Erich (Hrsg.): *Revolution und Klio. Die Hauptwerke zur Französischen Revolution*. S. 309–329. Göttingen 2004
- NIETZSCHE, Friedrich: Menschliches, Allzumenschliches I. In: NIETZSCHE, Friedrich: Sämtliche Werke. Kritische Studienausgabe. Hrsg. von Giorgio COLLI undazzino MONTINARI. Bd. 2, S. 9–363. München 1980
- ROSENSTOCK-HUESSY, Eugen: *Die europäischen Revolutionen. Volkscharaktere und Staatenbildung*. Jena 1931, Stuttgart 1951, 1961, Moers 1987
- ROSENSTOCK-HUESSY, Eugen: Rez. von BRINTON, Crane: *The Anatomy of Revolution*. *New York* 1938. *The American Historical Review* 44, 882–884 (1938/39)
- SAUER, Wolfgang: Beiträge zur Theorie und Geschichte der Revolutionen. *Neue Politische Literatur* 5, Sp. 1055–1075 (1960)
- SCHUBART, Christian Friedrich Daniel: *Vaterlandschronik*. Stuttgart 1789
- SIEGERT, Reinhart: Aufklärung und Volkslektüre. Exemplarisch dargestellt an Rudolph Zacharias Becker und seinem „Noth- und Hülfsbüchlein“. Frankfurt (Main) 1978
- TILLY, Charles: *European Revolution, 1492–1992*. Oxford 1993; dt. *Die europäischen Revolutionen*. München 1993
- TOCQUEVILLE, Alexis de: *L’Ancien Régime et la Révolution*. Paris 1856
- TOCQUEVILLE, Alexis de: *Correspondance et Œuvres posthumes*. Paris 1866 (= *Œuvres complètes*. Bd. 5)
- TOCQUEVILLE, Alexis de: *Der alte Staat und die Revolution*. Hrsg. von J. P. MAYER. Birsfelden bei Basel o. J.
- WASSMUND, Hans: *Revolutionstheorien*. München 1978

WEISS, Christoph (Hrsg.): Von „Obscuranten“ und „Eudämonisten“. Gegenaufklärerische, konservative und antirevolutionäre Publizisten im späten 18. Jahrhundert. St. Ingbert 1997

WIELAND, Christoph Martin: Betrachtungen über die gegenwärtige Lage des Vaterlandes. Geschrieben im Januar 1793. In: WIELAND, Christoph Martin: Sämtliche Werke. Bd. 29, S. 366–423. Leipzig 1797

Wörterbuch: Wörterbuch der französischen Revolutions-Sprache. Paris [= Nürnberg] 1799

Prof. Dr. phil. Werner Friedrich KÜMMELE
Institut für Geschichte, Theorie und Ethik der Medizin
der Johannes-Gutenberg-Universität Mainz
Am Pulverturm 13
55131 Mainz
Bundesrepublik Deutschland
Tel.: +49 6131 17 9538
Fax: +49 6131 17 9479
E-Mail: wekuehme@uni-mainz.de

Personenregister

- Achinstein, Peter 13, 15, 32, 59, 66
 Ackerknecht, Erwin H. (1906-1988) 424, 436
 Adams, Henry 40, 64
 Adanson, Michel (1727-1806) 14
 Adelung, Johann Christoph (1732-1806) 225, 228
 Adler, Friedrich 60
 Adrastus von Aphrodisias (2. Jh. n. Chr.) 70
 Agricola, Rudolph (1443-1485) 72, 88
 Agrippa von Nettesheim (eigentlich Heinrich Cornelius) (1486-1535) 167, 170
 Alanus ab Insulis (um 1120-1202) 165
 Albert, Mathias 305
 Albertini 14
 Alexander von Aphrodisias (um 200 n. Chr.) 70
 Alfred der Große, König der Angelsachsen (871-899) 124, 147
 Algarotti, Francesco (1712-1765) 48, 50, 59
 Allers, Rudolf 14, 59
 Alleton, Viviane 357
 Altschuller, Genrich Saulowitsch (1926-1998) 31
 Amann, Klaus 41
 Ambrosius von Mailand (339-397) 133
 Anaximander (610-546 v. Chr.) 59, 295, 296
 Anderl, Christoph 356
 Anstey, Peter R. 207, 215, 229
 Apelt, Otto (1845-1932) 149
 Apetroiaia, I. 304
 Aquin, Thomas von (um 1225-1274) 73, 151
 Arber, Agnes Robertson (1879-1960) 58, 59
 Archimedes (287-212 v. Chr.) 83, 85, 197, 296, 303, 309-312, 317, 318, 326, 327
 Arctander, Peter 381
 Arend, Gerhard 195, 200, 201, 203
 Arendt, Hannah (1906-1975) 420, 436
 Ariew, Roger 149, 303
 Aristarch (ca. 320-250 v. Chr.) 312
 Aristoteles (384-322 v. Chr.) 16, 39, 62, 70, 76, 88, 92, 123, 126, 127, 133, 151, 176, 181, 184, 187, 188, 192, 206, 209, 311, 319, 326
 Arrhenius, Svante (1859-1927) 29
 Artmann, Stefan (*1969) 9, 399, 403, 415, 417
 Ash, Mitchell Graham 285, 303
 Ashby, Ross W. 68, 88
 Attneave, Fred 288, 291, 303
 Augustinus, Aurelius, von Hippo und von Thagaste (354-430) 69, 88, 133, 141, 297
 Avenarius, Richard (1843-1896) 284, 303
 Bach, Thomas 377, 380
 Bachmann, Manuel 14, 19, 57, 62, 65, 362, 381
 Bacon, Francis (1561-1626) 13, 14, 59, 64, 67, 69, 88, 249
 Bährmann, Rudolf 368, 380
 Bailer-Jones, Daniela 43, 59
 Baird, Davis 62, 275
 Baker, Keith Michael 435, 436
 Baker, P. 303
 Balsiger, Philipp W. 415
 Banks, William P. 62
 Bargh, J. 304
 Bar-Hillel, Yehoshua 62
 Barkow, J. H. 305
 Barth, Friedrich 170
 Bärthlein, Karl 235, 252
 Bartocci, Claudio 356
 Bartoli, Archangeli 385, 389, 390, 397
 Basilius von Cäsarea, der Große (ca. 330-379) 128, 133
 Bass, Steven D. 298, 303
 Bausch, Johann Laurentius (1605-1665) 156, 157, 170
 Bayer, Karl 145
 Beardsley, Monroe (1915-1985) 21
 Beck, Lewis W. 252
 Becker, Rudolph Zacharias (1752-1822) 422, 423, 436
 Beineke, L. W. 326
 Beitz, Wolfgang 86, 88
 Beland, Matthew 432, 436
 Bendegem, Jean Paul van 30, 59
 Ben Sira 296
 Benz, Ulrich 52, 59
 Berding, Helmut 419, 436
 Berg, Gunnar (*1940) 7, 10
 Berg, Wieland (*1944) 170
 Berger, Dale E. 62
 Berggren, Douglas 16, 17, 21, 43, 59
 Berghel, Hal 88
 Bernardus Silvestris (12. Jh.) 164, 165
 Bernays, Paul (1888-1977) 285, 303
 Bernoulli, Daniel (1700-1782) 205, 206, 220-224, 226-228, 322, 323
 Bernoulli, Jakob (1657-1705) 322
 Bernoulli, Johann I. (1667-1748) 323
 Bernoulli, Nikolaus I. (1687-1759) 323
 Bernstein, Samuel 433, 436
 Beryman, J. P. 228

- Berz, Peter 29, 42, 63
Berzelius, Jöns Jakob (1779-1848) 58
Bessel, Friedrich Wilhelm (1784-1846) 30, 283, 300
Beth, Evert Willem (1908-1964) 284, 303
Betsch, Gerhard 193
Biegger, Katharina 167, 170
Biemel, Walter 89
Bierhalter, Günter 266, 275
Billing, Hans 79, 88
Billman, Dorrit O. 63
Binet, Alfred (1857-1911) 283, 303, 305
Birch, Thomas 207, 208, 214, 228
Black, Max (1909-1988) 16-18, 24, 59, 60, 74, 88, 92, 118
Blackmore, John 282, 303
Bloch, Ernst (1885-1977) 85, 88
Bloch, Marc (1886-1944) 427
Bluhm, Gesa 305
Blumenberg, Hans (1920-1996) 21, 61, 169, 170
Boas-Hall, Marie (1919-2009) 208
Bodde, Derk 14, 60
Bodenhausen, Galen V. 305
Boëthius, Anicius Manlius Severinus (ca. 480-524) 146
Böhler, Dietrich 89
Böhme, Gernot (*1937) 14, 60
Bohr, Niels (1885-1962) 9, 13, 23, 50-53, 61, 62, 64, 77, 112, 205, 246-248, 252, 287, 297-299
Boltzmann, Ludwig (1844-1906) 30, 43, 45, 46, 59, 60, 266, 268, 269, 273-275
Bonner, John Tyler (*1920) 15, 19, 60
Boring, Edwin G. (1886-1968) 289, 290, 303
Born, Max (1882-1970) 247
Bornscheuer, Lothar 79, 80, 88
Boronat, Consuela 61
Bosses, Bartholomaeus des (1738) 321
Botticelli, Sandro (1445-1510) 135, 149
Bourbaki, Nicolas (Pseudonym) 414, 415
Bowdle, Brian F. 40, 61
Bower, Gordon H. 63
Boyle, Robert (1627-1691) 18, 59, 205-217, 219, 222, 226, 228, 229
Brachner, Alto 207, 228
Brachtendorf, Johannes 275
Brackney, William H. 436
Bradley, James (1693-1762) 29, 60
Bradshaw, Gary L. 416
Brahe, Tycho (1546-1601) 174-178, 180, 181, 299
Braithwaite, Richard B. 15, 44, 60
Bransford, John D. 284, 303
Breger, Herbert 326
Breibach, Olaf (*1957) 39, 58-60, 359, 361, 362, 366, 372, 373, 375-377, 380, 382
Brentano, Franz (1838-1917) 294
Breuer, Elmar 109, 110, 118
Bricemont, Jean 10
Bridgman, Percy W. 46
Brincken, Anna-Dorothee von den (*1932) 145, 150
Brinton, Crane (1898-1968) 419, 426-437
Brittan, Gordon G. 234, 252
Brody, Baruch A. 60
Brookes, David T. 99, 107, 118
Brouwer, L. E. J. (1881-1966) 284
Brown, A. L. 303
Bruner, Jerome S. (*1915) 290, 292, 293, 303
Brunner, Otto 420, 422, 425, 436
Brunswik, Egon 282, 303
Brush, Stephen G. 207-211, 218-220, 222, 224-229
Buchanan, Scott Milross 28, 60
Buchdahl, Gerd (1914-2001) 234, 246, 252
Buck, Günther 239, 252
Buck, Peter 103
Buhl, Joachim 416
Bühler, Karl 303
Bungarten, Theo 118
Bunge, Mario (*1919) 15, 57, 60, 303
Burbidge, John W. 57, 60
Burckhardt, Jacob (1818-1897) 422, 424, 429, 437
Burke, Edmund (1729-1797) 421, 437
Burnet, Ioannes 327
Burton, Robert (1577-1640) 427, 437
Butchart, Amy 62
Butler, Eamonn 401, 415
Butler, S. 326
Cach, J. 304
Cahn, Théophile (1896-?) 375, 380
Caldwell, Bruce 401, 416
Callanan, John 234, 237, 244, 252
Cameron, Lynne 107, 118
Camp, Elisabeth 92, 119
Campbell, Lewis 64
Caneva, Kenneth 58, 60
Canguilhem, Georges (1904-1995) 15, 39, 60
Cannan, Edwin 400, 416
Cantor, Geoffrey N. 37, 60

- Cantor, Moritz (1829-1920) 300
 Capelle, Wilhelm (1871-1961) 206, 228
 Caramana, E. J. 82, 88
 Cardwell, Donald S. 224, 228
 Carnap, Rudolf (1891-1970) 78, 88, 285, 412, 413, 415
 Carter, Rita 284, 285, 289, 293, 303
 Cartledge, P. 304
 Cartwright, Nancy (*1944) 44, 60
 Carus, Carl Gustav (1789-1869) 376, 377, 380
 Carus, Paul (1852-1919) 283
 Caspar, Max (1880-1956) 172, 174, 175, 191, 192, 319
 Cassirer, Ernst (1874-1945) 281, 303
 Cat, Jordi 45, 60
 Cauchy, Baron Augustin Louis (1789-1857) 259
 Cayley, Sir George (1773-1857) 389, 390, 396
 Chadarevian, Soraya de 33, 60
 Chalmers, Alan F. 45, 60, 207, 214, 215, 229
 Champollion, Jean-François (1790-1832) 168
 Chang, Hasok 222, 229
 Charcot, Jean-Martin (1825-1893) 284
 Chemla, Karine (*1957) 329-333, 335, 337-339, 341, 344, 348, 349, 351, 352, 354-357
 Cicero, Marcus Tullius (106-43 v. Chr.) 16, 70, 72, 88, 134
 Clausius, Rudolf (1822-1888) 225-229
 Clavius, Christoph (1538-1612) 176, 191, 309, 312-315, 326
 Clericuzio, Antonio 212, 229
 Cocking, R. R. 303
 Coenen, Hans Georg 57, 60, 365, 381
 Cogger, Harold G. 381
 Cohen, Ernst 66
 Cohen, I. Bernard 208, 229
 Cohen, Robert S. 282, 288, 303
 Cole, Michael 296, 303
 Colhoun, Julie 19, 41, 42, 61, 95, 118
 Colli, Giorgio 437
 Columbus, Alexandra M. 305
 Commandino, Frederico 314
 Comte 15
 Comte, Isidore Auguste Marie François Xavier (1798-1857) 257, 258
 Conze, Werner 436
 Cope, Jackson I. 65
 Copernicus, Nicolaus (1473-1543) 49, 172, 173, 175-178, 180, 181, 186, 193
 Cornford, Francis Macdonald (1874-1943) 296, 303
 Cosmides, Leda 286, 293, 305
 Costabel, Pierre 208, 229
 Crombie, Alistaire C. (1915-1996) 60
 Crossley, John Newsome 357
 Crossman, Richard Howard Stafford (1907-1974) 429, 437
 Csikszentmihalyi, Mihály (*1934) 290, 303
 Cube, Felix von 403, 415
 Cullen, Christopher 331, 356
 Curtius, Ernst (1814-1896) 424, 437
 Curtius, Friedrich 437
 Cuvier, Georges Léopold Chrétien Frédéric Dagobert, Baron de (1769-1832) 369, 375, 377, 381
 Czernin, Franz Josef 119
 Dafydd, M. 304
 Dahms, Günter 89
 d'Agostino, Salvo 46, 59
 Daiber, Dietrich Lorenz 57, 60
 D'Alembert, Jean Baptiste (1717-1783) 8
 Dali, Salvador (1904-1989) 35
 Dannenberg, L. 118
 Dante Alighieri (1265-1321) 135, 149
 Darden, Lindlay 27, 60
 Darrigol, Olivier 29, 32, 60
 Darwin, Charles Robert (1809-1882) 21, 28, 30, 39, 60, 279, 280, 288, 297, 303, 380
 Daston, Lorraine (*1951) 14, 30, 60, 64
 Dauben, Joseph W. (*1944) 192, 331, 356
 Davidson, Donald 21
 Davie, George Elder 256, 257, 275
 Dear, Peter 58, 60
 Dedekind, Richard (1831-1916) 283, 284
 della Porta, Giambattista (1534/35-1615) 168, 170, 179, 180, 182, 183, 193
 della Rovere, Francesco Maria (1490-1538) 195-197, 199, 201, 202
 Delius, Harald 253
 Demandt, Alexander (*1936) 420, 421, 437
 De Man, Paul 239, 252
 DePauli-Schimanovich, W. 303, 304
 Descartes, René (1596-1650) 14, 17, 61, 64, 210
 Dessauer, Friedrich (1881-1963) 69, 88
 Diadochos, Proklos (410-485) 316
 Diels, Hermann (1848-1954) 88
 Dilthey, Wilhelm (1833-1911) 74, 75, 88
 Diogenes Laertius (3. Jh. n. Chr.) 133, 149
 Dirks, Ulrich 60
 Dister, John D. 252
 Donne, John (1572-1631) 24, 427, 437
 Dorolle, Maurice 31, 57, 60

- Drabkin, Israel Edward 196, 203
Drake, Stillman 196, 203
Dreyhaupt, Franz Joseph 396
Dronke, Peter (*1934) 142, 149
Dryer, Douglas P. 244, 252
Du Bois-Reymond, Estelle 64
Duff, Stuart 63
Duhem, Pierre (1861-1916) 29, 43, 60, 64, 123, 149, 297, 303
Duit, Reinders 39, 60, 95, 118
Dumont, Franz 419
Dupuis, Claude 381
Durand-Richard, Marie-José 13-16, 31, 60, 330, 356, 357
Durbin, Paul T. 65
Dürer, Albrecht (1471-1528) 159, 161, 162
Du, Shiran (*1929) 333, 357
Dyck, Walther (1856-1934) 30, 47, 60, 61, 192
- Eco, Umberto (*1932) 85, 88
Eder, Thomas 119
Edwards, Lyford P. (1882-1984) 426-428, 433, 436, 437
Edwards, Paul 276
Ehrlenspiel, Klaus 85, 88
Eifring, Halvor 356
Einstein, Albert (1879-1955) 37, 53, 117, 242, 286, 299, 300
Eliade, Mircea (1907-1986) 281, 295-297, 303
Emerson, A. E. 19
Engel, Gisela 150
Engelmeyer, Peter Klimentitsch von 73, 84, 87, 88
Ephraim der Syrer (ca. 306-373) 133
Eratosthenes (um 276 - um 195 v. Chr.) 296, 310
Etkina, Eugenia 99, 107, 118
Euklid (um 365 - um 300 v. Chr.) 146, 302, 311, 313, 315, 316, 326
Euler, Leonhard (1708-1783) 253, 309, 322-327
- Faber, Georg 325, 326
Faber, Karl-Georg 436
Fabricius, David (1564-1617) 180, 187
Fadiga, Luciano 89
Falkenhainer, Brian 55, 56, 61
Faraday, Michael (1791-1867) 64, 259-261, 267-269, 273
Farber, Eduard 15, 61
Fauconnier, Gilles 21, 61
Favrholt, David (*1931) 50, 61
Faye, Jan 50, 61, 62
- Febvre, Lucien (1878-1956) 427
Fehrenbach, Frank 14, 36, 61
Fehr, Johann Michael (1610-1688) 170
Feldhusen, Friederike 420, 437
Fellmeth, Ulrich 33, 61
Fenster-Busch, Curt 327
Fichtner, Bernd 95, 118
Field, Judith Veronica 57, 61, 172, 191
Fischer, David Hackett 22, 40, 61
Fischer, Klaus 62
FitzGerald, George Francis (1851-1901) 13, 46-48, 61
Flehtner, Hans-Joachim 402, 416
Fliedner, Hans Joachim 380
Flierl, K. 220, 228
Fludd, Robert (1574-1637) 40, 61, 154, 155, 165, 170, 378, 380, 381
Fogassi, Leonardo 89
Folkers, Gerd 118, 119
Folse, Henry J. 246, 252
Forbus, Kenneth D. 55, 61
Fösel, Angela 118
Fourier, Jean-Baptiste Joseph (1768-1830) 257, 258, 273, 275
Fox, Christopher 150
Francoeur, Eric 15, 32, 33, 43, 61
Fränkel, Hermann (1888-1977) 14, 61
Frege, Gottlob (1848-1925) 283-286, 297
Frei, Patrick 14
Freud, Sigmund (1856-1939) 169, 284
Freudenthal, Hans 303
Frey, Gerhard 77, 88
Freyer, Hans 416
Friebe, Peter 18, 205, 230
Friedman, Michael (*1947) 234, 244, 248, 250-253
Friedrich III. (Kaiser) 424
Fries, Jakob Friedrich (1873-1943) 251, 253
Frith, Christopher D. 282, 295, 304
Fuß, Konrad 117, 118
- Gabriel, G. 304
Galilei, Galileo (1564-1642) 13, 14, 49, 50, 57, 59, 61, 64, 183, 191, 203
Galison, Peter 14, 61, 64
Gallese, Vittorio 88, 89, 94, 118
Galton, Francis (1822-1911) 30
Ganz, Peter 437
Gardener, Howard 66
Gauß, Carl Friedrich (1777-1855) 30, 283, 284, 300, 301

- Gehlen, Arnold (1904-1976) 405, 406, 416
 Gellner, Ernest (1925-1995) 129, 149
 Gentner, Dedre 13, 15, 19, 24-27, 31, 40-42, 51, 54, 55, 57-59, 61, 95, 97, 98, 118, 205, 206, 215, 216, 218, 222, 227, 229, 286, 294, 304, 305, 313, 315, 437
 Gentz, Friedrich (1764-1832) 422, 437
 Geoffroy Saint-Hilaire, Étienne (1772-1844) 375, 380, 381
 Gerdes, Jörn 105, 119
 Gerhardt, Carl Immanuel (1816-1899) 89, 321, 326, 327
 Gerthsen, Christian 100, 105, 118
 Gessinger, Joachim 102, 110, 118
 Ghiselin, Brewster 89
 Ghiselin, Michael T. 377, 380
 Giacomelli, Raffaele 389, 396, 397
 Gibbs, Raymond 61
 Gick, Mary L. 26, 42, 62
 Gigerenzer, Gerd (*1947) 295, 304
 Gilbert, William (1544-1603) 171, 174, 178-183, 185-188, 191, 365
 Gill, Jerry H. 234, 252
 Glatzeder, Britt M. 61, 118
 Gloy, Karen (*1941) 14, 19, 57, 62, 65, 234, 252, 362, 381
 Glynn, Shawn M. 39, 60, 95, 109, 118
 Göchhausen, Ernst August von (1740-1824) 422
 Gödel, Kurt (1906-1978) 292
 Goel, Vinod 61, 118
 Goethe, Johann Wolfgang von (1749-1832) 37, 115, 376, 377, 381, 421-423, 437
 Goldammer, Kurt (1916-1997) 192
 Goldenbaum, Ursula 326
 Gonseth, Ferdinand (1890-1975) 284, 285
 Goodman, Nelson 21
 Gordon, W. J. J. 30
 Gotthelf, Jeremias (1797-1854) 424, 425, 437
 Göttling, Johann Friedrich August (1753-1809) 37
 Gottschalk, Louis (1899-1975) 433-435, 437
 Graham, Chris F. 381
 Grant, Edward 206, 229
 Großmann, Hermann Günther (1809-1877) 270
 Großmann, Robert 270
 Grattan-Guinness, Ivor 325, 326
 Green, George (1793-1841) 258
 Griewank, Karl 437
 Grimm, Jakob (1785-1863) 229
 Grimm, Wilhelm (1786-1859) 229
 Groh, Arnold 149, 150
 Gropengießer, Harald 94, 106, 118
 Grosholz, Emily 326
 Grössing, Helmut 192
 Grote, Andreas 62
 Gruber, Howard E. 17, 21, 62
 Gründer, Karlfried 63
 Guarini, Marcello 13, 62
 Guericke, Otto von (1602-1686) 206
 Günther, Gotthard 413, 416
 Guo 333
 Guo Shirong 331, 356
 Guo Shuchun (*1941) 331, 332, 335, 337-339, 341, 344, 348, 351, 356
 Haase, Rudolf 192
 Habermas, Jürgen (*1929) 75, 88
 Haggard, Patrick 295, 304
 Hagner, Michael (*1960) 361, 381, 403, 416
 Hahn, Hans (1879-1934) 292, 293, 302, 304
 Halford, Graeme S. 32, 62
 Hall, Francis (Linus) (1595-1675) 208, 215, 218
 Hall, John Lewis (*1934) 95
 Halley, Edmond (1656-1742) 60
 Halliday, David 109, 118
 Hallyn, Fernand 59
 Halpern, Diane F. 15, 16, 30-32, 39, 62
 Hamann, Günther 192
 Hamel, Jürgen (*1951) 191, 193
 Hamilton, Sir William (1788-1856) 45, 62, 256, 275
 Hamilton, William Rowan (1805-1865) 45, 263
 Hankins, Thomas L. 45, 62
 Hanna, Gila 356
 Hanno der Seefahrer (vor 480-440 v. Chr.) 145, 149
 Hänsch, Theodor (*1941) 95
 Hansen, Carol 62
 Hanson, Norwood Russell 31, 62
 Harman, Peter Michael (*1943) 45, 62, 255-257, 275-277
 Harper, W. 61, 64, 65, 252
 Harré, Rom 15, 62
 Harrington, Anne 22, 62
 Hart, B. 304
 Haskins, C. R. 19
 Hassin, T. 294, 304
 Häußler, Peter 118
 Havel, Ivan M. 100, 118
 Haverkamp, A. 252
 Hawking, Stephen William (*1942) 113, 118, 128, 149

- Hawkins, Jeff 403, 416
Hayek, Friedrich August von (1899-1992) 401, 416
Hegel, Georg Wilhelm Friedrich (1770-1831) 73, 80, 420, 437
Heiberg, Johan Ludwig (1791-1860) 296, 326
Heidegger, Martin (1889-1976) 75, 88
Heidelberger, Michael (*1947) 41, 45, 255, 267, 269, 271, 275, 277
Heilbron, John 32, 51, 62
Heilbronn, J. L. 305
Heine, Heinrich (1797-1856) 424, 425
Heisenberg, Werner (1901-1976) 38, 54, 62, 67, 299
Heller, K. D. 304
Helman, David H. 60
Helmcke, Johann 384, 396
Helmholtz, Hermann von (1821-1894) 41, 46, 224, 227, 255, 258, 265-277
Helmig, Jan 305
Helmont, Johan Baptista van (1580-1644) 225, 229
Hempel, Carl Gustav (1819-1877) 76, 88
Hempel, Carl Gustav (1905-1997) 250
Hendry, John (*1952) 255, 256, 258, 262, 263, 274, 276
Henke, Winfried (*1944) 381
Henninger-Voss, Mary J. 202, 203
Henschel, Ann Marie (*1959) 330
Hentschel, Klaus (*1961) 7, 13, 46, 50, 52, 57, 62, 66, 73-77, 82, 88, 93, 95, 118, 202, 203, 207, 224, 229, 230, 233, 280, 282, 288, 297, 300, 303, 330, 361, 381, 401, 407, 416, 419, 425, 435, 437
Heraklit (535-475 v. Chr.) 295
Herapath, John (1790-1868) 224, 226
Herbart, Johann Friedrich (1776-1841) 84, 85, 88
Herder, Johann Gottfried (1744-1803) 421
Hering, Ewald (1834-1918) 272, 285, 293, 304
Hermes Trismegistos 147
Herodot (490/480-425 v. Chr.) 285, 296, 421
Herrmann, Emanuel (1839-1902?) 288
Herrmann, Friedrich 39, 62, 99, 118
Herrmann, K. 253
Hertz, Heinrich (1857-1894) 13, 23, 27, 46, 59, 62, 266, 267, 273, 275, 276
Herwart von Hohenburg, Hans Georg (1553-1622) 173, 175, 179-182, 187, 190
Hesse, Mary Bertha 13, 15, 16, 18-20, 24, 42, 62, 255, 276, 405, 416
Hieron von Syrakus, König (306-215 v. Chr.) 309
Hirst, W. 304
Hobbes, Thomas (1588-1679) 14, 21, 22, 63
Hodge, Michael Jonathan S. 37, 60
Høffding, Harald (1843-1931) 13, 24, 50, 63, 205, 229, 246, 252, 269, 276
Hoffmann, Christoph 29, 42, 63
Hoffmann, Leopold Alois (1760-1806) 422
Höfler, Max 423, 437
Hogrebe, W. 253
Hölder, Otto (1859-1937) 271, 276
Holland, Peter W. H. 381
Holst, Erich von (1908-1962) 409-412, 416
Holton, Gerald (*1922) 304
Holyoak, Keith J. (*1950) 15, 24-27, 32, 39, 40, 42, 61-63
Homer (8. Jh. v. Chr.) 154, 170
Hooke, Robert (1635-1703) 31, 207-209, 217, 219
Hoppe, Hansgeorg 61, 234, 252
Hoppe-Sailer, Richard 61
Hopwood, Nick 33, 60
Horaz (Horatius Flaccus, Quintus) (63-8 v. Chr.) 24
Hörl, Erich 403, 416
Horner, William George (1786-1837) 332
Hornig Wann-Sheng 331, 356
Hoyer, Ulrich 52, 63
Hubig, Christoph (*1952) 20, 67, 70, 72, 78, 88, 89
Hübner, Adolf 88
Hübner, Claudia 374, 381
Hübner, Jürgen 172, 191
Hübner, Karl 68, 89
Hudry, Françoise 147, 149
Hughes, R. I. G. 62, 275
Hume, David (1711-1776) 244, 292, 294
Huneman, Philippe 16
Hunter, Michael 207, 208, 211, 212, 228, 229
Hunziker, R. 437
Husserl, Edmund (1859-1938) 75, 77, 89
Hutten, Ernest Hirschlaff 16, 43, 44, 63
Huygens, Christiaan (1629-1695) 207
Ingensiep, Hans-Werner 61
Insulis, Alanus ab (Alanus) 165
Irmischer, Johannes (1920-2000) 14, 19, 63
Iser, Lore 437
Isidor von Sevilla (um 560-636) 143, 144, 146
Itkonen, Esa 405, 416

- Jaeger, Werner (1888-1961) 326
 Jäger, Hans-Wolf 420, 422, 437
 Jahnke, Hans Niels 356
 Jakobson, Britt 107, 118
 James, William (1842-1910) 30, 63, 284, 304
 Jammer, Max 23, 43, 52, 63
 Janet, P. 304
 Janich, Peter 68, 89
 Janowitz, Morris 437
 Jastrow, J. 304
 Jean Paul, eigentl. Johann Paul Friedrich Richter (1763-1825) 421
 Jesseph, Douglas 326
 Jevons, William Stanley 24, 63
 Jeziorski, Michael 58, 59, 61, 97, 98, 118
 Johannes de Sacrobosco (1. Hälfte 13. Jh.) 175, 191
 Johnson, Mark 22, 63, 92, 94, 101, 119, 128, 150, 286, 304
 Jones, Harold Whitmore 65
 Jones, Roger S. 18, 63
 Jost, Jürgen 371, 381
 Joule, James Prescott (1818-1889) 224
 Juker, Werner 437
 Jung, Carl (1875-1961) 281, 284
 Jungnickel, Christa 266, 276
 Junn, Ellen N. 63
- Kablitz, A. 118
 Kaila, Eino (1890-1958) 284, 285, 288, 304
 Kaiser, David 246, 252
 Kambartel, F. 304
 Kamper, Dietmar 60
 Kant, Immanuel (1724-1804) 76, 89, 94, 118, 233-251, 253, 263, 276, 284, 419, 420, 437
 Kargon, Robert 45, 63, 66, 255, 258, 276
 Kasper, Lutz 9, 17, 20, 22, 39, 91, 104, 109-111, 119
 Kato, Y. 253
 Kauffman, Stuart 289, 304
 Kaulbach, Friedrich 42, 63
 Kawahara, Hideki 331, 357
 Keane, Mark T. 27, 63
 Kekulé, Friedrich August (1829-1886) 39
 Keller, Agathe (*1969) 329, 330, 357
 Kemp, Martin 36, 63
 Kepler, Johannes (1571-1630) 31, 41, 50, 52, 57, 59, 61, 171-193, 297-299, 309, 316-320, 322, 326
 Kergorlay, Louis de (1804-1880) 421
 Kern, Andrea 81, 89
- Kerner, Justinus (1786-1862) 169
 Keynes, John Maynard (1883-1946) 28, 38, 63
 Kim, Yung Sik 207, 215, 229
 Kimminich, Eva 149
 Kipnis, Nahum 39, 63
 Kircher, Athanasius 159, 163, 170
 Kircher, Ernst 95, 118
 Kirchhoff, Gustav Robert (1824-1887) 259, 267, 273
 Kirschner, Stefan 192
 Kitcher, Philip (*1947) 234, 248, 250-253
 Kittay, Eva Feder 17, 63
 Klahr, David 407, 416
 Klaus, Georg 403, 416
 Klein, Martin J. 43, 63, 255, 266, 276
 Klein, Ursula (*1952) 37, 63
 Kleinert, Andreas (*1940) 8, 195, 203
 Kleist, Ewald Georg von (1700-1748) 108
 Klotter, Karl 29, 63
 Kluxen, Wolfgang 14, 63
 Knobloch, Eberhard (*1943) 60, 191, 309, 316, 317, 319, 320, 325-327
 Knorr-Cetina, Karin (*1944) 63
 Knudsen, Ole (*1939) 257, 258, 276
 Köchy, Kristian 67, 89
 Koestler, Arthur 85, 87, 89
 Köhler, E. 303, 304
 Köhler, Eckehart 88
 Kohl, Helmut (*1930) 8
 Koj, Leon Józef (1929-2006) 77, 89
 Kokinov, Boicho N. 61
 Kolárvá, E. 304
 König, Josef 69, 74, 75, 89, 253
 Kopernikus, Nikolaus (1473-1543) 49, 172, 173, 175-178, 180, 181, 186, 193
 Koppe, Franz 16, 17, 19, 20, 63, 436, 437
 Koselleck, Reinhart (1923-2006) 281, 282, 304, 422, 436
 Kotheder, Andreas 33, 61
 Kouba, Petr 107, 118
 Koyré, Alexandre (1892-1964) 195, 202, 203
 Kraemer, Eric 88
 Krafft, Fritz (*1935) 41, 50, 57, 171, 172, 174-176, 178-180, 182-184, 188-193, 294, 295, 303, 304, 317, 327
 Kragh, Helge (*1944) 53, 63, 258, 276
 Kramer, Max 391, 396
 Kramer, O. 389, 391, 392
 Krantz, D. 271, 276
 Kranz, Walther 88
 Kraus, Helmut 107, 118

- Kraus, Otto 381
Kretzenbacher, Heinz L. 101, 118
Kreutz, Wilhelm 426, 427, 435, 437
Kries, Johannes von (1853-1928) 271, 276
Krips, Henry 207, 229
Kroes, Peter A. 15, 29, 32-34, 63, 65
Krohn, Wolfgang (*1941) 297, 306
Kronecker, Leopold (1823-1891) 284
Krönig, August Karl (1822-1879) 225-227
Krüger, Dirk 118
Krüger, Reinhard (*1951) 14, 123, 124, 126, 134, 139, 146, 149, 150
Kues, Nikolaus von (1401-1464) 173, 192, 193
Kühne, Andreas (*1952) 192
Kuhn, Thomas S. (1922-1996) 51, 62, 212, 229, 298, 299, 304
Kümmel, Werner Friedrich (*1936) 195, 205, 226, 229, 419, 438
Kummer, Benno 390, 392, 393, 397
Kunitzsch, Paul 192
Küppers, Bernd-Olaf (*1944) 404, 415, 416
Kut, Elvan 118, 119
- Lactantius (um 300 n. Chr.) 421
Lafayette, Marie Joseph, Marquis de (1757-1834) 433
Lagrange, Joseph Louis de (1736-1813) 257, 258
Lakebrink, Bernhard (1904-1991) 234, 252
Lakoff, George (*1941) 22, 63, 92, 94, 101, 118, 119, 128, 150, 286, 304
Lamarck, Jean-Baptiste Pierre de Monet (1744-1829) 376
La Mettrie, Julien Offroy de (1709-1751) 17
Lam Lay Yong 332, 357
Lange, Friedrich Albert 274, 276
Langley, Patrick W. 406, 416
Laplace, Pierre Simon Marquis de (1749-1827) 30, 259
Largeault, Jean 327
Larmor, Sir Joseph (1857-1942) 61, 257, 276
Latour, Bruno (*1947) 361, 362, 381
Laudan, Larry 17, 63
Laurikainen, K. V. 298, 304
Lavoisier, Antoine (1743-1794) 31, 93
Lazardzig, Jan 380
Leatherdale, William Hilton 14, 15, 17, 24, 30, 42, 58, 63
Ledgeway, Tim 63
Lefèvre, Wolfgang 253
Lehner, Günther 105, 119
Lehrer, Adrienne 17, 63
Leibniz, Gottfried Wilhelm (1646-1716) 14, 65, 73, 89, 253, 309, 319-322, 326, 327
Leinfellner, Werner 88
Le Lionnais, François 415
Lemke, Jay L. 97, 119
Leonardo da Vinci (1452-1519) 22, 35, 36, 63, 65, 388, 389, 397
Leonardo von Pisa (1180-1241) 314
Leutsch, Andreas 305
Levin, Samuel R. (1917-2010) 17, 64
Lichtenberg, Georg Christoph (1742-1799) 366, 381, 382
Lichtenberg, Joachim 118
Li Chunfeng (602-670) 331, 332, 335, 341, 343, 350
Li Jimin (1938-1993) 331, 337, 357
Li Yan, auch Li Yen (1892-1963) 331, 333, 357
Liebers, Klaus 118
Liebig, Justus (1803-1873) 58, 64
Lille, Alain de (um 1120-1202) 165
Lin Cangyi 356
Linus, Franciscus (Hall, Francis) (1595-1675) 208, 215, 218
List, Martha 191
Liu Dun (*1947) 331, 356
Liu Hui (c. 263) 331, 332, 335, 336, 338-343, 346, 347, 349-351
Lloyd, Geoffrey Ernest Richard (*1933) 14, 16, 39, 64, 235, 252, 330, 357
Locke, John (1632-1704) 22, 94, 119, 256, 257, 276
Lodge, Sir Oliver Joseph (1851-1840) 13, 45, 47, 64
Lorch, Richard P. 192
Lo, Yuet Keung 14, 64
Lorenz, Konrad (1903-1989) 39, 64, 229, 294, 304
Luce, R. D. 276
Ludwig, Carl (1816-1895) 29
Lullus, Raimundus (1232/35-1315/16) 73, 89
Lun, Anthony W.-C. 357
Lützen, Jasper 267, 276
Lyell, Charles (1797-1875) 280
Lynch, Michael 41
- Maasen, Sabine 22, 28, 64
Mach, Ernst (1838-1916) 13, 15, 29, 31, 64, 82, 89, 258, 269, 276, 279-290, 292-305
Mackensen, Lutz 103, 119
Maclaurin, Colin (1698-1746) 256, 257, 276

- Macpherson, Crawford B. 21, 63
 Macrobius Ambrosius Theodosius (um 385/90-
 n. 430) 134
 Maddison, R. E. W. 207, 229
 Magnani, Lorenzo 61
 Maier, Michael (1569-1622) 157, 158, 170
 Malament, David B. 277
 Malebranche, Nicolas (1638-1715) 48
 Malement, David 64
 Mandelbaum, Maurice 215, 229
 Mandler, George 289, 290, 304
 Manier, Daniel 22, 290, 304
 Mansfeld, Jaap 206, 229
 Mariotte, Edmé (1620-1684) 206, 208
 Markman, Arthur B. 294, 304
 Maschwitz, Eleonore 397
 Maschwitz, Ulrich 397
 Masotti, Arnaldo 203
 Mästlin, Michael (1550-1631) 172, 176, 177,
 182, 186, 187, 190, 192, 193
 Mataric, Maja J. 403, 416
 Matschoss, Conrad (1871-1942) 408, 416
 Maxwell, James Clerk (1831-1879) 23, 27, 30,
 31, 41, 45-47, 60, 63-65, 116, 225-227, 229,
 255-269, 271-277, 407
 Mayer, J. P. 437
 Mayer, Julius Robert (1814-1878) 60, 224
 Mayer, Richard E. 60, 105-107, 119
 Mayer-Kuckuk, Theo (*1927) 111, 119
 Mayr, Ernst (1904-2005) 364, 374, 381
 Mayr, Otto 408, 410, 416
 Mayring, Philipp 111, 119
 McCormach, Russell 266, 276
 McDermott, John J. 284, 304
 McGuinness, Brain 304
 McReynolds, Paul 17, 64
 Meerbote, R. 252
 Meier, Christian 436
 Meinel, Christoph (*1949) 361, 381
 Mellor, David Hugh 43, 64
 Melnick, Arthur 234, 240, 244, 252
 Mendelejev, Dmitri Iwanowitsch (1834-1907) 57
 Mengel, Peter 57, 64
 Menger, Karl (1902-1985) 286, 304
 Mengoli, Pietro (1625-1686) 322
 Methuen, Charlotte 176, 192
 Metzger, Hélène 32, 57, 64
 Meulen, Volker ter (*1933) 7
 Meyer, Karl 192, 397
 Meyer, Lothar (1830-1895) 57
 Michalsky, Tanja 150
 Michelangelo Ricci 107
 Michel, Karl Markus 437
 Mikelskis, Helmut F. 119
 Mikelskis-Seifert, Silke 108, 119
 Milant'ev, V. P. 51, 64
 Mill, John Stuart (1806-1873) 13, 15, 64
 Miller, George A. 291, 304
 Mindel, Joseph 40, 64
 Minelli, Alessandro 364, 381
 Minkowski, Hermann (1864-1909) 286
 Mitchell, Maceo 327
 Mittelstaedt, Horst (*1923) 409-412, 416
 Mittelstaedt, Peter 242, 252
 Mittelstraß, Jürgen (*1936) 66, 437
 Modersohn, Mechthild 164-166, 170
 Mohammed aus Bagdad 314
 Mohl von Helmholtz, Anna von 64
 Mohr, G. 253
 Moldenhauer, Eva 437
 Moldovan, Andrei 62
 Molho, Anthony 436
 Möllenbeck, Thomas 275
 Montagu, Francis Ashley 59
 Montaigne, Michel de (1533-1592) 126, 149,
 150
 Montinari, Mazzino 437
 Moraw, Peter 150
 Moses 128, 132, 141
 Moyer, Donald F. 43, 64
 Müller, Albrecht von 61, 118
 Müller, Johannes (1801-1858) 271
 Müller, M. 252
 Müller, Olaf 234, 253
 Müller, Roland 23, 42, 64
 Müller, Uwe (*1956) 170
 Münsterberg, Hugo (1863-1916) 284, 304
 Musschenbroek, Pieter van (1692-1761) 108
 Nachtigall, Werner (*1934) 383, 384, 386, 393-
 397
 Naef, Adolf (1883-1949) 371, 381
 Nagaoka, Hantaro (1865-1950) 52
 Nagel, Ernest 13, 15, 25, 32, 60, 64
 Navier, Claude Louis Marie Henri (1785-1836)
 259
 Needham, Noel Joseph Terence Montgomery
 (1900-1995) 332, 337, 357
 Nersessian, Nancy J. 27, 45, 61, 64, 255, 277
 Nervi, P. C. 385, 389, 390, 397
 Netz, Reviel 312, 327
 Neumann, John von (1903-1957) 292

- Neuweiler, Gerhard (1935-2008) 88, 89
Newton, Sir Isaac (1643-1727) 30, 52, 114, 117,
192, 218-220, 229, 253, 297, 298
Nickel, Gregor 275
Nickles, Thomas 62, 64
Niedermeier, Michael 419
Nietzsche, Friedrich (1844-1900) 425, 437
Nikias (um 470-413 v. Chr.) 421
Nikolaus von Kues (1401-1464) 173, 192, 193
Niven, William Davidson (1842-1917) 64, 229,
276, 277
Noel, William 312, 327
Nordenstam, Tule 79, 89
Nordenstamm, Tore 89
Nordmann, Alfred 62, 275
Norman, Robert (geb. um 1500) 179
Nunez, Rafael 92, 94, 119

Oakley, D. A. 304
Oberbeck, Anton (1846-1900) 103, 104, 119
Occam, William von (1288-1348) 282, 288
Odifreddi, Piergiorgio 356
Oeser, E. 304
Ohm, Georg Simon (1789-1854) 257, 258, 276,
277
Oken, Lorenz (1779-1851) 377-381
Olbrechts-Tyteca, Lucie 16, 64
Olson, David Richard 356
Olson, Richard (*1940) 255, 277
Oppenheim, Paul (1885-1977) 250
Oppenheimer, Robert (1904-1967) 16, 39, 64
Origenes Adamantius (185-254/3) 139, 140
Ørsted, Hans Christian (1777-1851) 256
Ortalli, Gherardo 381
Ortony, Andrew 31, 40, 60, 61, 66, 118, 119
Osborn, A. F. 31
Ostwald, Wilhelm (1853-1932) 29, 268, 300
Otto von Freising (1111/15-1158) 421
Owen, Sir Richard (1804-1892) 377

Pachter, Lior 374, 381
Palmer, Robert Roswell 437
Papalekas, Johannes Chr. 416
Pape, Helmut (*1950) 188, 193
Pappas, Z. 304
Pappos von Alexandria (um 300 n. Chr.) 73
Paracelsus (eigtl. Philippus Aureolus P.
Theophrastus Bombastus von Hohenheim)
(1493/1494-1541) 33, 59-61, 151, 152, 155-
157, 161, 164-167, 170
Park, Katherine 14, 64
Park, Robert E. (1864-1944) 426
Parmenides von Elea (c. 540/535-483/475 v.
Chr.) 70
Parrini, P. 252
Parthier, Benno (*1932) 170
Pascal, Blaise (1623-1662) 206, 209
Pasteur, Louis (1822-1895) 87
Paty, Michel 15, 31
Patzig, Günther 253
Pauli, Wolfgang (1900-1958) 298
Pawlowski, Tadeusz 78, 89
Peano, Guiseppe (1858-1932) 284
Pearson, Karl (1857-1936) 282, 292, 305
Peirce, Charles Sanders (1839-1914) 46, 72, 85,
88, 89
Pelzer, Erich 437
Peng Hao 331, 351, 352, 357
Perelman, Charles 16, 24, 64
Perréal, Jean 157, 160
Perrott, David A. 298, 305
Peskova, J. 304
Peurbach, Georg (1423-1461) 176, 193
Pezdek, Kathy 62
Pfaundler, Leopold (1839-1920) 31
Philoponos, Ioannes (ca. 490-570) 50
Piaget, Jean (1896-1980) 284, 303
Pieper, Annemarie (*1941) 234, 239, 241, 248,
253
Plaass, Peter 234, 253
Planck, Max (1858-1947) 283, 297, 305
Platon (428/7-348/7 v. Chr.) 14, 39, 133, 173,
177, 179, 316, 317, 327
Plinius Secundus, Gajus d. Ä. (23/24-79) 145
Pliska, Vladimir 109, 118, 119
Poincaré, Jules Henri (1854-1912) 31, 46, 87,
89, 282, 284, 305
Poisson, Siméon Denis (1781-1840) 32, 259
Polya, Georg (1887-1985) 39, 313, 322, 327
Porta, Giambattista della (1534/35-1615) 168,
170, 179, 180, 182, 183, 193
Pouillet, Claude Servais Matthias (1790-1868)
29, 64
Power, Henry (1623-1668) 208, 209, 217, 219
Prandtl, Ludwig (1875-1953) 45, 64
Prauss, G. 253
Prince, M. 304
Pringe, Hernán 245, 246, 253
Probyn, Clive T. 129, 150
Proust, Christine (*1953) 330
Psillos, Stathis 44, 64
Ptolemaios (um 100 bis um 160) 175

- Pulaczewska, Hanna 95, 99, 119
 Pulte, Helmut (*1956) 233, 248-251, 253, 356
 Pyle, Andrew 207, 215, 229
 Pythagoras (um 582 - um 500 v. Chr.) 133, 318
- Qian Baocong (1892-1974) 331, 333, 357
 Quetelet, Adolphe (1796-1874) 30
 Quine, Willard van Orman (1908-2000) 78, 79, 89
 Quintilian, Marcus Fabius (c. 35-c. 95 n. Chr.) 16, 24, 70, 89
- Rada, Roy 27, 60
 Radman, Zdravko 21, 65
 Ramachandran, Vilayanur 293, 305
 Ramus, Petrus (1515-1572) 175
 Randall, Lisa 18, 38, 65
 Rankine, William John Macquorn (1820-1872) 64, 225, 258
 Rashed, Roshdi 326
 Redhead, Michael 42, 44, 65
 Regenbogen, Otto (1891-1966) 14, 65
 Rehberg, Karl-Siegbert 406, 416
 Rehder, Wulf 82, 89
 Reichenbach, Hans (1891-1953) 38, 49, 65
 Reimer, Marga 92, 119
 Reisch, Gregor (1467/70-1525) 70, 71, 89
 Resnick, Robert 118
 Reuleaux, Franz (1829-1905) 73, 84, 89
 Rex, Friedemann 176, 193
 Rhaeticus, Georg Joachim (1514-1574) 178
 Rheinberger, Hans-Jörg 361, 362, 381
 Ribot, T. 304
 Richards, Ivor Armstrong (1893-1979) 92, 119
 Richter, Jean Paul 36, 65
 Ride, William D. L. 381
 Riefer, David 62
 Rieffel, François (1790-?) 195
 Riemann, Bernhard (1826-1866) 32, 280, 287, 300, 305
 Riesenhuber, Heinz (*1935) 8
 Ries, Klaus 380
 Ritter, Joachim 63, 252
 Rizolatti, Giacomo 89
 Robespierre, Maximilien François M. I. de (1758-1794) 430
 Rolf, Eckard 92, 119
 Roob, Alexander 155, 159, 170
 Rosen, Edward 186, 188, 193
 Rosenblith, Walter A. 405, 416
 Rosenstiel, Anna K. 66
- Rosenstock-Huessy, Eugen (1888-1973) 433, 437
 Rothbart, Daniel 16-18, 65
 Rothe, Hartmut 381
 Rovere, Francesco Maria della (1490-1538) 195-197, 199, 201, 202
 Rudwick, Martin J. S. 375, 381
 Ruse, Michael 39, 65
 Russell, Bertrand Arthur William, 3rd Earl (1872-1970) 413, 416
 Rutherford, Ernest (1871-1937) 9, 50
- Sacrobosco, Johannes de (1. Hälfte 13. Jh.) 175, 191
 Saenger, Hans Gerhard 193
 Salcher, Peter 63
 Salmon, Wesley C. 57, 65, 405, 407, 416
 Sanga, Glauco 381
 Sargent, Rose-Mary 207, 229
 Sarlemijn, Andries 15, 25, 29, 33, 34, 65
 Sauer, Wolfgang 429, 435, 437
 Schack, Thomas 293, 305
 Schadewaldt, Wolfgang (1900-1974) 14, 65, 170
 Schaede, Stephan 275
 Schäfer, Lothar (*1934) 60, 234, 253
 Schank, Jeffrey 88
 Scharrer, Ernst 39, 65
 Schavan, Annette (*1955) 8
 Schecker, Horst 105, 119
 Scheiner, Christoph (1575-1650) 183
 Schelling, Friedrich Wilhelm Joseph von (1775-1854) 58
 Scherrer, Klaus 371, 381
 Schiemann, Gregor (*1954) 46, 65, 67, 89, 258, 266, 277
 Schildknecht, Hermann E. 394, 397
 Schiller, Friedrich (1759-1805) 112
 Schleiden, Matthias Jacob (1804-1881) 361, 380, 381
 Schleiner, Winfried 24, 65
 Schlimm, Dirk 27, 65
 Schmälzle, Peter 39, 65
 Schmaus, M. 252
 Schmidt, Gunnar 35, 65
 Schmidt, Ursula 57, 65
 Schmidt-Biggemann, W. 118
 Schmieder, Felicitas 150
 Schmitt, Rudolf 110, 119
 Schmitt, Stephane 369, 381
 Schneider, Ditmar 207, 229

- Schneider, Thomas 13, 65
Schoenmakers, J. M. 33, 34
Schönrich, G. 253
Schott, Heinz (*1946) 14, 33, 35, 151, 156, 157, 170
Schramm, Helmar 380
Schramm, Matthias 326
Schramm, Percy Ernst (1894-1970) 148, 150
Schrödinger, Erwin (1887-1961) 299
Schubart, Christian Friedrich Daniel (1739-1791) 422, 437
Schubert, Gotthilf Heinrich (1780-1860) 169, 170
Schummer, Joachim 114, 119
Schumpeter, Joseph Alois (1883-1950) 73
Schurz, G. 252
Schwarte, Ludger 380
Scott, Dana 271, 277
Sebeock, Thomas A. 88
Seck, Friedrich 179, 187, 193
Seeliger, Rudolf 15, 65
Seneca, Lucius Annaeus (um 4 v. Chr.-65 n. Chr.) 157
Serebryakova, Katheryna 31
Shakespeare, William (1564-1616) 22
Shannon, Claude Elwood (1916-2001) 291, 305
Shapin, Steven 207, 229, 230
Shashkov, M. J. 88
Shelley, Cameron 40, 65
Shen, Kangshen (1923-2009) 331, 337, 357
Shomar, Towfic 60
Siegel, Daniel M. 45, 65, 255, 257, 277
Siegert, Reinhart 422, 423, 436, 437
Siemsen, Hayo 15, 279, 283, 285, 296, 302, 305, 306
Siemsen, Karl Hayo 296, 302, 303, 305
Simek, Rudolf (*1954) 132, 137, 150
Simmons, George F. 322, 327
Simon, Herbert A. (1916-2001) 288, 305, 406, 407, 416
Simonides von Keos (557/6-468/7 v. Chr.) 130
Siu, Man-Keung 331, 357
Slack, Jonathan M. 374, 381
Smith, Adam (1723-1790) 28, 400, 401, 415, 416
Smith, Craig 415
Smith, Paul Simard 62
Sneath, Peter Henry Andreas 363, 381
Snelders, Henricus A. M. 15, 31, 58, 65
Snell, Bruno (1896-1926) 69, 74, 89
Sokal, Alan 10
Sokal, Robert Reuven 363, 381
Sommerfeld, Arnold (1868-1951) 53, 59
Spelding, James 88
Spinoza, Baruch oder Benedict de (1632-1677) 433
Sprat, Thomas 58, 65
Spurgeon, Caroline F. E. 22, 65
Stachowiak, Herbert (*1921) 23, 47, 64, 65
Stäckel, Paul (1862-1919) 322, 327
Stadler, Friedrich (*1951) 282, 303-305
Stahl, Ann Brower 13, 15, 40, 65
Stamatis, Evangelhos S. 326
Steele, J. F. 395
Stegmüller, Wolfgang (1923-1991) 43, 65, 76, 89
Stein, Howard 274, 277
Steinberg, Robert J. 17, 66
Stepan, Nancy L. 16, 65
Stephenson, Bruce 184, 186, 189, 193
Stern, William (1871-1938) 286, 288, 293, 305
Stevens, Peter Francis 369, 381
Stevens, Stanley S. 263, 277
Stevin, Simon (1548-1620) 312, 314
Stewart, Dugald (1753-1828) 256
Stewart, M. A. 214, 228, 230
Stichweh, Rudolf (*1951) 400, 404, 416, 417
Sticker, Bernhard (1906-1977) 14, 65, 192
Stigler, George J. 416
Stites, Raymond S. 22, 65
Stöltzner, M. 253
Stolzenburg, K. 252
Strub, Christian 21, 65
Stückelberger, Alfred 206, 230
Stumpf, Carl (1848-1936) 283
Sturluson, Snorri (1179-1241) 137, 138
Sturmfels, Bernd 374, 381
Suárez, Mauricio 60
Sudhoff, Karl (1853-1938) 170
Su Huiyu 356
Su Junhong 356
Sunzi Suanjing 333
Suppes, Patrick Colonel (*1922) 43, 60, 271, 276, 277
Sutton, Clive 103, 119
Svatos, M. 304
Swammerdam, Jan (1637-1680) 170
Swift, Jonathan (1667-1745) 129-131, 150
Szabó, Árpád 14, 19, 65
Tait, Peter Guthrie (1831-1901) 64
Takeda, Sueo 234, 253
Talanga, Jossip 235, 252
Tarski, Alfred 43, 60

- Tartaglia, Niccolò (1500-1557) 195-197, 199-203
 Tautz, Diethard (*1957) 363, 381
 Teuwsen, Rudolf 79, 89
 Thagard, Paul 15, 24, 27, 40, 57, 63, 407, 417
 Theimer, Walter 429, 436
 Thibaudet 150
 Thiel, Christian 66, 304
 Thiele, Joachim 305
 Thiele, Rodney B. 118
 Thiele, Rüdiger 326
 Thöle, Bernhard 240, 241, 253
 Thomas, Richard 381
 Thomé, H. 118
 Thompson, d'Arcy Wentworth (1860-1948) 35, 66
 Thompson, F. Christian 381
 Thomson, Joseph John (1856-1940) 19
 Thomson, William (Lord Kelvin) (1824-1907)
 43, 64, 66, 225, 257-259, 261, 262, 265, 267,
 273, 275-277
 Thorndike, Lynn 191
 Thorp, John 206, 230
 Thukydides (um 460 - um 400 v. Chr.) 421, 429
 Tiemann, Axel 15, 66
 Tilly, Charles (1929-2008) 435, 437
 Titchener, Edward B. (1867-1927) 290
 Tocqueville, Alexis de (1805-1859) 421, 437
 Toellner, Richard (*1930) 170
 Tomesen, H. P. 33, 34
 Tooby, John 286, 293, 305
 Torrance, Nancy 356
 Torricelli, Evangelista (1608-1647) 107, 206,
 207, 209
 Toupin, Cecile 26, 31, 40, 61
 Tourangeau, Roger 17, 66
 Townley, Richard (1628-1707) 208, 209, 217, 219
 Treagust, David F. 39, 66
 Tubbs, Philipp K. 381
 Turner, Joseph 255, 258, 261, 277
 Turner, Mark 17, 21, 61
 Tversky, A. 276
 Tylor, Edward Burnett 286, 288
- Uexküll, Jakob Johann von (1864-1944) 288
 Uleman, J. 304
 Ullmann, Stephan (1914-1976) 24, 66
 Usener, Hermann Carl (1834-1905) 281
- van Bendegem, Jean Paul 30, 59
 Van Cleve, James 244, 253
 van Helmont, Johan Baptista (1580-1644) 225,
 229
- van Musschenbroek, Pieter (1692-1761) 108
 van't Hoff, Jacobus Henricus (1852-1911) 15,
 29, 39, 66
 van Zantwijk, Temilo 251, 253
 Varignon, Pierre (1654-1722) 321
 Varro, Marcus Terentius (116-27 v. Chr.) 133,
 134, 142, 143
 Vinci, Leonardo da (1452-1519) 22, 35, 36, 63,
 65, 388, 389, 397
 Virbel, Jacques 329, 357
 Vitruv (1. Jh. v. Chr.) 309, 327
 Vogler, Alfried 381
 Vogt, Helmut 118
 Volkov, Alexei (*1957) 14, 330, 331, 357
 Vollhardt, F. 118
 von den Brincken, Anna-Dorothee (*1932) 145,
 150
 Vosniadou, Stella 31, 40, 61, 66
 Vries, Matthias de 225, 230
- Wachsmuth, Richard 64
 Wagenschein, Martin (1896-1988) 298
 Walker, Jearl 118
 Wallas, Graham (1858-1932) 85, 89
 Wallis, John (1616-1703) 207
 Walter, Jochen 305
 Wang Ling (1917-1994) 332, 337, 357
 Wassmund, Hans 434, 435, 437
 Watt, James (1736-1819) 228, 407
 Weber, Wilhelm Eduard (1804-1891) 259
 Webster, Charles 208, 230
 Weierstrass, Karl (1815-1897) 293
 Weingart, Peter 22, 28, 64
 Weingartner, P. 253
 Weinrich, Harald 21, 24, 66, 118
 Weippert, Georg 416
 Weischedel, Wilhelm (1905-1975) 252, 437
 Weiß, Christoph 422, 438
 Weitzenfeld, Julian S. 57, 66
 Weizsäcker, Carl Friedrich von (1912-2007)
 242, 244, 253, 413, 417
 Weller, Charles M. 15, 25, 39, 66
 Wertheimer, Max (1880-1943) 285, 305
 Wettley, Annemaria 192
 Weyl, Hermann (1885-1955) 284, 316, 327
 Whalen, P. P. 88
 Wheeler, John Archibald (1911-2008) 19
 Wheeler, William Morton (1865-1937) 19
 Whewell, William (1794-1866) 256, 257, 263,
 277
 Wickmann, Per-Olof 107, 118

- Wieland, Christoph Martin (1733-1813) 420, 421, 423, 438
Wiener, Norbert (1894-1964) 401, 403, 407, 408, 416, 417
Wiener, Philip P. 64
Wiesemüller, Bernhard 360, 381
Wiesenfeldt, Gerhard 366, 382
Wilczek, Frank A. (*1951) 283, 298, 299, 302, 305
Willaschek, M. 253
Wilpert, Paul 193
Wilson, E. O. 19
Wimmerstedt, Johannes 207, 230
Winner, Ellen 32, 40, 66
Winsberg, Eric 82, 89
Wise, M. Norton 45, 66
Wittenberg, Alexander Israel (1926-1965) 285, 289, 303, 305, 306
Wittgenstein, Ludwig (1889-1951) 78, 88, 89, 127, 284
Witt, Hermann de 39, 66
Wittwer, Amrei 118, 119
Wohlrapp, Harald 65
Wolfers, J. P. 219, 229
Wolff, Joachim 86, 89
Wolff, Phillip 61
Wolfschmidt, Gudrun 365, 382
Wolters, Gereon (*1944) 43, 66
Wood, Gordon S. 436
Woolgar, Steve 361, 381
Worthington, Arthur Mason (1852-1916) 35
Worth, Sol 21
Wren, Christopher (1632-1723) 207
Wright, Thomas 42, 66
Wulf, Christoph 60
Wundt, Wilhelm (1832-1920) 72
Wylie, Alison 15, 40, 66

Xerxes (um 519 v. Chr.-um 465 v. Chr.) 285

Young, Robert Maxwell 28, 66
Yousefi, Hamid Reza 62
Yukawa, Hideki (1907-1981) 28, 66

Zajonc, Arthur 102, 111, 112, 115-117, 119
Zantwijk, Temilo van 251, 253
Zeitoun, Hassan Hussein 39, 66
Zeller, Eduard (1814-1908) 269
Zelter, Karl Friedrich (1758-1832) 423
Zilsel, Edgar (1891-1944) 281, 282, 295-297, 306
Zinguer, Ilana 170
Zinnes, Joseph L. 271, 277
Zizek, Joseph 435, 436
Zoroaster (6. Jh. v. Chr.) 295
Zwicky, Fritz (1898-1974) 31
Zytkow, Jan M. 416

ISBN: 978-3-8047-2865-3
ISSN: 0001-5857