

E-Journal (2016)

5. Jahrgang · 1

Forum
Interdisziplinäre
Begriffsgeschichte
(FIB)

Herausgegeben von Ernst Müller
Zentrum für Literatur- und Kulturforschung Berlin

Impressum

Hrsg. von	Ernst Müller, Zentrum für Literatur- und Kulturforschung Berlin (ZfL) www.zfl-berlin.org
Gastherausgeberinnen dieser Ausgabe	Eva Axer, Eva Geulen, Alexandra Heimes
Direktorin	Prof. Dr. Eva Geulen
©	2016 · Das Copyright und sämtliche Nutzungsrechte liegen ausschließlich bei den Autoren, ein Nachdruck der Texte auch in Auszügen ist nur mit deren ausdrücklicher Genehmigung gestattet.
Redaktion	Ernst Müller (Leitung), Herbert Kopp-Oberstebrink, Dirk Naguschewski, Tatjana Petzer, Falko Schmieder, Georg Toepfer, Stefan Willer
Wissenschaftlicher Beirat	Faustino Oncina Coves (Valencia), Christian Geulen (Koblenz), Eva Johach (Konstanz), Helge Jordheim (Oslo), Christian Kassung (Berlin), Clemens Knobloch (Siegen), Sigrid Weigel (Berlin)
ISSN	2195-0598
Gestaltung	Carolyn Steinbeck · Gestaltung
Layout/ Satz	Jana Sherpa
gesetzt in der	ITC Charter

Inhalt

5 Einleitung

Eva Axer, Eva Geulen, Alexandra Heimes

BEITRÄGE

11 »Analogien«, »Interpretationen«, »Bilder«, »Systeme« und »Modelle«: Bemerkungen zur Geschichte abstrakter Repräsentationen in den Naturwissenschaften seit dem 19. Jahrhundert

Moritz Epple

31 »Wellenformen« – Die Leistung mathematischer Modellbildung für Akustik, Physiologie und Musiktheorie

Bettina Schlüter

43 Das Modell als Vermittler von Struktur und Ereignis. Mechanische, statistische und verkleinerte Modelle bei Claude Lévi-Strauss

Michael Bies

55 Modelle in Wirklichkeit. Computation und Simulation in der Architektur

Carolin Höfler

71 Simulationsmodelle

Gabriele Gramelsberger

78 Klimatologie als Anthropologie. Modellierung von Natur im späten 18. Jahrhundert

Hanna Hamel

90 Das große Unsichtbare. Die Modellierung von Klima zwischen Wissen- schaft und Literatur

Solvejg Nitzke

102 Neoklassische Polychronie. Die Temporalitäten algebraischer Modelle bei Alfred Marshall

Andreas Langenohl

115 Formelideal und Problemlösung – Über den Gebrauch mathematischer Formeln in der reinen Mathematik und der mathematisierten Ökonomik

Sebastian Giacovelli

Einleitung

In diversen Wissenschaftsdisziplinen ist derzeit eine Konjunktur der Begriffe Modell und Modellierung zu beobachten. Darunter sind auch solche Disziplinen, die Begriff wie Praxis des Modells bislang nicht zu ihrem methodischen Kernbereich zählten. Die Aktualität des Begriffs wie die Notwendigkeit einer Arbeit mit Modellen zeigt sich beispielsweise im Kontext sogenannter ›global challenges‹ wie klimatischer oder ökonomischer Krisen, die immer schon die Zuständigkeit einzelner Wissenschaften überschreiten und eine interdisziplinäre Zusammenarbeit verlangen. Eine zunehmende Resonanz modellhaften Denkens lässt sich indessen auch dort erkennen, wo kanonische Themen aus dem Geltungsbereich der Geistes- und Kulturwissenschaften zur Diskussion stehen. Es liegt daher die Vermutung nahe, der Modellbegriff erweise sein Potenzial nicht nur hinsichtlich der Analyse und Prognose komplexer dynamischer Systeme, sondern auch im Hinblick auf die interdisziplinäre Untersuchung tradierter Gegenstände wie literarischer Formen und Epochen, deren geschichtlicher Wandel beleuchtet werden soll.¹ Die neue Anschlussfähigkeit für literatur- und kulturwissenschaftliche Ansätze ist u. a. der jüngeren Modelltheorie zu verdanken,² welche das Modell bzw. den Modellierungsvorgang selbst im Modell erfasst und zugleich auf die ›aktiven Potenziale‹³ sowie auf die Grenzen von Modellen hinsichtlich ihres epistemischen Status oder ihrer Materialität hingewiesen hat.

Dieser Publikation voran ging der Workshop »Theorie und Begriffsgeschichte des Modells«, der am 03./04. September 2015 am ZfL stattfand. Er wurde im Rahmen des DFG-Schwerpunktprogramms »Ästhetische Eigenzeiten« organisiert und brachte Vertreter aus geistes-, sozial- und naturwissenschaftlichen Fachrichtungen zu einer interdisziplinären Diskussion zusammen.⁴ Das Programm des Workshops – fallstudienartige Untersuchungen entlang gemeinsamer thematischer Schwerpunkte – dokumentiert auch der vorliegende Band: Ein erster thematischer Fokus setzt bei den Herausforderungen an, die sich für die Modellierung von komplexen und dynamischen Systemen stellen, wie sie vor allem in jüngerer Zeit an Bedeutung gewinnen. Mit der Durchsetzung neuartiger Technologien, etwa in der Klimaforschung

1 Vgl. etwa Forschungsprofil des Graduiertenkollegs »Literarische Form« an der Universität Münster [<http://www.unimuenster.de/GRKLitForm/Profil/Forschung/index.html>] oder das Forschungsprofil des Graduiertenkollegs »Modell Romantik« an der Universität Jena [<http://www.modellromantik.uni-jena.de/index.php/forschungsprofil/>].

2 In diesem Kontext ist auf die 2015 gegründete »Gesellschaft für Modellforschung« an der Humboldt-Universität zu Berlin zu verweisen, die aus dem Basisprojekt »Modelle in der Gestaltung« des Exzellenzclusters »Bild Wissen Gestaltung« hervorgegangen ist.

3 Vgl. zum ›Eigensinn‹ von Modellen u. a. Reinhard Wendler: *Das Modell zwischen Kunst und Wissenschaft*, Paderborn 2013.

4 Vgl. auch den Tagungsbericht zum Workshop unter <http://aesthetische-eigenzeiten.de/blog/wandel/>. Zum DFG-Schwerpunktprogramm 1688 »Ästhetische Eigenzeiten. Zeit und Darstellung in der polychronen Moderne« vgl. <http://www.aesthetische-eigenzeiten.de>.

oder auch in der architektonischen Entwurfspraxis, stellt sich die Frage nach dem Verhältnis von Modell, Referent und Wirklichkeit unter veränderten Vorzeichen. Neu zu vermessen sind somit auch die Spielräume und die Grenzen, die daraus für ein modellgeleitetes Denken und Handeln entstehen. Anschließend an die Fragestellung »Ästhetischer Eigenzeiten« liegt ein zweiter Fokus auf den zeitlichen Dimensionen der Modelle selbst. Dabei steht nicht im Vordergrund, wie zeitliche Verläufe modellhaft abgebildet bzw. konstruiert werden, sondern vielmehr, inwiefern Modelle immanente Eigenzeiten hervorbringen, wie Zeit in Modellen konzeptionalisiert und zur Darstellung gebracht wird und welche prognostischen Ausgriffe auf Zukunft sie erlauben. Deutlich wird hier auch die Reichweite flankierender Konzepte wie der Transformation und der »beweglichen« Disposition, welche die vorliegenden Aufsätze innerhalb unterschiedlichster Kontexte, so z. B. an den Schnittstellen von Musik und Mathematik, zur Geltung bringen. Eine weitere gemeinsame Fluchtlinie der Beiträge liegt in der Frage nach dem epistemischen Status von Modellen. In dieser Perspektive geht es einerseits um die Formen des Wissens und Mutmaßens, die durch Modelle möglich werden, und andererseits um die epistemischen Koordinaten, die der Modellbildung selbst jeweils vorausliegen und diese strukturieren.

Dass sich diese drei Themenfelder immer auch wechselseitig durchdringen, zeigt sich vielleicht am prägnantesten dort, wo Zeitlichkeit und Wandel – verstanden als Eigenzeiten der Modellbildung – in den Blick rücken. Denn wenn dieser Aspekt nicht allein die Gegenstände des Modellierens betrifft, steht hier gleichermaßen auch die Konstitution der Modelle selbst auf dem Spiel, und zwar in pragmatischer wie in theoretischer Hinsicht. Für die Theorie, oder genauer die Epistemologie der Modelle⁵, stellt sich die Frage nach der diskursiven Beschaffenheit und den Voraussetzungen dieses Konzepts, das sich als Schlüsselbegriff in den verschiedensten Kontexten und Disziplinen behauptet. Insofern ist nicht nur der je spezifischen Situiertheit und Einbindung der Modellkonzepte Rechnung zu tragen, sondern ebenso den Dynamiken der Übertragung, die sich zwischen diesen Feldern abspielen, sowie den mitunter verschlungenen Wegen der »Formung, Umformung und Formalisierung«⁶, die ihre Genealogie historisch bestimmen. Nun scheint eine solche Perspektive auf Modellbegriffe in einer gewissen Spannung zumindest zu deren traditionellem Selbstverständnis zu stehen. Denn wenn das Modell eine ordnungsstiftende Funktion besitzen soll, so hätte es sich nach »orthodoxer« Auffassung als ein konstantes, idealisiertes »Maß«⁷ zu bewähren, das den Wechselfällen der Empirie gerade enthoben ist. Doch nicht nur in den konkreten Praktiken des Modellierens zeigt sich ein anderes Bild, wenn diese zunehmend mit dynamischen und experimentellen Verfahren operieren oder die unkontrollierbaren Überschüsse hervorkehren, die Modelle prinzipiell zeitigen. Auch in der theoretischen Diskussion zeigen sich markante Verschiebungen an, die kritisch auf begriffliche Festlegungen wie die Statik, Idealität oder Universalität von Modellen reagieren.⁸ Von Interesse ist dabei nicht lediglich die Relativierung herkömmlicher Bestimmungen; selbstredend kann es auch nicht um die Aufsplitterung der Diskussion in zahllose Partikulardiskurse gehen. Vielmehr kann die Erforschung von prägnanten historischen Konstellationen dazu beitragen, gegenläufig zur vermeintlich fraglosen Geltung der Begriffe die ihnen inhärente, diskursive Unruhe freizulegen und produktiv zu wenden.

Jedoch stehen historische Untersuchungen von Modellen, zumal in begriffsgeschichtlicher Perspektive, vor nicht geringen Herausforderungen. Erstens, weil eine Eingrenzung des Begriffs und der ihm

5 Vgl. dazu Bernd Mahr: »On the Epistemology of Models«, in: Günter Abel/James Conant (Hg.): *Rethinking Epistemology*, Bd. 1, Berlin/Boston 2011, S. 301–352.

6 Georges Canguilhem: »Die Geschichte der Wissenschaften im epistemologischen Werk Gaston Bachelards«, in: ders.: *Wissenschaftsgeschichte und Epistemologie. Gesammelte Aufsätze*, Frankfurt a. M. 1979, S. 7–21, hier S. 9. Vgl. auch Ernst Müller/Falko Schmieder: »Interdisziplinäre Begriffsgeschichte«, in: *Trajekte* 12 (April 2012), S. 4–9.

7 So die wörtliche Bedeutung von lat. »modulus«, aus dem der Begriff des Modells hervorgegangen ist. Vgl. Bernd Mahr: »Modellieren. Beobachtungen und Gedanken zur Geschichte des Modellbegriffs«, in: Sybille Krämer/Horst Bredekamp (Hg.): *Bild – Schrift – Zahl*, München 2004, S. 59–86, hier S. 60 f.

8 Vgl. z. B. Friedrich Balke/Bernhard Siegert/Joseph Vogl (Hg.): *Archiv für Mediengeschichte* 14 (2015), Themenheft »Modelle und Modellierung«.

zugehörigen Praktiken schwierig ist: In der Alltagssprache ist die Rede vom Modell ebenso geläufig wie im Rahmen wissenschaftlicher Expertise; es kursiert als Wort und Metapher wie auch als Fachterminus, Begriff oder Denkfigur, ohne dass sich die Grenzen immer klar ziehen ließen. Überdies sind die jeweiligen Auffassungen sowohl mit bestimmten Wissensordnungen korreliert als auch mit höchst unterschiedlichen Formen der Praxis – nicht nur das Modell als Instrument oder Technik, auch der Begriff als solcher interferiert mit spezifischen Gebrauchsweisen, Funktionen und Darstellungsformen. Zweitens weist das Verhältnis von Begriff und Sache im Fall des Modells spezifische Komplikationen auf. Der Begriff im Allgemeinen und das Modell als sein je besonderer Fall treffen sich in ihrem Anspruch auf Allgemeinheit, der Synthese des Disparaten in einem kohärenten Schema, und sie teilen entsprechend auch gewisse charakteristische Probleme – etwa das Risiko einer allzu summarischen Abstraktion oder auch der selektiven Einseitigkeit. Eine Erfassung des (historischen) Gegenstandsbereichs steht drittens vor Problemen auch deshalb, weil sich im Sinne eines weitgefassten Verständnisses jedes »begrifflich-theoretische Erkennen [...] unter einem seiner Aspekte zu seinem Objekt modellierend verhält.«⁹ In den 1960er und 1970er Jahren wurde von einer systematisch verfahrenen »allgemeinen Modelltheorie« im Umfeld von Kybernetik und Systemtheorie eine generalisierende und überhistorische Bestimmung des Modellbegriffs vorgenommen; zugleich wurde darauf hingewiesen, dass Modelle zu einem bestimmten Zeitpunkt im Hinblick auf eine spezifische Intention gebildet werden.¹⁰ Eine begriffsgeschichtliche Untersuchung geht – diachron oder synchron – über eine solche zeitlich indexikalisierte Funktionsbestimmung hinaus und könnte die historische Gewordenheit des Begriffs und die vielfältigen semantischen Verflechtungen, die ihn formieren, aufarbeiten. In diesem Sinn erscheint es fraglich, ob die Systematisierung der Begriffsgeschichte nach Maßgabe von mathematisch-logischen Kriterien der epistemischen Reichweite gerecht wird, die in der disziplinär verzweigten Genealogie der Modelle angelegt ist.¹¹ Von besonderem Interesse sind dabei die Beziehungen zwischen Gesellschaft, Kultur und Wissenschaften einerseits, und den wechselseitigen Bezügen zwischen den Natur- und Geistes- bzw. Sozialwissenschaften andererseits, die im Raster einer klassischen Begriffsgeschichte bislang ausgeblendet wurden. Solche Bezüge sind zu beleuchten, ohne die begriffsgeschichtliche Sedimentierung vorschnell unter die Herrschaft von Schlagworten wie »Mathematisierung« oder »Technologisierung« zu bringen.

In diesem Sinne ist es die Absicht der Beiträge dieses Bandes, die mittels modellierender Verfahren je ermöglichte Erzeugung, Bewertung, Systematisierung und vor allem Zusammenführung von Wissen anhand von Fallstudien exemplarisch herauszuarbeiten. In Form einer historischen Kontextualisierung rekonstruieren verschiedene Beiträge die jeweilige epistemische Situation, in der die Arbeit mit Modellen stattfand. Sie muss also gerade auch dort aufgesucht werden, wo der Begriff des Modells noch gar nicht zu finden ist, mit anderen Begriffen in Beziehung tritt oder sich aufgrund technischer Errungenschaften wie der computergestützten Simulation weiter ausdifferenziert.

9 Rolf Bernzen: »Modell«, in: Hans Jörg Sandkühler (Hg.): *Europäische Enzyklopädie zu Philosophie und Wissenschaften*, Hamburg 1990, S. 425–432, hier S. 426. Daraus resultierte, laut Bernzen, in der Vergangenheit eine geringe Anzahl »methodenhistoriographischer Untersuchungen.« Ebd., S. 425.

10 Stachowiak definierte das Modell als »pragmatische Entität [...] eines (mindestens) fünfstelligen Prädikats« im Sinne der Semiotik: »X ist Modell des Originals Y für den Verwender k in der Zeitspanne t bezüglich der Intention Z.« Herbert Stachowiak: »Modell«, in: Helmut Seiffert/Gerard Radnitzky (Hg.): *Handlexikon zur Wissenschaftstheorie*, München 1992, S. 219–222, hier S. 219.

11 Vgl. exemplarisch Friedrich Kaulbach/Klaus Mainzer: »Modell«, in: Joachim Ritter/Karlfried Gründer (Hg.): *Historisches Wörterbuch der Philosophie*, Bd. 6, Basel/Stuttgart 1984, Sp. 45–50, welche den Modellbegriff auf das Prinzip der Analogie verpflichten und wie folgt definieren: ein Modell ist die »Abbildung eines [disziplinären] Sachverhaltes in einer [der Disziplin entsprechenden] Darstellung bzw. Theorie.«

Zu den Beiträgen:

Die historische Genese mathematisch-logischer Modellkonzepte nehmen die Beiträge von MORITZ EPPLE und BETTINA SCHLÜTER in den Blick. Der Wissenschaftshistoriker Epple untersucht die vielfältigen Einsätze abstrakter Repräsentationsformen in den Naturwissenschaften des 19. Jahrhunderts und zeigt, dass diese weder einen theoretischen Modellbegriff voraussetzen konnten noch konsequent auf einen solchen hinausliefen. Stattdessen arbeitet Epple die Umwege und Verschiebungen heraus, welche die Formation des mathematischen Modellbegriffs bis ins 20. Jahrhundert hinein bestimmten. Bettina Schlüter analysiert die Funktion von mathematischer Modellbildung im Bereich der Akustik, Physiologie und musikalischen Ästhetik in der Mitte des 19. Jahrhunderts. Schlüter beleuchtet ausgehend von Hermann von Helmholtz' Arbeiten den Perspektivwechsel, den mathematische Abstraktionen für das Verständnis akustischer Phänomene herbeiführten, indem sie form- und strukturbildende Momente bei der Visualisierung von Schall erkennbar werden ließen. MICHAEL BIES befasst sich mit der Bedeutung sowohl mathematisch-physikalischer Modelle als auch eines an der Kunst entwickelten Modellbegriffs für den Strukturalismus Claude Lévi-Strauss'. Bies führt die Grenzen wie Potenziale dieser Modellbegriffe für einen dynamischen Strukturbegriff in historischer sowie in logisch-systematischer Perspektive vor. Hier wie auch im folgenden Beitrag von CAROLIN HÖFLER wird zudem die zentrale Rolle deutlich, die der britische Biologe und Mathematiker D'Arcy Wentworth Thompson für eine über disziplinäre Grenzen hinausreichende Konzeptualisierung von dynamischer Modellierung einnimmt. Dies gilt, wie Höfler zeigt, bis hin zu aktuellen Entwurfstechniken im Design und der Architektur. D'Arcy Thompsons vermittelnde Position zwischen Mathematik und morphologischer Formtheorie erweist sich gerade dort als bedeutsam, wo das *Computational Design* neue Möglichkeiten eines zeitbasierten, experimentellen Entwerfens eröffnet.

Drei weitere Aufsätze widmen sich dem Klima, das in den letzten Jahrzehnten regelrecht zum Vorzeige-Paradigma einer verzeitlichten und hochgradig komplexen Modellbildung geworden ist. Die drei Autorinnen gehen diesem Phänomen in unterschiedlichen historischen und disziplinären Konstellationen nach: GABRIELE GRAMELSBERGER befasst sich mit computerbasierten Simulationen in der heutigen Klimaforschung, die stets auch Zukunfts- bzw. Prognoseforschung impliziert. Gramelsberger geht zunächst auf die historische Verankerung dieses Modelltyps in der neuzeitlichen *mathesis* ein, um dann die Übergänge zu schildern, die zu alternativen Formen des Zukunftswissens im Medium der Simulation führen. HANNA HAMELS Beitrag widmet sich einer Zeit vor der institutionalisierten Klima- (und Modell-)Forschung. Im späten 18. Jahrhundert wird Klimatologie noch unter anthropologischen Auspizien erörtert, doch es formieren sich in diesem Diskurs bereits epistemische Problemlagen, die bis heute virulent sind. Dies wird deutlich in der Kontrastierung von Immanuel Kants und Johann Gottfried Herders Naturvorstellung und ihrer jeweiligen modellhaften Erschließung. Die Interferenzen von wissenschaftlichem und literarischem (Nicht-)Wissen diskutiert SOLVEJG NITZKE anhand von Klima-Narrativen in zeitgenössischen Romanen. Literatur und wissenschaftliche Modelle sind beide gehalten, ihren Gegenstand, das Klima, allererst herstellen zu müssen. Der Unterschiedlichkeit ihrer Verfahren ungeachtet durchdringen sich diese und wirken wechselseitig aufeinander ein.

Den Abschluss des Bandes bilden ANDREAS LANGENOHLS und SEBASTIAN GIACOVELLIS Analysen zur mathematischen Modellbildung in der Ökonomie. Mit Michel Foucault und Niklas Luhmann umreißt Langenohl das epistemologische Profil der neoklassischen Ökonomik, das er anhand von Alfred Marshalls Theorie des ökonomischen Gleichgewichts weiter vertieft. Dabei treten nicht allein die notorisch unterbelichteten, temporalen Mehrdeutigkeiten der neoklassischen Modellbildung in den Blick, sondern ebenso deren – in der Regel nicht minder unterschätzte – performative Kraft. Aus der Perspektive einer Soziologie ökonomischen Wissens argumentiert Sebastian Giacobelli. Sein Thema sind sogenannte Formelideale, ideal-

typische algebraische Modellierungen, die in der neoklassischen Ökonomik den logischen Spielraum der Problemlösung determinieren. Giacobelli befragt die Unterschiede in der Logik der Modelle, wenn diese nicht mehr, wie in der Mathematik, rein selbstbezüglich operieren, sondern auf die Empirie wirtschaftlicher Prozesse bezogen werden.

Eva Axer, Eva Geulen, Alexandra Heimes als Gastherausgeberinnen dieser Ausgabe.
Teilprojekt »Zeit und Form im Wandel.
Goethes Morphologie und ihr Nachleben in der Theoriebildung des 20. Jahrhunderts«,
DFG-Schwerpunktprogramm 1688 »Ästhetische Eigenzeiten.
Zeit und Darstellung in der polychronen Moderne«.

BEITRÄGE

»Analogien«, »Interpretationen«, »Bilder«, »Systeme« und »Modelle«: Bemerkungen zur Geschichte abstrakter Repräsentationen in den Naturwissenschaften seit dem 19. Jahrhundert

Moritz Epple

Trotz eines rasch gewachsenen Interesses an der Geschichte des ›Denkens in Modellen‹ liegt ein detailliertes historisches Verständnis der verschiedenen Weisen und Formen solcher Denkformen in den Wissenschaften noch in einiger Ferne. Dies ergibt sich vor allem daraus, dass im retrospektiven Zugriff oft nicht allzu genau auf den zum Teil überraschend vielfältigen epistemologischen Sprachgebrauch der Akteure geachtet wird. Nicht selten mag dadurch nicht nur der Sprachgebrauch, sondern auch die Denkform selbst nur ungenau in den Blick geraten.

Zur Erläuterung sei auf eine gerne und häufig zitierte Passage aus der Einleitung von Heinrich Hertz in seine *Prinzipien der Mechanik* von 1894 hingewiesen. Hertz formulierte dort:

Wir machen uns innere Scheinbilder oder Symbole der äußeren Gegenstände, und zwar machen wir sie von solcher Art, dass die denknotwendigen Folgen der Bilder stets wieder die Bilder seien der naturnotwendigen Folgen der abgebildeten Gegenstände. Damit diese Forderung überhaupt erfüllbar sei, müssen gewisse Übereinstimmungen vorhanden sein zwischen der Natur und unserem Geiste. Die Erfahrung lehrt uns, dass die Forderung erfüllbar ist und dass also solche Übereinstimmungen in der That bestehen. Ist es uns einmal geglückt, aus der angesammelten bisherigen Erfahrung Bilder von der verlangten Beschaffenheit abzuleiten, so können wir an ihnen, wie an Modellen, in kurzer Zeit die Folgen entwickeln, welche in der äußeren Welt erst in längerer Zeit oder als Folgen unseres eigenen Eingreifens auftreten werden; wir vermögen so den Thatsachen vorauszuweichen und können nach der gewonnenen Einsicht unsere gegenwärtigen Entschlüsse richten. – Die Bilder ...¹

Ludwig Wittgenstein, auf den die Hertz'schen Überlegungen zu den Bildern der äußeren Wirklichkeit starken Eindruck machten, sollte hieraus etwa zwei Jahrzehnte später mit einer unscheinbaren Veränderung den berühmten Satz 2.12 seines *Tractatus logico-philosophicus* formen: »Das Bild ist ein Modell der Wirklichkeit.«

1 Heinrich Hertz: *Die Prinzipien der Mechanik*, Leipzig 1894, S. 1–2, Hervorhebung ME.

Die Verbindung dieser beiden Texte und Motive ist bisweilen zum Kernstück einer Genealogie des Denkens der wissenschaftlichen Moderne in abstrakten und insbesondere in mathematischen Modellen erklärt worden. In Wittgensteins Formulierung verschwindet allerdings eine Differenz, die im Hertz'schen Text – wenn man ihn genau liest – besteht, eben die zwischen Bildern, die »wie Modelle« sind, und den Modellen selbst. *Nach* Wittgenstein wurde es möglich – freilich zunächst noch immer nicht üblich –, auch in den Naturwissenschaften, von abstrakten, immateriellen Modellen wirklicher Zusammenhänge zu sprechen. Bis zu Hertz und noch in der Wendung seines Vorwortes waren jene Modelle, denen die Bilder *glichen*, ohne ihnen *gleich zu sein*, jedoch nichts Abstraktes, sondern etwas Konkretes, wie es schon seit Jahrhunderten in einer Reihe von handwerklichen, künstlerischen und akademischen Kontexten von der Architektur bis zur Malerei bekannt und erst kurz vorher auch in den Naturwissenschaften zu einiger neuer Prominenz gelangt war: jene materiellen Dinge, in welchen wissenschaftliche Gegenstände zur Anschauung und Darstellung gebracht wurden, die uns heute in großer Zahl in Sammlungen und Museen überliefert sind. Beispiele sind die damals geschäftsmäßig vertriebenen Gips- oder Fadenmodelle mathematischer Objekte (Abb. 1 u. Abb. 2) oder materielle Modelle biologischer und chemischer Dinge (Abb. 3).²

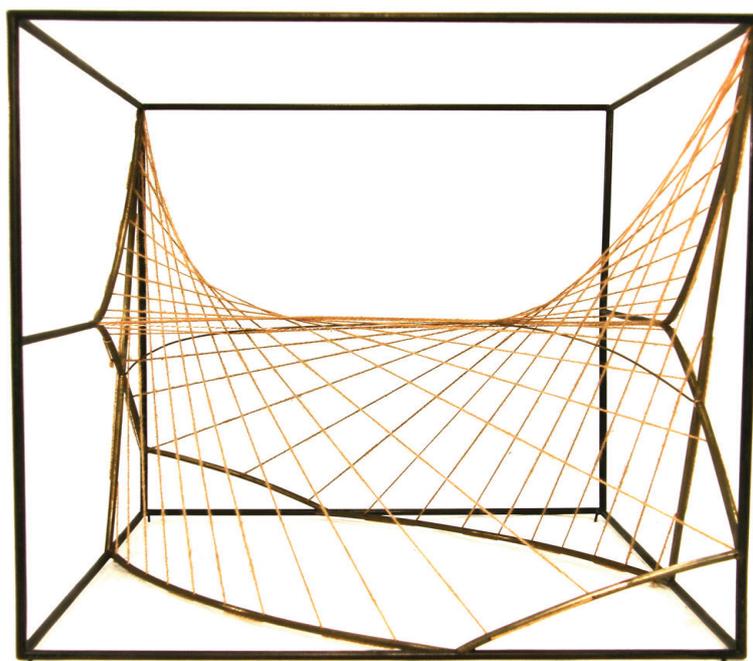


Abb. 1: Modell einer Raumkurve mit singulären Punkten
(Sammlung mathematischer Modelle am Institut für Diskrete Mathematik
und Geometrie der TU Wien)

² Zu den mathematischen Modellen im damaligen Sinn vgl. u. a. Gerd Fischer (Hg.): *Mathematische Modelle*, 2 Bde., Braunschweig/Wiesbaden 1986; Herbert Mehrrens: »Mathematical Models«, in: Soraya de Chadarevian/Nick Hopwood (Hg.): *Models. The Third Dimension of Science*, Stanford 2004, S. 276–306; Anja Sattelmacher: »Geordnete Verhältnisse. Mathematische Anschauungsmodelle im frühen 20. Jahrhundert«, in: *Berichte zur Wissenschaftsgeschichte* 36/4 (2013), S. 294–312. Vgl. ferner die Übersicht auf <http://www.universitaets-sammlungen.de/modelle>. Weit zurück im Kontext akademischer Lehre geht insbesondere das architektonische Modell, an dem – wie es z. B. im 18. Jahrhundert hieß – »der praktische« Teil der akademischen Ausbildung erfolgte.



Abb. 2: Gipsmodell einer Fläche 3. Ordnung, Sammlung Mathematischer Modelle, Foto: Norbert Kaltwaßer. Copyright: Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, 06099 Halle (Saale)



Abb. 3: Modell des Pilzes *Puccinia graminis* (Getreiderost) [Osterloh], Botanisches Museum Greifswald, Foto: David Ludwig

Die Geschichte der Denkformen, der epistemologischen Motive, die sachlich mit dem in Verbindung stehen, was erst die wissenschaftliche Moderne – nach Wittgenstein und vielen anderen – als (theoretische, auch mathematische) »Modelle« bezeichnet hat, steht hier vor einer Verzweigung ihres möglichen Weges. Eine Geschichte der Modelle im Wortsinn müsste die Spuren der genannten materiellen Gegenstände und ihrer Gebrauchsweisen im Detail verfolgen – auch sie ist noch weitgehend ungeschrieben. Dennoch kennen selbstverständlich auch die Wissenschaften des 19. Jahrhunderts und früherer Zeiten verschiedene Formen von mehr oder weniger abstrakten, mehr oder weniger nicht-materiellen Repräsentationen – Heinrich Hertz' »Bilder« sind nur *ein* spätes Beispiel.

Die naturwissenschaftlichen Diskurse des 19. Jahrhunderts sprachen neben den »Bildern« von einer ganzen Reihe weiterer Dinge, welche Wissensgegenstände repräsentieren konnten, auch ohne Modelle im damaligen Sinn zu sein. Weite Verbreitung fanden im 19. Jahrhundert in dieser Funktion insbesondere die Begriffe der »Analogien«, »Interpretationen« und der »Systeme« von wirklichen oder gedachten Dingen. Die Beispiele, die mit solchen Begriffen verbunden waren, sind häufig für die Wissenschaftsentwicklung von substanzieller Bedeutung gewesen. Sie stehen aber, wie ich im Folgenden andeuten möchte, für ganz unterschiedliche Formen und Funktionen der abstrakten Repräsentation. Den Begriff »abstrakte Repräsentation« verwende ich hierbei etwas vage und naiv als schlichten Oberbegriff für verschiedene Weisen, einen Komplex von wissenschaftlich interessierenden Dingen oder Sachverhalten durch etwas anderes darzustellen und für die wissenschaftliche Praxis zu thematisieren, *ohne* dabei auf materielle, anfassbare Dinge zurückzugreifen, wie dies die »Modelle« in der Sprache des 19. Jahrhunderts taten. Zugleich soll dadurch (*pace* Wittgenstein und unangesehen der inflationären Verwendung des Modellbegriffs seit Mitte des 20. Jahrhunderts) vermieden werden, vorschnell von einem »Denken in Modellen« zu reden. Wir werden noch sehen, dass die in Rede stehenden, abstrakten Repräsentationen bisweilen sehr *konkrete* epistemische Funktionen hatten. Das Wort »abstrakt« sollte hier also nicht überbewertet werden. Insbesondere möchte ich im Folgenden jeweils die spezifische *epistemische Situation* charakterisieren, d. h. die Besonderheiten der Wissensumstände, in welchen der Rückgriff auf eine Form der abstrakten Repräsentation geschah und den Beteiligten vielversprechend erschien.

Ich verstehe diese Bemerkungen in zweierlei Hinsicht als Prolegomena. Zunächst historisch: als Vorbemerkungen zu einer Geschichte des Denkens in abstrakten Repräsentationen, die an *Akteurskategorien* orientiert ist und die in der Variation dieser zeitgenössischen Kategorien ein Feld wichtiger historischer *und* epistemologischer Differenzen sieht, das nicht zu rasch eingeebnet werden sollte. Zum anderen geht es mir auch in epistemologischer Hinsicht um Vorbemerkungen zu einer differenzierten Analyse der Formen und Funktionen abstrakter Repräsentationen in den Wissenschaften der Moderne. In beiden Hinsichten geht es mir insbesondere darum zu zeigen, dass eine Reduktion der Diskussion der historischen Funktion von abstrakten Repräsentationen auf das Problem der Perspektivität oder Relativität (ein »realer« Sachverhalt kann viele – auch inäquivalente – Repräsentationen/Modelle haben, was für ein Denken in Modellen letztlich die Kategorie des Realen in Frage stellt) zu kurz greifen würde. Dieses Problem, das zu Recht als ein wesentliches Signum der wissenschaftlichen Moderne angesehen wurde, ist vielleicht zuerst in Gaston Bachelards *Le nouvel esprit scientifique* und seinen Bemühungen um eine nicht-cartesische Epistemologie mit Entschiedenheit betont worden.³ Im historischen Material, so hoffe ich plausibel zu machen, ist dies jedoch keineswegs der einzige betonenswerte Aspekt, und zum Teil finden sich geradezu gegenläufige Tendenzen zu dieser Entwicklung. Dies spricht nicht gegen Bachelards These, wohl aber gegen eine Unterschätzung der Komplexität der epistemischen Geschichte der modernen Wissenschaften.

3 Gaston Bachelard: *Le nouvel esprit scientifique*, Paris 1934.

1. Dynamical analogies, physical/mechanical analogies, mathematical analogies

Ich beginne mit einer in der Mitte des 19. Jahrhunderts häufig umkreisten Form abstrakter Repräsentation, die v.a. in den mathematisch verfahrenen Bereichen der Physik von großer Bedeutung war, und die auch noch in Hertz' Mechanik eine terminologisch fixierte Rolle spielte. Es handelt sich um die Analogie, die genauer in verschiedene Spielarten unterteilt werden müsste und manchmal als »physical analogy«, manchmal als »mathematical analogy«, manchmal (und bei Hertz) als »dynamische Analogie« bezeichnet wurde.⁴ Eine frühe explizite, epistemologische Reflexion findet sie in einem berühmten Text des schottischen Physikers James Clerk Maxwell, »On Faraday's Lines of Force« aus dem Jahr 1856.⁵

Dieser Text beginnt in der Tat mit einer Beschreibung der problematischen epistemischen Situation jenes Bereiches der Physik, um den es Maxwell ging: »The present state of electrical science seems peculiarly unfavourable to speculation.«⁶ Dies galt aus mehreren Gründen: Die Gesetze der statischen Elektrizität und einige Teile der mathematischen Theorie des Magnetismus seien zwar bekannt, aber über andere Teile lägen nicht einmal ausreichend experimentelle Daten vor. Es gebe mathematische Formeln für das Fließen von Strömen in leitenden Materialien sowie für deren gegenseitige Anziehung, aber die Beziehung derselben zu anderen Bereichen der Theorie der Elektrizität und des Magnetismus sei unklar geblieben, usw. In dieser Situation erfordere die Entwicklung einer Theorie der Elektrizität, dass die verschiedenen bekannten Teile mit mathematischer Präzision aufeinander bezogen und Vorschläge für die unbekannt Bereiche gemacht werden müssten, *ohne* jedoch »physikalische Hypothesen«⁷ zu machen, d. h. Annahmen über die physischen Sachverhalte, die den elektrischen und magnetischen Erscheinungen zugrunde lagen. Solche Hypothesen unterlagen wegen der nur teilweise bekannten experimentellen Daten zu dieser Zeit immer dem Risiko, fehlerhaft zu sein. Eine »physical theory«, d. h. eine realistische, kausale Erklärung der Elektrizität und des Magnetismus, blieb daher vorerst unerreichbar, nicht prinzipiell, sondern aufgrund der besonderen Lage der Erkenntnis.

In dieser Situation eines hochgradig unvollständigen, partiellen Wissens, so fasste Maxwell zusammen, ging es darum »to obtain physical ideas without adopting a physical theory«.⁸ Und um dies zu erreichen, so setzte er fort,

*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.*⁹

Die Beispiele, die Maxwell gleich im Anschluss gab – vor allem ein Beispiel, das er früheren Arbeiten seines Kollegen William Thomson (dem späteren Lord Kelvin) entnahm –, machten deutlich, dass er mit der »partiellen Ähnlichkeit zwischen den Gesetzen« zweier Wissenschaften die Übereinstimmung von

4 Auch die Geschichte des Denkens in Analogien lässt sich sehr weit zurück verfolgen. Die antike wissenschaftliche Tradition kannte die Analogie vor allem als *terminus technicus* der Mathematik, eingeführt als eine Relation der (epistemisch aufschlussreichen) Verhältnismöglichkeit $A:B=C:D$ zwischen vier Termen, von denen in der Regel drei bekannt sind und einer unbekannt ist, aber durch die Analogie bestimmt wird. Die lateinische Sprache hat diesen Ausdruck durch das Wort *proportio* wiedergegeben. In metaphorischer Erweiterung ist die Analogie in vielen Wissensgebieten eingeführt worden, wie nicht zuletzt Foucault in seiner Beschreibung des vorklassischen Denkens ausgeführt hat (vgl. Michel Foucault: *Les mots et les choses. Une archéologie des sciences humaines*, Paris 1966, Kap. 2). Wie die Schicksale der Analogie im 17. und 18. Jahrhundert verlaufen, wäre noch genauer zu untersuchen. Im Kontext der physikalischen Wissenschaften treten sie auch vor den hier besprochenen Texten schon in ähnlicher Funktion auf, vgl. z. B. Anm. 10.

5 James Clerk Maxwell: »On Faraday's Lines of Force«, in: W. D. Niven (Hg.): *The Scientific Papers of James Clerk Maxwell*, Bd. 1, Cambridge 1890, S. 155–229.

6 Ebd., S. 155.

7 Ebd.

8 Ebd., S. 156.

9 Ebd.

deren mathematischer Form meinte. In Thomsons Beispiel ging es darum, dass bestimmte mathematische Formeln, welche den Fluss von Wärme in Körpern regulierten, mit jenen übereinstimmten, welche die Anziehung von Körpern unter dem Einfluss einer gegenseitigen Kraft beschrieben, die umgekehrt proportional zum Quadrat ihres Abstandes war. Beide konnten beschrieben werden durch sog. Potentiale, d. h. Lösungen der Laplace'schen Differentialgleichung mit bestimmten Randbedingungen:

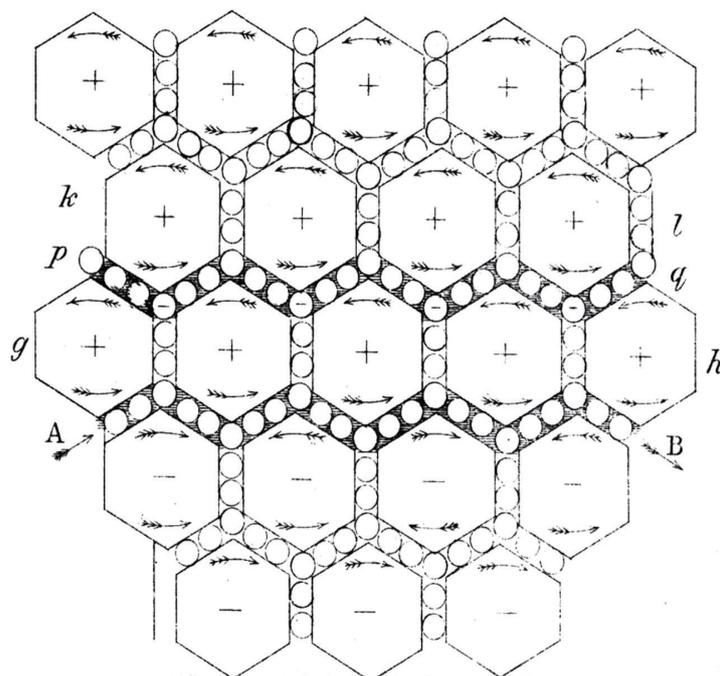
*We have only to substitute source of heat for centre of attraction, flow of heat for accelerating effect of attraction at any point, and temperature for potential, and the solution of a problem in attractions is transformed into that of a problem in heat.*¹⁰

Maxwell betonte, dass die physischen, kausalen Umstände beider Bereiche sehr verschieden waren und nicht in Analogie standen. Bei der Wärme ging es um ein Phänomen in einem kontinuierlichen materiellen Medium, bei der Anziehung um diskrete materielle Körper, die durch Kräfte über einen leeren Raum hinweg aufeinander wirkten. Es war lediglich die partiell übereinstimmende mathematische Form, welche die Analogie vermittelte. Es ging in der Analogie also um Übersetzung, um Symmetrie, um eine gemeinsame formale Struktur. Anders als das moderne Modell war die Analogie hier also nicht eine asymmetrische Beziehung einer Repräsentation zu einem Repräsentierten, sondern ein Verhältnis gegenseitiger Repräsentation. Wichtig ist auch, dass nicht die mathematische Form selbst zur Repräsentation eines physikalischen Phänomenbereichs erklärt wurde. Vielmehr war die »physical analogy« Maxwells eine symmetrische Relation zwischen verschiedenen, auf gleicher Stufe stehenden Bereichen physikalischer Phänomene. Wenn, wie im Thomson'schen Beispiel, einer der Bereiche der Mechanik angehörte, sprach Maxwell von einer »mechanical analogy«. Hier handelte es sich um eine für die Naturerklärung besonders attraktive Klasse von Analogien, da die Mechanik vorläufig als der bekannteste physikalische Bereich angesehen werden musste. Nachdem durch Thomson und andere die »dynamical theory« zum Schlagwort einer abstrakt theoretischen, mathematisch formulierten Version mechanischer Theorie geworden war, fand sich auch häufig der Ausdruck der »dynamical analogies« in den Texten der englischsprachigen *natural philosophers*.¹¹

Die Physik der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts diskutierte eine ganze Reihe weiterer Beispiele solcher Analogien. Maxwell selbst arbeitete sich in den Folgejahren daran ab, Analogien für den Elektromagnetismus zu finden. Unter anderem entwarf er die in Abb. 4 angedeutete »mechanical analogy« für die dynamische Wechselwirkung von elektrischem und magnetischem Feld. (Wenn die Sekundärliteratur diese Analogie bisweilen als »mechanical model« bezeichnet hat, handelt es sich genau genommen um einen weiteren Anachronismus.)

10 Ebd., S. 157. Thomson verdankt sein Beispiel vermutlich Michel Chasles: »Mémoire sur l'attraction d'une couche ellipsoïdale infiniment mince«, in: *Journal de l'Ecole Polytechnique* 15 (1837), S. 266–316 (den Hinweis verdanke ich Jesper Lützen: *Joseph Liouville 1809-1882. Master of Pure and Applied Mathematics*, Heidelberg/New York 1990, S. 141).

11 Zu den »dynamical analogies« vgl. u. a. Ole Knudsen: »Mathematics and Physical Reality in William Thomson's Electromagnetic Theory«, in: P. M. Harman (Hg.): *Wranglers and Physicists: Studies on Cambridge Physics in the Nineteenth Century*, Manchester 1985, S. 149–179 sowie (mit Schwerpunkt auf Maxwell) die Beiträge von Daniel M. Siegel, Jed Z. Buchwald und Norton M. Wise.

Abb. 4: Eine mechanische Analogie Maxwells¹²

In der epistemischen Situation, in der Maxwell diese Analogie bemühte, fällt es freilich schwer, sie anders als einen Versuch zu deuten, mithilfe der mechanischen Analogie, und kontrolliert durch die mathematischen Gleichungen, etwas über die Mikrostruktur der Wirklichkeit selbst herauszufinden, selbst dann, wenn diese *nicht* mechanisch strukturiert sein sollte. Maxwell stellte seinen Versuch nicht zuletzt auch als ein Gesprächsangebot an jene dar, die den Magnetismus für ein mikromechanisches Phänomen hielten.¹³

Ein besonders interessantes Beispiel einer physikalischen Analogie führte Hermann von Helmholtz im Jahr 1858 in die Literatur ein. Hier ging es um eine Analogie zwischen der Hydrodynamik, d. h. der Kontinuumsmechanik von Flüssigkeiten, und der statischen Theorie der von elektrischen Strömen erzeugten magnetischen Felder:

Diese [hydrodynamische] Aufgabe führt zu einer merkwürdigen Analogie der Wirbelbewegungen des Wassers mit den elektromagnetischen Wirkungen elektrischer Ströme. Wenn nämlich in einem einfach zusammenhängenden, mit bewegter Flüssigkeit gefüllten Raume ein Geschwindigkeitspotential existirt, sind die Geschwindigkeiten der Wassertheilchen gleich und gleichgerichtet den Kräften, welche eine gewisse Vertheilung magnetischer Massen an der Oberfläche des Raumes auf ein magnetisches Theilchen im Innern ausüben würde. Wenn dagegen in einem solchen Raume Wirbelfäden existiren, so sind die Geschwindigkeiten der Wassertheilchen gleichzusetzen den auf ein magnetisches Theilchen ausgeübten Kräften geschlossener elektrischer Ströme, welche theils durch die Wirbelfäden im Innern der Masse, theils in ihrer Oberfläche fließen, und deren Intensität dem Product aus dem Querschnitt der Wirbelfäden und ihrer Rotationsgeschwindigkeit proportional ist.

¹² Vgl. Figure 2 in James Clerk Maxwell: »On Physical Lines of Force«, in: Niven (Hg.): *Scientific Papers of James Clerk Maxwell* (Anm. 5), S. 451–513, hier S. 489.

¹³ Vgl. etwa Maxwells Verweis auf den »Mechanical Representation of Electric, Magnetic and Galvanic Forces« betitelten, 1847 erschienenen Aufsatz seines Kollegen William Thomson, in Maxwell: »On Physical Lines of Force« (Anm. 12), S. 453.

Ich werde mir deshalb im Folgenden öfter erlauben, die Anwesenheit von magnetischen Massen oder electrischen Strömen zu fingiren, blos um dadurch für die Natur von Functionen einen kürzeren und anschaulicheren Ausdruck zu gewinnen, die eben solche Functionen der Coordinaten sind, wie die Potentialfunctionen oder Anziehungskräfte, welche jenen Massen oder Strömen für ein magnetisches Theilchen zukommen.¹⁴

Ziel war auch hier wieder der Aufweis analoger formal-mathematischer Zusammenhänge zwischen unterschiedlichen Gegenstandsbereichen. Man beachte aber, dass Helmholtz auch in zwei Hinsichten eine epistemische Asymmetrie ins Spiel bringt: Zum einen erläutert hier der Elektromagnetismus die Hydrodynamik, nicht die Mechanik den Elektromagnetismus. Zum anderen, und diese Asymmetrie ist noch auffallender, erläutert die elektromagnetische Seite der Analogie auch die abstrakten mathematischen Dinge selbst, um die es geht, namentlich die (in bestimmten Situationen auch mehrdeutigen) Potentialfunktionen, die Helmholtz zur Beschreibung der Wirbelbewegungen heranzog.¹⁵ Diese oder eine (eng verwandte) epistemische Asymmetrie sollte später von Felix Klein zum Ausgangspunkt einer umfassenderen physikalischen Repräsentation mathematischer Forschungsdinge gemacht werden, die er freilich Bernhard Riemann und nicht Hermann von Helmholtz zuschrieb.¹⁶

Fassen wir die epistemischen Funktionen der physikalischen Analogien zusammen: Sie lieferten zunächst eine sehr fruchtbare Heuristik und insbesondere einen Ausweg aus dem forschungspraktischen Dilemma der unsicheren »physical hypotheses«, wie Maxwell schrieb. Insofern kann man in ihnen auch eine erste Distanzierung von einem starken (und mindestens zeitweise uneinlösbaren) Realismuszwang der physikalischen Wissenschaften sehen. Freilich bedeutete der Rückgriff auf die physikalischen Analogien auch eine klare Tendenz zur Betonung von formalen Gemeinsamkeiten in der physischen Welt, zur Herausarbeitung von einheitlichen mathematischen Formen in der Vielfalt der physischen Welt. Diese Tendenz ist deutlich *gegen* eine relativistische Epistemologie gerichtet, ja, sie mag sogar einem Realismus der Physik auf abstrakterer Ebene unmittelbar zuarbeiten. Wo sind die »physical analogies« schließlich auf der Skala zwischen konkreten und abstrakten Denkformen einzuordnen? Hier ist der Befund klar: Es ging vor allem um den Bau von Brücken zwischen verschiedenen *konkreten* Imaginationen, ja, möglicherweise auch um die Bereitstellung konkreter Imaginationen, welche abstrakte mathematische Gegenstände darstellen konnten. Die in den Analogien entwickelten konkreten Imaginationen konnten und sollten zur Entwicklung neuer »physikalischer Ideen« genutzt werden, wie insbesondere in der Ätherphysik der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts verfolgt werden könnte.¹⁷ Die erläuternde Seite der Analogie wurde dann – selbst gegen Maxwells Versicherung – zur gleichsam versuchsweise supponierten Realität. In dieser Weise verwendet, förderte die Analogiebildung trotz allem auch eine Form der perspektivischen Erklärung der physikalischen Wirklichkeit.

14 Hermann von Helmholtz: »Ueber Integrale der hydrodynamischen Gleichungen, welche den Wirbelbewegungen entsprechen«, in: *Journal für die reine und angewandte Mathematik* 55 (1858), S. 25–55, hier S. 27.

15 Vgl. die ausführliche Diskussion dieser Analogie in Moritz Epple: »Topology, Matter, and Space, I. Topological Notions in 19th-Century Natural Philosophy«, in: *Archive for the History of Exact Sciences* 52 (1998), S. 297–392, und Moritz Epple: *Die Entstehung der Knotentheorie. Kontexte und Konstruktionen einer modernen mathematischen Theorie*, Wiesbaden 1999, Kap. 4.

16 Felix Klein: *Über Riemann's Theorie der Algebraischen Functionen und ihrer Integrale*, Leipzig 1882.

17 Vgl. Helge Kragh: »The Vortex Atom: A Victorian Theory of Everything«, in: *Centaurus* 44 (2002), S. 32–114.

2. Interpretationen der nichteuklidischen Geometrie

Ich gehe nun über zu einem weiteren zentralen Kapitel in der Entwicklung der exakten Wissenschaften im 19. Jahrhundert, zu einer Episode, die retrospektiv, aber ebenfalls anachronistisch, häufig als ein Wandel hin zum Denken in mathematischen Modellen beschrieben worden ist. Gemeint ist die Entstehung und Verbreitung der sogenannten nichteuklidischen Geometrie. Für Gaston Bachelard bildete sie die paradigmatische Entwicklung, an der die Formierung des neuen wissenschaftlichen Geistes der Moderne in manchen Hinsichten am klarsten nachvollzogen werden konnte, und die zugleich die vielleicht früheste Episode dieses Wandels darstellte.¹⁸

Wieder zeigt sich bei näherem Hinsehen aber, dass die Akteure aus gutem Grund *nicht* von Modellen redeten (wenn sie dies doch taten, dann wieder im hergebrachten Sinn, s. u.) – und auch nicht Bezug nahmen auf die physikalischen Analogien, von denen eben die Rede war. Vielmehr griff der italienische Mathematiker Eugenio Beltrami in einem wichtigen Schritt dieser Entwicklung auf den Begriff der »Interpretation« zurück, genauer: den der Interpretation eines Systems von Grundsätzen oder Prinzipien der Geometrie. Hier gelangte eine bestimmte Form der Pluralität ins Spiel: Ein solches System von Grundsätzen, so implizierte Beltramis Intervention, konnte *mehrere* Interpretationen zulassen. Schon vor Beltrami war die komplementäre Frage aufgeworfen worden: Wie viele mögliche Systeme von Grundsätzen der Geometrie gibt es? Hier deutet sich an, dass ein weiterer epistemologischer Begriff thematisiert wurde: jener der »Systeme« (von Grundsätzen der Geometrie). Darüber hinaus wird uns in dieser Episode schließlich auch der Begriff des »Bildes« im historischen Material wieder begegnen ... Wiederum sei zunächst die epistemische Situation kurz skizziert, in der Beltrami seinen »Versuch einer Interpretation der Nichteuklidischen Geometrie« – so die deutsche Übersetzung des italienischen Titels seiner zentralen Schrift in diesem Zusammenhang¹⁹ – machte.

Die allmählichen, verteilten Anfänge jener Entwicklung, die schließlich unter dem Namen der nichteuklidischen Geometrie zusammengefasst wurde, sind wohlbekannt, beschäftigen aber immer noch die Historiker. Ich beschränke mich auf wenige Andeutungen, die für das Verständnis des Hauptpunktes wesentlich sind, und bitte die eingeweihteren Leserinnen und Leser um etwas Geduld.²⁰

Wichtig ist zunächst, dass im Lauf der 1820er und frühen 1830er Jahre einige Mathematiker zu der Überzeugung kamen, dass es neben dem tradierten System der Geometrie, das auf eine kontinuierliche Entwicklung seit der Antike zurückblicken konnte und als das vielleicht klarste Musterbeispiel einer beweisenden und zugleich die Wirklichkeit beschreibenden Wissenschaft galt, noch (mindestens) ein weiteres System der Geometrie gab, das mathematisch entfaltet werden konnte. Mathematische Außenseiter wie Janos Bolyai waren sich ebenso wie gestandene Wissenschaftler – Nikolai Lobatschewski in Kasan und Carl Friedrich Gauss in Göttingen – einig, dass eine Geometrie entwickelt werden konnte, in der das immer wieder diskutierte Euklidische Axiom der Parallelen *nicht* galt.

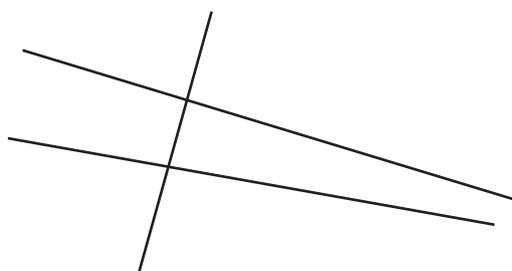


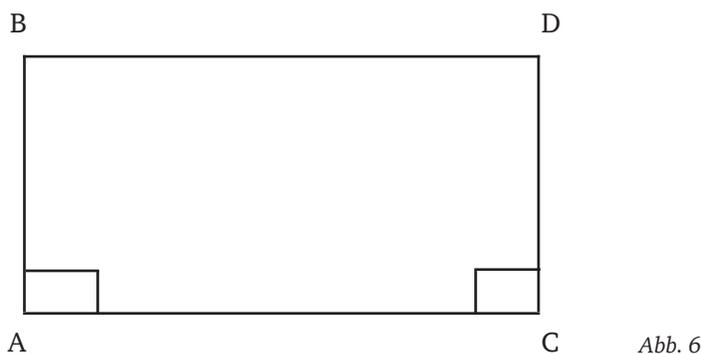
Abb. 5: Euklids Axiom der Parallelen. Schneiden zwei Geraden eine dritte, und ist die Summe der Innenwinkel zwischen ihnen auf einer Seite kleiner als zwei rechte Winkel, so werden sich die beiden Geraden auf dieser Seite treffen, wenn man sie ins Unbestimmte verlängert.

18 Vgl. das erste Kapitel »Les dilemmes de la philosophie géométrique« in Bachelard: *Nouvel esprit* (Anm. 3).

19 Eugenio Beltrami: »Saggio di interpretazione della geometria non-euclidea«, in: *Giornale di Matematiche* VI (1868), S. 285–315.

20 Für das Folgende vgl. z. B. Jeremy J. Gray: *Ideas of Space: Euclidean, Non-Euclidean, and Relativistic*, Oxford 1989.

Im 18. Jahrhundert hatten mehrere Geometer (besonders Girolamo Saccheri in einer 1733 kurz vor seinem Tod veröffentlichten Schrift mit dem sprechenden Titel *Euclides ab omni naevo vindicatus*) logische Alternativen zu diesem Axiom diskutiert, in der Absicht und Hoffnung, diese – unter Beibehaltung der sonstigen Axiome der Geometrie – als absurd zu erweisen. In dieser Diskussion ergab sich eine Dreiteilung der möglichen Fälle, die man z. B. an Abb. 6 erläutern kann: Zwei gleich lange Strecken AB und CD stehen senkrecht auf einer dritten Strecke AC, die freien Endpunkte werden durch eine vierte Strecke BD verbunden.



Dann sind drei Fälle möglich:

1. Die Winkel $\angle ABD$ und $\angle CDA$ sind gleich und kleiner als ein rechter Winkel
(Hypothese des spitzen Winkels)
2. Die Winkel $\angle ABD$ und $\angle CDA$ sind gleich jeweils ein rechter Winkel
(Hypothese des rechten Winkels, diese Hypothese ist gleichwertig zum Parallelenaxiom)
3. Die Winkel $\angle ABD$ und $\angle CDA$ sind gleich und größer als ein rechter Winkel
(Hypothese des stumpfen Winkels)

Der dritte Fall führte nach einigen Zwischenschritten zu einem Widerspruch mit der Annahme, dass Geraden ins Unendliche verlängert werden konnten, was zwar kein ausdrückliches Axiom der traditionellen Geometrie war, aber von den meisten an der Diskussion Beteiligten als sicher angenommen wurde. Der zweite Fall war der der traditionellen Geometrie. Für den ersten Fall ließ sich – so glaubten die Geometer des 18. Jahrhunderts, die sich mit dieser Frage beschäftigten – ebenfalls ein Widerspruch finden. Dieser ergab sich jedoch bemerkenswerterweise erst nach einer länglichen und recht subtilen Argumentation, deren Schwächen für Kenner unübersehbar waren.

An eben diesem Punkt meldeten die oben Genannten ihren Dissens an. Bolyai, Lobatschewski, Gauss und einige wenige andere glaubten, dass die Hypothese des spitzen Winkels *nicht* widerlegt werden konnte, sondern sich im Gegenteil zu einem gültigen System der Geometrie ausbauen ließ. Dieses System – und das ist der epistemisch ausschlaggebende Punkt – war inhaltlich verschieden vom traditionellen System der Geometrie. So gab es in der neuen Geometrie z. B. durch einen Punkt einer Ebene außerhalb einer darin verlaufenden Gerade mehrere nichtschneidende Geraden (und nicht nur eine wie im hergebrachten System der Geometrie), die Winkelsumme eines Dreiecks war stets kleiner als 180 Grad usw. Es konnten mithin nicht gleichzeitig beide Systeme der Geometrie als korrekte Beschreibung der Struktur des wirk-

lichen Raumes gelten und in diesem Sinn wahr sein – eine bis dahin unerhörte epistemische Situation und eine völlig neue Problematik für die Geometrie.

Lobatschewski und Gauss betrachteten diese Problematik als eine empirisch, etwa durch astronomische Beobachtungen zu entscheidende Frage, eine Haltung, die einige Jahrzehnte später den Empirismus in den Naturwissenschaften stark befördern sollte. Freilich blieb es (aus mehreren Gründen) vorerst unmöglich, eine solche empirische Entscheidung sicher zu treffen. Der »junge Wilde« Bolyai wiederum glaubte, einen spekulativen Beweis dafür zu besitzen, dass die abweichende neue Form der Geometrie die wahre war – leider ist uns dieser »Beweis« jedoch nicht überliefert.

Für die historische Situation wichtig war freilich auch, dass die weitaus überwiegende Zahl der mathematisch Gebildeten von der Wahrheit der traditionellen Geometrie Euklids und seiner Nachfolger fest überzeugt war.²¹ Der später (nicht zuletzt von Bachelard) so gefeierte epistemologische Stachel der alternativen Geometrie tat zunächst den wenigsten weh. In der Tat: Wer konnte sicher sein, dass sich in der Hypothese des spitzen Winkels nicht doch noch irgendwo ein Fehler verbarg, den man nur noch nicht gefunden hatte? Gauss blieb vorsichtig, er äußerte sich nur in Briefen an befreundete Wissenschaftler und nie im Druck zu diesem Thema. Bolyai war so gut wie unbekannt; Lobatschewski war zwar Professor und Rektor an der renommierten Universität von Kasan, aber diese war weit von den Zentren der europäischen Gelehrsamkeit entfernt.

Beltramis Intervention vom Jahr 1868 fiel in eben diese epistemische Situation der Geometrie. In den Jahren unmittelbar zuvor waren einige der brieflichen Äußerungen von Gauss posthum ediert worden und das Interesse an den obskuren Texten Lobatschewskis und Bolyais war etwas gewachsen. Die Hauptfrage blieb aber: Was sollte man mit ihnen anfangen? Beltrami entschied sich für den Versuch, sie zu *interpretieren*. Was genau hatte Beltrami mit seiner Interpretation im Sinn? Dies ist der Punkt, auf den es hier hauptsächlich ankommt.

Beltramis Interesse galt vor allem mathematischen Gegenständen in der gewöhnlichen, traditionellen Geometrie, welche innere Verhältnisse aufwiesen, die denen der Lobatschewski-Bolyai'schen Geometrie (ab jetzt kurz: LB-Geometrie) entsprachen oder zumindest nahe kamen. Beltrami fand mehrere solcher Gegenstände. Im ersten Schritt seiner Argumentation verwies er auf gekrümmte Flächen im dreidimensionalen Raum der gewöhnlichen euklidischen Geometrie, insbesondere auf Flächen, die durch die Rotation einer geeigneten gekrümmten Kurve um eine räumliche Achse erzeugt werden konnten und eine konstante negative Flächenkrümmung besaßen.²² Abb. 7 gibt ein etwas später entstandenes Modell einer solchen Fläche wieder. Deutete man Punkte einer Fläche konstanter negativer Krümmung als Punkte in einer Ebene der LB-Geometrie (ab hier: LB-Ebene), und »kürzeste Linien« (geodätische Linien, Linien geringster Krümmung) in einer solchen Fläche als Geraden der LB-Ebene, so galt für diese mit der gewöhnlichen Längen- und Winkelmessung in gewissen begrenzten Bereichen die LB-Geometrie. Es blieb freilich ein gewisser Makel: Die bekannten, konkreten Flächen konstanter negativer Krümmung im dreidimensionalen euklidischen Raum konnten nicht die ganze LB-Ebene darstellen (u. a. kam es zu mehrfachen Selbstschnitten von geodätischen Linien, und generell konnten die fern liegenden Randbereiche einer LB-Ebene nicht dargestellt werden).

21 Man vergleiche beispielsweise die Bibliographie der Schriften zu Euklids Parallelenaxiom in Paul Stäckel/Friedrich Engel: *Die Theorie der Parallellinien von Euklid bis auf Gauss*, Leipzig 1895. Die weitaus überwiegende Zahl der bis ca. 1860 aufgelisteten Publikationen suchte die Wahrheit der traditionellen Geometrie nachzuweisen.

22 Die Flächenkrümmung war u. a. durch Gauss etwa zur selben Zeit zu einem interessanten Forschungsgegenstand der Geometrie geworden, in der auch die alternativen Geometrien zuerst artikuliert wurden. Hierfür gab es freilich auch andere handfeste Gründe, namentlich die geodätischen Arbeiten dieses Zeitraums. Vgl. Erhard Scholz: *Geschichte des Mannigfaltigkeitsbegriffs von Riemann bis Poincaré*, Basel 1980.



Abb. 7: Drehfläche der Traktrix mit konstanter negativer Krümmung,
 Konstrukteur: stud. math. Bacharach, München 1877
 (in: Modellsammlung, Mathematisches Institut, Universität Göttingen)

Deshalb ging Beltrami in seiner Argumentation einen Schritt weiter und betrachtete das Innere eines Kreises mit einer von der gewöhnlichen *abweichenden* Längen- und Winkelmessung. Auch ein solcher ›Hilfskreis‹ konnte bei richtiger Wahl seiner metrischen Bestimmungen eine Fläche konstanter negativer Krümmung darstellen, welche nun nicht mehr im dreidimensionalen euklidischen Raum gedacht und *insofern* als eine abstrakte Fläche von konstant negativer Krümmung vorgestellt werden konnte. Auch diese konnte nun wiederum als LB-Ebene interpretiert werden. Beltramis Interpretation verband hier also zwei Repräsentationsschritte miteinander: Der (mit geeigneten Bestimmungen der Längen- und Winkelmessung versehene) Hilfskreis repräsentierte eine (unbegrenzte) Fläche konstanter negativer Krümmung, welche ihrerseits wiederum eine (vollständige) Ebene der LB-Geometrie darstellte. Er fasste zusammen:

Aus dem Vorhergehenden folgt, dass die geodätischen Linien [der als Fläche konstanter negativer Krümmung aufgefassten LB-Ebene, ME] in ihrem vollständigen (reellen) Verlauf durch die Sehnen des begrenzenden Kreises repräsentiert werden, während die Verlängerungen dieser Sehnen außerhalb dieses Kreises keine (reelle) Repräsentation tragen. Auf der anderen Seite werden zwei reelle Punkte der [LB]-Ebene durch zwei ebenfalls reelle innere Punkte des begrenzenden Kreises repräsentiert, die eine Sehne dieses Kreises bestimmen. Man sieht also, dass zwei beliebig gewählte reelle Punkte der [LB]-Ebene immer eine geodätische Linie bestimmen, welche auf dem Hilfskreis durch die Sehne repräsentiert wird, welche durch die beiden ihnen korrespondierenden Punkte verläuft. [...]
Was mehr ist, die Theoreme [der nichteuklidischen Planimetrie] sind nur dann einer konkreten Interpretation zugänglich, wenn man sie statt auf die [euklidische] Ebene präzise auf diese Flächen [konstanter negativer Krümmung] bezieht, wie wir gleich im Detail zeigen werden.²³

²³ Meine Übersetzung beruht auf der zeitgenössischen französischen Übersetzung des Beltrami'schen »Saggio« von Charles Hoüel; vgl. Eugenio Beltrami: »Essai d'interprétation de la géométrie non euclidienne«, in: *Annales scientifiques de l'école normales supérieure* 6 (1869), S. 251–288, hier S. 259, Hervorhebungen im Original.

Durch diese zweistufige Repräsentation hatte Beltrami nun auch für seine Interpretation eine epistemische Symmetrie hergestellt: Alle Elemente der LB-Geometrie (Figuren wie Sachverhalte) fanden nun ein Gegenstück in beiden Stufen der Interpretation, in der (abstrakten) Fläche konstanter negativer Krümmung ebenso wie im Inneren des Hilfskreises mit seinen metrischen Bestimmungen. Wie in den physikalischen Analogien erläuterten nun auch in der Interpretation der nichteuklidischen Geometrie zwei Imaginationen einander *wechselseitig*. Um diese epistemische Symmetrie zu erreichen, war Beltrami bereit, ein gewisses Maß an imaginativer Konkretion aufzugeben: Seine unbegrenzte Fläche konstanter negativer Krümmung war eine Imagination, die (anders als die Rotationsflächen konstanter negativer Krümmung, mit denen er seine Überlegungen begonnen hatte) keinen Platz mehr in der Welt der traditionellen geometrischen Imaginationen fand. Es handelte sich um eines jener frühen epistemischen Dinge der Mathematik jenseits der Sphäre der gewöhnlichen Anschauungen, wie sie für die mathematische Moderne so charakteristisch werden sollten.²⁴ Freilich bestand Beltrami darauf, dass auch diese Imagination noch konkret war, wie der letzte Satz des obigen Zitates zeigt.



Abb. 8: Ein (Papier-)Modell der nichteuklidischen Geometrie von Eugenio Beltrami, ca. 1869–1872

Beltramis gelungener Versuch der Interpretation der nichteuklidischen Geometrie trug – zusammen mit zwei weiteren im Jahr 1868 veröffentlichten Texten, der zuvor unpublizierten Antrittsvorlesung von Bernhard Riemann »Über die Hypothesen, welche der Geometrie zu Grunde liegen«, und Hermann von Helmholtz' »Ueber die Thatsachen, welche der Geometrie zum Grunde liegen« – wesentlich dazu bei, dieses obskure Objekt wachsender mathematischer Begierde zugänglich zu machen. In der Übersetzung in andere Sprachen wurde die »Interpretation« dabei häufig zum »Bild«.

So verwendete Felix Klein in seinem Aufsatz »Ueber die sogenannte Nicht-Euklidische Geometrie« von 1871, in dem er sich dem neuen Thema zuwandte, einleitend das Beltrami'sche Motiv der Interpretation, um dann aber recht konsequent die Terminologie des »Bildes« für die Repräsentation der nichteuklidischen Geometrien zu benutzen, wie in folgendem Zitat, das eine von dem englischen Geometer Arthur

In der Tat zeigt sich Beltramis Interesse an der Konkretisierung des problematischen Gegenstandes »nichteuklidische Ebene« noch in anderer Weise: Er fertigte (im Wortsinn der Zeit) mehrere Modelle der nichteuklidischen Ebene an, aus Papier, die er mehrfach in seiner Korrespondenz beschrieb, und von denen mindestens ein Exemplar noch heute existiert, am Istituto Matematico der Universität von Pavia.²⁵

Beltrami war es übrigens auch, der wiederum etwa 20 Jahre später, im Jahr 1889, die oben erwähnte Schrift Saccheris wieder zurück in die breitere Aufmerksamkeit der Mathematiker und Wissenschaftshistoriker brachte.

²⁴ Vgl. Epple: *Entstehung der Knotentheorie* (Anm. 15), Kapitel 7.

²⁵ Vgl. Luciano Boi/Livia Giacardi/Rossana Tazzioli: *La découverte de la géométrie non euclidienne sur la pseudosphère. Les lettres d'Eugenio Beltrami à Jules Hoüel (1868–1881)*, Paris 1998. Zu Beltramis Papiermodellen vgl. A. Capelo/M. Ferrari: »La »cuffia« di Beltrami: storia e descrizione«, in: *Bollettino di storia delle scienze matematiche* (2) 2 (1982), S. 233–247, und Livia Giacardi: »Problematiche emergenti dalla corrispondenza inedita Beltrami-Hoüel. Parte prima: Eugenio Beltrami artigiano della pseudosfera«, in: *Quaderno di Matematica, Università di Torino* 77 (1984), S. 1–31. Für diese Hinweise danke ich Rossana Tazzioli. (Abb. 8: Bildrechte: Dipartimento di Matematica, Università di Pavia) Die Fotografie wurde freundlicherweise zur Verfügung gestellt von Professor Maurizio Cornalba am Dipartimento di Matematica, Università di Pavia.)

Cayley entwickelte Technik der projektiven Geometrie mit der Beltrami'schen Konstruktion verknüpfte: »Für die Vorstellungen der hyperbolischen Geometrie erhalten wir nach dem Vorstehenden sofort ein Bild, wenn wir einen beliebigen reellen Kegelschnitt hinzeichnen und auf ihn eine projectivische Massbestimmung gründen.«²⁶ Die Ausdrücke ›Abbild‹ und ›anschauliches Bild‹ finden sich auch vielfach in den autographierten Vorlesungen »Nicht-euklidische Geometrie« von 1893, die Kleins Vorstellungen von der nichteuklidischen Geometrie einer neuen Generation von Mathematikern nahebrachten.²⁷ In Übereinstimmung mit seiner allgemeinen mathematischen Orientierung ging es Klein explizit darum, diese Geometrien zu ›versinnlichen‹ – ein weiteres häufig gebrauchtes Stichwort für Funktion der Bilder der nichteuklidischen Geometrien. Wie bei Beltrami berührt sich auch hier die gewählte Sprache mit dem hauptsächlichsten epistemologischen Interesse an den *materiellen* Modellen dieser Zeit.

Als Kleins Vorlesungen von 1893 im Jahr 1928 in einer von Walter Rosemann komplett überarbeiteten Fassung zum ersten Mal posthum im Druck erschienen, fand sich darin neben der weiter vielfach verwendeten Terminologie des Bildes, Abbildes usw. auch das Wort Modell im modernen Sinn. So liest man etwa in anachronistischer semantischer Verschiebung von dem »Modell der ebenen hyperbolischen Geometrie, das bereits Beltrami bekannt war«²⁸, wobei nun gerade nicht mehr das – Rosemann vermutlich unbekannte – Papiermodell Beltramis gemeint war, sondern dessen ›Interpretation‹ der LB-Geometrie. Woher genau Rosemann den modernen Sprachgebrauch übernommen hat, muss hier offenbleiben. Eine mögliche Quelle sind die Vorlesungen Hermann Weyls über Raum – Zeit – Materie (zuerst erschienen 1918), die ebenfalls dem neuen Gebrauch folgten.²⁹

Die epistemischen Funktionen der Beltrami'schen Interpretation und der Bilder der nichteuklidischen Geometrie vor der semantischen Verschiebung des Modellbegriffs schlossen also – ganz wie die physikalischen Analogien der Zeit – vor allem eine Heuristik von Forschungsgegenständen mit unklarem Status ein. Und wie dort ist auch hier sehr klar, dass die ›Interpretation‹ genannte Repräsentation dem noch problematischen System der geometrischen Prinzipien konkrete Imaginationen vertrauterer mathematischer Gegenstände hinzufügte. Dieser Schritt war durchaus als Plausibilitäts- bzw. ›Existenz‹sicherung der nichteuklidischen Geometrie(n) deutbar, wobei sich diese Funktion aber historisch allmählich verschieben sollte: Die Bilder/Interpretationen der nichteuklidischen Geometrie führten in dem Maße zu einer *Relativierung* des Realen, in dem im Lauf einer längeren Debatte, an der sich viele Autoren beteiligten, klar wurde, dass die Zuordnungen der epistemisch symmetrischen, verschiedenen Bilder der Geometrie(n) zu den *faits accomplis* der Erfahrung nicht determinierend für die Bilder waren, dass also mathematisch inäquivalente ›Bilder‹ geometrischer Verhältnisse – verschiedene Systeme geometrischer Grundsätze, um noch einmal Beltramis Wendung aufzugreifen – denselben Tatsachen zugeordnet werden konnten (vgl. hierzu unten mehr).

Wie wir gesehen haben, ging es auch in der Konstruktion der Interpretationen und Bilder der nichteuklidischen Geometrie um die Herstellung von epistemischen Symmetrien. Was in der Interpretation oder im Bild galt und existierte, existierte und galt auch in jenem Denkgebiet, das interpretiert oder abgebildet wurde. Die Geometer des letzten Drittels des 19. Jahrhunderts (neben Klein sind hier besonders Wilhelm Killing und Henri Poincaré zu nennen) überboten sich darin, weitere ›Bilder‹ der nichteuklidischen Geometrien zu entwerfen und die ›Abbildungen‹ zwischen denselben zu studieren. Dabei entstand ein zunehmend breit gefächertes Repertoire der verschiedenen möglichen Darstellungen ›derselben‹ geometrischen Verhältnisse in verschiedenen Bildern. Poincaré etwa spielte unter der

26 Felix Klein: »Ueber die sogenannte nicht-euklidische Geometrie«, in: *Mathematische Annalen* 4 (1871), S. 573–625, hier S. 611.

27 Felix Klein: *Nicht-euklidische Geometrie*. Autographierte Ausarbeitung von Friedrich Schilling, 2 Bde., Göttingen 1893. Die Vorlesungen wurden im Wintersemester 1889/1890 und im Sommersemester 1890 gehalten.

28 Felix Klein: *Vorlesungen über nicht-euklidische Geometrie*. Für den Druck neu bearbeitet von W. Rosemann, Berlin 1928, S. 309.

29 Für diesen Hinweis danke ich Erhard Scholz.

Überschrift »Interpretation des géométries non euclidiennes« explizit auch die naheliegende Idee der Übersetzung zwischen solchen Bildern mit passendem Lexikon durch.³⁰

Die Pluralität geometrischer Systeme besaß mithin (mindestens) zwei Dimensionen: Nicht nur gab es inzwischen unterschiedliche, mathematisch inäquivalente Geometrien, sondern jede dieser Geometrien ließ wiederum mehrere Interpretationen bzw. Bilder zu, zwischen denen epistemische Symmetrie bestand. Auf diese Weise kamen insbesondere auch die (symmetrischen und asymmetrischen) Relationen zwischen verschiedenen möglichen Repräsentationen unterschiedlicher möglicher geometrischer Systeme selbst in den Blick. Bachelard sollte später sagen: Nicht eine Repräsentation räumlicher Verhältnisse macht die Wissenschaft Geometrie aus, sondern das ganze Bündel von aufeinander bezogenen, nicht völlig äquivalenten Repräsentationen solcher Verhältnisse; Geometrie ist nicht die Wissenschaft der eindeutig bestimmten mathematischen Form des Räumlichen, sondern die Wissenschaft der Vielfalt der möglichen mathematischen Formen des Räumlichen und ihrer komplexen Beziehungen untereinander.³¹

3. Systeme und Spielräume: Einige Bemerkungen Felix Hausdorffs, ca. 1900

Um einen näheren Blick darauf zu werfen, wie weit sich die Diskussion der Repräsentationen von epistemischen Dingen in der Geometrie um die Jahrhundertwende über die Grenzen traditioneller Anschauung und Imagination hinausbewegen konnte, sei nun ein kurzer Blick auf den Umgang des Mathematikers und Erkenntniskritikers Felix Hausdorff mit dem Thema der nichteuklidischen Geometrie geworfen. Hausdorff, geboren 1868, war zu diesem Zeitpunkt außerplanmäßiger Extraordinarius an der Universität Leipzig. Endgültige berufliche Anerkennung als Mathematiker erhielt er erst später durch seinen Ruf als planmäßiger Extraordinarius an die Bonner Universität im Jahr 1910 und seine bahnbrechende Monographie *Grundzüge der Mengenlehre* aus dem Jahr 1914. In den Leipziger Jahren versuchte er sich neben seiner mathematischen Laufbahn auch als nietzscheanischer Schriftsteller unter dem Pseudonym *Paul Mongré* und als radikaler Vertreter der wissenschaftlichen und mathematischen Moderne.³² In der erkenntniskritischen Monographie *Das Chaos in kosmischer Auslese* von 1898 führte Mongré die noch junge Sprache der Cantor'schen Theorie der unendlichen Mengen in die literarische Metaphorik ein, u. a. auch die Vorstellung einer beliebigen Abbildung zwischen Mengen; er demonstrierte dies insbesondere in einer radikalen und umfassenden Kritik an der Metaphysik des Zeitbegriffs.³³

Im Jahr 1903 hielt Hausdorff seine Leipziger Antrittsvorlesung als Extraordinarius über das Thema »Das Raumproblem«, im Wintersemester 1903/1904 folgte eine Vorlesung über »Zeit und Raum«.³⁴ In diesen Texten gab sich Hausdorff als Mongré zu erkennen, der Mathematiker trat nun mit dem Erkenntniskritiker in offenen Austausch. Aus etwa derselben Zeit stammt der undatierte, allgemeinverständliche Aufsatz »Nichteuklidische Geometrie«, der in einer »Naturforscherzeitschrift« erscheinen sollte, aber dann nicht gedruckt wurde.³⁵ In diesem Aufsatz zog Hausdorff – nicht zuletzt in Bezug auf die wenige Jahre zuvor erschienene Schrift *Grundlagen der Geometrie* von David Hilbert – den bereits von Beltrami gebrauchten Begriff des Systems heran, um die noch immer neuen, abweichenden Geometrien zu beschreiben:

30 Vgl. Henri Poincaré: *Science et Hypothese*, Paris 1902, S. 57–58.

31 Bachelard: *Nouvel esprit* (Anm. 3), Kap. 1.

32 Zum Stichwort der mathematischen Moderne nach wie vor maßgeblich Herbert Mehrrens: *Moderne – Sprache – Mathematik*, Frankfurt a. M. 1990; vgl. inzwischen auch Jeremy J. Gray: *Plato's Ghost. The Modernist Transformation of Mathematics*, Princeton 2008.

33 Vgl. Moritz Epple: »Felix Hausdorff's Considered Empiricism«, in: José Ferreiros/Jeremy J. Gray (Hg.): *The Architecture of Modern Mathematics. Essays in History and Philosophy*, Oxford 2006, S. 263–289; Moritz Epple: »Spielräume des Denkens: Felix Hausdorff und Paul Mongré«, in: Astrid Schwarz/Alfred Nordmann (Hg.): *Das bunte Gewand der Theorie. Vierzehn Begegnungen mit philosophierenden Forschern*, Freiburg 2009, S. 235–262; dort auch weitere Informationen zur Biographie.

34 Beide Texte werden erscheinen in Felix Hausdorff: *Gesammelte Werke*, Bd. 6, hg. v. Moritz Epple und Egbert Brieskorn, Heidelberg 2017.

35 Auch dieser Aufsatz wird in Band 6 der *Werke* Hausdorffs (Anm. 34) erscheinen.

Unter einer einzelnen nichteuklidischen Geometrie verstehen wir jedes System geometrischer Sätze, das in irgend einer mehr oder minder belangreichen Beziehung von einem bestimmten System, der euklidischen Geometrie abweicht; nichteuklidische Geometrie, als mathematische Disciplin, stellt sich die Prüfung und vergleichende Betrachtung aller dieser einzelnen Systeme zur Aufgabe.³⁶

Es ist eben diese Wendung, welche Bachelard Anlass gab, für dieses wissenschaftliche Feld vom neuen wissenschaftlichen Geist zu sprechen. Hausdorff forcierte nun auch das zugleich epistemologische wie ontologische Problem, das mit dieser Wendung verbunden war:

Jenes bestimmte einzige System aber, das sozusagen als Normalsystem zu Grunde gelegt wird und dem sich bereits in der Namensgebung alle übrigen als bloße Negationen, Abnormitäten, Spielarten gegenüberstellen, ist logisch betrachtet um kein Jota berechtigter, natürlicher, denknothwendiger als die andern; in dieser Hinsicht kann die Mathematik nicht scharf genug dem bei vielen Philosophen beliebten Vorurtheil widersprechen, das den euklidischen Raum mit all seinen speciellen Eigenthümlichkeiten als ›Product logischer Setzung‹ a priori deduciren will.³⁷

Fiel diese bloß vermeintliche Natürlichkeit oder Denknöthwendigkeit der tradierten Geometrie weg, so stellte sich das Problem der *empirischen Gültigkeit* der geometrischen Systeme ebenso neu wie das der unvermeidlichen Spielräume (der Erfahrung, der Anschauung, des Denkens)³⁸ in der Konstruktion solcher Systeme. Angesicht dieser *Spielräume* verlor fast jede konkrete Bestimmung des geometrischen Raumes ihre Verbindlichkeit:

So seltsam reactionär das klingen mag: selbst Sätze wie diejenigen, welche von der Unendlichkeit und Unbegrenztheit der Welt in Raum und Zeit reden, sind doch streng genommen sehr voreilige Schlüsse aus der Mitte des Universums auf seine Ränder und haben etwa den Werth, den die Meinungen einer Quelle im Atlantischen Ozean über die Gestalt der amerikanischen Küste beanspruchen könnten.³⁹

Hausdorff empfand – wie andere Vertreter der mathematischen Moderne auch – im Zurückweisen solcher Verbindlichkeiten eine Befreiung. Diese lag vor allem in einer Befreiung des *Sprachgebrauchs*, welche nicht zuletzt durch das Hin- und Herspielen (und Übersetzen) zwischen den verschiedenen Analogien, Interpretationen und Bildern mathematischer Dinge eingeübt worden war, welche die vorangehenden Jahrzehnte angehäuft hatten:

Gerade die moderne Mathematik verdankt wesentliche und aufklärende Einsichten dem Radicalismus, mit dem sie [im mathematischen Sprachgebrauch] verfahren ist, und der für den uneingeweihten Betrachter allerdings etwas Willkürliches, die liebsten Gewohnheiten verletzendes hat. Da wird mit ›Zahlen‹ gerechnet, bei denen $2a=a$ sein kann [...]; die kürzesten Linien auf einer Fläche werden nach Bedürfniss als ›Gerade‹ bezeichnet, eine Gerade des gewöhnlichen Raums als ein ›Punkt‹ eines vierdimensionalen Raums gedeutet u.s.w. Ja warum thut das die Mathematik? [...] weil ein sachgemässer Name die wichtigsten Zusammenhänge zwischen scheinbar entfernten Gebieten aufdecken, ein unsache-

36 Felix Hausdorff: »Nichteuklidische Geometrie«, S. 4. Das Manuskript findet sich im Nachlass Hausdorffs an der Universitätsbibliothek Bonn, Kapsel 48, Fasz. 994.

37 Ebd., S. 5.

38 Die Unterscheidung dieser drei Arten von Spielräumen in der Konstruktion mathematischer Raumbegriffe findet sich in Felix Hausdorff: »Das Raumproblem«, in: *Ostwalds Annalen der Naturphilosophie* 3 (1903), S. 1–23, vgl. dazu Epple: »Spielräume« (Anm. 33).

39 Hausdorff: »Nichteuklidische Geometrie« (Anm. 36), S. 7.

mässer sie verschleiern kann. Die Übertragung eines Sprachgebrauchs auf ungewöhnliche, abweichende Fälle dient insbesondere dazu, die zahlreichen Voraussetzungen einzeln sichtbar zu machen, die in der gewöhnlichen Begriffssphäre ungelöst schwimmen; sie ist geradezu das ›logische Experiment‹ [...], die chemische Analyse der Begriffe.⁴⁰

Zugleich konnte der freie Sprachgebrauch der Mathematik *anschauliche Vorstellungen* wecken, indem die Mathematik – wie in den Interpretationen und Bildern der nichteuklidischen Geometrien – »nämlich ihre reinen Gedankengebilde auch anschaulich vorzustellen sucht und hierin mit freier Benutzung der Wirklichkeitselemente verfährt«.⁴¹ Freilich durfte hier nicht durch die Hintertür der Anschauung wieder ein fester Grund der mathematischen Sprache suggeriert werden. Anders als noch etwa Klein betonte Hausdorff, dass »das Wort ›anschaulich‹ zu vielerlei und eigentlich bei Jedem etwas Anderes bedeutet«.⁴² Dennoch war der Gebrauch dieser je individuellen Anschauung, Imagination oder Phantasie als Hilfsmittel zur Heranführung an die Gedankendinge der Mathematik legitim. Zum »Beltrami-Cayley'schen Bild der pseudosphärischen Geometrie« kommentierte Hausdorff: »Wir können uns für diese Verhältnisse [des formalen Systems der pseudosphärischen Geometrie, ME] eine anschauliche Analogie verschaffen, die, gegenwärtig nur als hülfreiches Symbol, sich später als das wahre Äquivalent der Sache erweisen wird«.⁴³ Das Bild »versinnlichte«⁴⁴, »die Sache« selbst war das formale System der pseudosphärischen (bzw. LB-) Geometrie. Auch die Modelle kamen in Hausdorffs Darstellung z. B. im »Krystalmodell« – also immer noch als tastbar gedacht! – mit entsprechender epistemischer Funktion vor.

Die Grundtendenz der Hausdorffschen Ausführungen war freilich nicht nur ein Plädoyer für befreite Konstruktion mathematischer Gedankendinge. Zweck der auf dem freien Sprachgebrauch beruhenden »chemischen Analyse der Begriffe« und der Erkundung des (Denk-, Anschauungs- und Erfahrungs-) Spielraums mathematischer Beschreibungen des Wirklichen war schließlich auch eine »Selbstkritik der Wissenschaft«⁴⁵ – Wissenschaft verstanden als der Versuch einer rationalen Ordnung des Wirklichen durch den menschlichen Intellekt. Paul Mongrés *Das Chaos in kosmischer Auslese* endet mit den – freilich erläuterungsbedürftigen⁴⁶ – Sätzen:

Die ganze wunderbare und reichgegliederte Structur unseres Kosmos zerflatterte beim Übergang zum Transcendenten in lauter chaotische Unbestimmtheit; beim Rückweg zum Empirischen versagt dementsprechend bereits der Versuch, die allereinfachsten Bewusstseinsformen als nothwendige Incarnationen der Erscheinung aufzustellen. Damit sind die Brücken abgebrochen, die in der Phantasie aller Metaphysiker vom Chaos zum Kosmos herüber und hinüber führen, und ist das Ende der Metaphysik erklärt, – der eingeständlichen nicht minder als jener verlarvten, die aus ihrem Gefüge auszuscheiden der Naturwissenschaft des nächsten Jahrhunderts nicht erspart bleibt.⁴⁷

40 Ebd., S. 10.

41 Ebd., S. 12.

42 Ebd.

43 Ebd., S. 34.

44 Ebd., S. 35.

45 Felix Hausdorff: *Sant Ilario – Gedanken aus der Landschaft Zarathustras*, Leipzig 1897, S. 342.

46 Vgl. Epple: »Considered Empiricism« und Epple: »Spielräume« (beide Anm. 33).

47 Felix Hausdorff: *Das Chaos in kosmischer Auslese*, Leipzig 1898, S. 209.

4. Bilder und dynamische Modelle: Noch einmal Heinrich Hertz

Im letzten Schritt der Überlegungen sei nochmals knapp auf Heinrich Hertz' Gebrauch der Ausdrücke ›Bild‹ und ›Modell‹ eingegangen.⁴⁸ Zur Erinnerung: Für Hertz waren stets mehrere ›Bilder‹ desselben Wirklichen möglich, mit der starken Einschränkung, dass jedes dieser Bilder in einer ›Folgenäquivalenz‹ zur Kausalität des Wirklichen stehen musste. Diese epistemologische Struktur ist jener der Bilder der nichteuklidischen Geometrie eng verwandt. Wo dort die Äquivalenz zwischen den Folgerungsbeziehungen innerhalb eines geometrischen Systems einerseits und jenen in dessen Bildern (oder Interpretationen) andererseits eine logisch-mathematische war, ging es Hertz um kausale Beziehungen zwischen Ursachen und Wirkungen. Hier wie dort halfen die Bilder zum Verständnis einer Sache, die an sich selbst für den menschlichen Geist schwer zugänglich war.

In diesem Rahmen entwarf Hertz darüber hinaus noch einen sehr eigenwilligen, technischen Sinn des Begriffs Modell, der sich von dem noch immer gebräuchlichen Sinn des Modells als konkreter, materieller Repräsentation eines wissenschaftlichen Gegenstandes (wie eingangs gesehen, war Hertz dieser Sinn nicht fremd) absetzte. Wieder war hierbei auch der Begriff des ›Systems‹ – bzw. einer Vielzahl von Systemen wesentlich. In diesem neuen, technischen Sinn legte Hertz fest:

Definition. Ein materielles System heißt dynamisches Modell eines zweiten Systems, wenn sich die Zusammenhänge des ersteren durch solche Koordinaten darstellen lassen, dass den Bedingungen genügt ist:

1. dass die Zahl der Koordinaten des ersten Systems gleich der Zahl der Koordinaten des andern Systems ist,
2. dass nach passender Zuordnung der Koordinaten für beide Systeme die gleichen Bedingungsgleichungen bestehen,
3. dass der Ausdruck für die Größe einer Verrückung in beiden Systemen bei jener Zuordnung der Koordinaten übereinstimme.⁴⁹

Und er schloss:

Folgerung 1. Ist ein System Modell eines zweiten Systems, so ist auch umgekehrt das zweite System Modell des ersten. Sind zwei Systeme Modelle eines dritten, so sind sie auch Modelle voneinander. Das Modell des Modells eines Systems ist auch Modell des ursprünglichen Systems.⁵⁰

Wie in den früheren Kontexten der physikalischen Analogien war auch hier die Pointe eine – definatorisch erzwungene, vollständige – Reflexivität, Symmetrie und Transitivität der Modellbeziehung. Voneinander Modell zu sein war eine Äquivalenzrelation zwischen ›materiellen Systemen‹. Auch das technisch fixierte Modell von Hertz war mithin kein Modell im modernen, reduktiven und relativierenden Sinn. Und wie im Fall der Proliferation der Bilder der nichteuklidischen Geometrien war auch Hertz bewusst, dass es stets *viele* Modelle desselben Systems geben konnte bzw. tatsächlich gab:

⁴⁸ Vgl. Jesper Lützen: *Mechanistic Images in Geometric Forms. Heinrich Hertz's Principles of Mechanics*, Oxford 2005.

⁴⁹ Hertz: *Prinzipien der Mechanik* (Anm. 1), S. 197.

⁵⁰ Ebd.

Folgerung 3. Ein System ist noch nicht vollständig bestimmt dadurch, dass es Modell eines gegebenen Systems ist. Unendlich viele, physikalisch gänzlich verschiedene Systeme können Modelle eines und desselben Systems sein. Ein System ist Modell unendlich vieler, gänzlich verschiedener Systeme.⁵¹

Damit bestand ein gewisses, durch die Forderung der Äquivalenz begrenztes Maß an Perspektivität in den Modellen. Diese war vor allem in epistemischer Hinsicht wünschenswert und nützlich, denn es galt der zentrale ›Lehrsatz‹, dass die dynamischen Zustände von Systemen, die voneinander Modell waren, in gegenseitiger Korrespondenz standen,⁵² so dass Einsichten in die Dynamik eines Systems durch Untersuchung eines (äquivalenten) Modellsystems gewonnen werden konnten. Mitten in diesen definitiv festgelegten Überlegungen brachte Hertz nun noch einmal den in der Einleitung zu seinem Buch gebrauchten Begriff der mentalen Bilder materieller Vorgänge ins Spiel, in einer Anmerkung, die kaum anders denn als kryptisch zu bezeichnen ist:

Anmerkung 2. Das Verhältnis eines dynamischen Modells zu dem System, als dessen Modell es betrachtet wird, ist dasselbe, wie das Verhältnis der Bilder, welche sich unser Geist von den Dingen bildet, zu diesen Dingen. Betrachten wir nämlich den Zustand des Modells als eine Abbildung des Zustandes des Systems, so sind die Folgen der Abbildung, welche nach den Gesetzen dieser Abbildung eintreten müssen, zugleich die Abbildung der Folgen, welche sich an dem ursprünglichen Gegenstand nach den Gesetzen dieses ursprünglichen Gegenstandes entwickeln müssen. Die Übereinstimmung zwischen Geist und Natur lässt sich also vergleichen mit der Übereinstimmung zwischen zwei Systemen, welche Modelle voneinander sind, und wir können uns sogar Rechenschaft ablegen von jener Übereinstimmung, wenn wir annehmen wollen, dass der Geist die Fähigkeit habe, wirkliche dynamische Modelle der Dinge zu bilden und mit ihnen zu arbeiten.⁵³

Nimmt man die Hertz'sche Anmerkung ernst, so ist sie eine anspruchsvolle, empirisch freilich ganz und gar ungesicherte kognitionswissenschaftliche Hypothese, gleichsam eine Art Mechanik des Geistes.

Bei aller Perspektivität bleibt Hertz' Diskussion von Bildern und Modellen einer strengen und letztlich tief in den dargestellten epistemologischen Traditionen des 19. Jahrhunderts verankerten Vorstellung verpflichtet – der Vorstellung einer Korrespondenz zwischen kausal strukturierter Wirklichkeit, Tätigkeit des Geistes und wissenschaftlicher Theoriebildung. Erreicht wird dies durch die konsequente Betonung der epistemischen Symmetrie der Abbild- bzw. Modellbeziehung. Den epistemologischen Bruch, den – wie wir besonders an Hausdorff gesehen haben – die Geometrie bereits durchlebt hatte oder mindestens kurze Zeit später durchlebte, vollzog Hertz *nicht*.

5. Epilog: Der Aufstieg der (modernen) mathematischen Modelle

Die Konjunktur (und Inflation) des modernen Begriffs des mathematischen Modells als Akteurskategorie ist eine Angelegenheit des mittleren 20. Jahrhunderts, der ich hier nicht weiter nachgehen kann. Sie war nur denkbar nach dem von Bachelard notierten Bruch, welcher den *nouvel esprit scientifique* des 20. Jahrhunderts hervorbrachte. Wollte man die Geschichte dieser Konjunktur im Einzelnen erzählen, müsste man nicht nur weiter verfolgen, wie der Begriff des Modells in der Geometrie seine moderne, abstrakte Bedeutung erhielt, die wir u. a. in Rosemanns Pseudo-Klein aus dem Jahr 1928 vorgefunden haben.

⁵¹ Ebd.

⁵² Vgl. ebd., S. 198.

⁵³ Ebd., S. 199.

Es wäre insbesondere auch den epistemologischen Verschiebungen in der mathematischen Ökonomie derselben Zeit nachzugehen. Auch dort finden sich in etlichen Texten des frühen 20. Jahrhunderts die »mechanical analogies« im Stil des 19. Jahrhunderts,⁵⁴ bevor der moderne Sinn des Modells in Gebrauch kam. Mehrere Historiker der mathematischen Ökonomie verweisen auf Jan Tinbergens Aufsatz »Quantitative Fragen der Konjunkturpolitik« aus dem Jahr 1935 als den Ort, an welchem das Konzept des mathematischen Modells in die ökonomische Theorie eingeführt wurde, ein Konzept, das sich dann in der Ökonomie schnell verbreitete.⁵⁵

Solange die epistemologische Geschichte jener Verschiebungen im Verständnis und Gebrauch von abstrakten Repräsentationen in den Naturwissenschaften noch nicht geschrieben ist, welche schließlich zur Verdrängung des älteren und zur Konjunktur des modernen Modellbegriffs führten, bleibt dem Historiker nur, vorsichtig an die epistemischen Funktionen der Analogien, Interpretationen, Bilder und nicht zuletzt der anfassbaren Modelle der Naturwissenschaften und Mathematik des 19. Jahrhunderts zu erinnern.

Die für uns Heutige letztlich irreversible Einsicht in die Perspektivität und Relativität wissenschaftlicher Repräsentationen, in die unumgängliche und epistemisch *nicht* harmlose Reduktion der Komplexität des Realen im theoretischen Modell – ja, nicht einmal im biologischen Modellsystem – drängte sich im Denken der physikalischen Wissenschaften des vorletzten Jahrhunderts noch *nicht* auf. Hier standen andere epistemische Funktionen der Analogien, Bilder und materiellen Modelle im Vordergrund: ihr kollektiver oder individueller heuristischer Wert, die Entlastung bzw. der Ersatz, den sie für kausale Hypothesen dort anbieten konnten, wo solche (noch) nicht vorlagen, die epistemische Symmetrie oder Äquivalenz zwischen verschiedenen konkreten Repräsentationen derselben vermuteten abstrakteren Strukturen, die Herausarbeitung von einheitlichen mathematischen Formen der Natur.

Dagegen kam in den Interpretationen, Systemen und Bildern der nichteuklidischen Geometrie neben diesen Funktionen noch etwas anderes ins Spiel: der Umgang mit inäquivalenten Repräsentationen eines Wirklichen, welche eben deshalb als freie Imaginationen neu interpretiert, versinnlicht und bewertet werden mussten. Damit war insbesondere dort, wo die Frage der Beziehung zwischen derartigen Imaginationen und dem wissenschaftlich erschlossenen Wirklichen gestellt wurde, eine hartnäckige epistemologische Problematik aufgeworfen, die schließlich doch eine »Selbstkritik der Wissenschaft«⁵⁶ erzwang, die erst die »Naturwissenschaft des nächsten Jahrhunderts«⁵⁷ zu Ende führen sollte.

54 Vgl. u. a. Mary S. Morgan: *The World in the Model. How Economists Work and Think*, Cambridge 2012.

55 Vgl. Gerard Alberts: *Jaren van berekening, toepassingsgerichte initiatieven in de Nederlandse wiskundebeoefening 1945–1960*, Amsterdam 1998; Marcel Boumans: *How Economists Model the World into Numbers*, London/New York 2005.

56 Hausdorff: *Sant Ilario* (Anm. 45), S. 342.

57 Hausdorff: *Das Chaos in kosmischer Auslese* (Anm. 47), S. 209.

»Wellenformen« – Die Leistung mathematischer Modellbildung für Akustik, Physiologie und Musiktheorie

Bettina Schlüter

Im Jahr 1857 hält Hermann von Helmholtz einen Vortrag *Ueber die physiologischen Ursachen der musikalischen Harmonien*¹, in dem er erstmals Ergebnisse seiner akustischen und hörphysiologischen Forschungen einer akademischen Öffentlichkeit vorstellt. Dabei bilden die Untersuchungen und Experimente, die Helmholtz im Rahmen seiner Tätigkeit als Professor für Anatomie und Physiologie an der Universität Bonn durchgeführt hat, Grundlage und Ausgangspunkt einer umfassenden Neukonstitution von Wissenszusammenhängen, in deren Zuge ältere Wissensbestände arrondiert, im Lichte neuer Erkenntnisse bewertet, erweitert, neu gefasst und in ausgearbeiteter Form sechs Jahre später unter dem Titel *Die Lehre von den Tonempfindungen*² veröffentlicht werden.

In den einleitenden Worten seines Vortrages aus dem Jahr 1857 verweist Helmholtz in diesem Kontext auf einen Aspekt, der ihm offenkundig von großer Signifikanz zu sein scheint:

*Es hat mich immer als ein wunderbares und besonders interessantes Geheimnis angezogen, dass gerade in der Lehre von den Tönen, in den physikalischen und technischen Fundamenten der Musik, die unter allen Künsten in ihrer Wirkung auf das Gemüth als die stoffloseste, flüchtigste und zarteste Urheberin unberechenbarer und unbeschreiblicher Stimmungen erscheint, die Wissenschaft des reinsten und consequentesten Denkens, die Mathematik, sich so fruchtbar erwies.*³

Bemerkenswert an dieser Aussage ist nicht, dass Musik und Mathematik in eine enge Beziehung zueinander gesetzt werden – hier kann Helmholtz auf eine über zweitausendjährige Tradition der wechselseitigen Elaboration beider Bereiche verweisen⁴ –, sondern dass Darlegungen, die auf die systematische Durchdringung der Zusammenhänge zwischen akustischen, physiologischen, psychischen, musiktheoretischen und ästhetischen Phänomenbereichen zielen, ihren Ausgangspunkt in der Mathematik nehmen. Diesen Leistungen, die mathematisches Denken für die Untersuchung und Explikation dieser Zusammenhänge

1 Hermann von Helmholtz: *Ueber die physiologischen Ursachen der musikalischen Harmonien*. Mit einem wissenschaftshistorischen Nachwort hg. v. Fritz Krafft, München 1971.

2 Hermann von Helmholtz: *Die Lehre von den Tonempfindungen, als physiologische Grundlage für die Theorie der Musik*, Braunschweig 1863. Im Folgenden zitiert nach der 3. umgearb. Aufl., Braunschweig 1870.

3 Helmholtz: *Ueber die physiologischen Ursachen* (Anm. 1), S. 6.

4 Helmholtz fährt fort: »Der Generalbass ist ja eine Art angewandter Mathematik; in der Abtheilung der Tonintervalle, der Tactteile u.s.w. spielen die Verhältnisse ganzer Zahlen – zuweilen sogar Logarithmen – eine hervorragende Rolle.« Ebd. Im Abschnitt »Die Tonalität der homophonen Musik« aus *Die Lehre von den Tonempfindungen* widmet Helmholtz der antiken, pythagoreisch geprägten Musiktheorie große Aufmerksamkeit.

erbringt, möchte der folgende Beitrag nachgehen. Es wird sich zeigen, dass eine spezifische mathematische Operation für das Verständnis von akustischen und physiologischen Prozessen modellbildend wirkt und über verschiedene Applikationswege hinweg neue Impulse der Systematisierung von Wissensbeständen setzt.

Die entscheidenden wissenschaftlichen Innovationen, an denen Helmholtz einen wesentlichen Anteil hat, leiten sich von der Beobachtung eines Phänomens – der Obertöne – her, das seit den Studien des Akustikers und Mathematikers Joseph Sauveur immer wieder die Aufmerksamkeit einzelner Wissenschaftler auf sich gezogen hat, ohne jedoch Gegenstand einer umfassenden Explikation zu werden. Helmholtz weist auf den Umstand einer solch kontingenten, primär der Aufmerksamkeit einzelner Wissenschaftler überlassenen Wahrnehmung und Dokumentation dieses Mitschwingvorgangs hin:

Doch sind sie [die Obertöne, B.S.] zuweilen von aufmerksamen Beobachtern gehört worden; schon Rameau hat sie im [sic!] Anfang des vorigen Jahrhunderts gekannt, und später erwähnt Seiler in Leipzig, dass er in schlaflosen Nächten, auf den Gesang des Nachtwächters lauschend, zuweilen anfangs aus der Ferne die Duodecime des Gesanges gehört habe, und später erst den Grundton.⁵

Gleichwohl findet Helmholtz in den Arbeiten Jean-Philippe Rameaus und Jean Baptiste d'Alemberts erste, wichtige Ansatzpunkte, Obertöne als integrales Moment eines umfassenderen »Systems« zu verstehen und musiktheoretisch zu deuten:

Rameau und d'Alembert gehen von zwei Thatsachen aus, die sie als die Grundlagen ihres Systems betrachten. Die erste ist, dass man bei jedem tönenden Körper mit dem Grundtone (générateur) auch die Duodecime und nächst höhere Terz als Obertöne (harmoniques) höre. Die zweite ist, dass Jedermann die Aehnlichkeit bemerke, die zwischen einem jeden Tone und seiner Octave stattfindet. Durch die erste Thatsache sei gezeigt, dass der Duraccord von allen Accorden der natürlichste sei, und durch die zweite, dass man die Quinte und Terz auch um beziehlich eine und zwei Octaven herabrücken dürfe, ohne das Wesen des Accords zu verändern, so dass man dadurch den Durdreiklang in seinen verschiedenen Um lagerungen erhält. Der Mollaccord entsteht dann, indem man drei Töne sucht, welche alle drei denselben Oberton, nämlich die Quinte des Accords, haben (C, Es und G lassen wirklich alle ein g' mitklingen). Der Mollaccord sei deshalb zwar nicht ganz so vollkommen und natürlich, wie der Duraccord, aber doch auch durch die Natur vorgeschrieben.⁶

Dieser musiktheoretische Begründungszusammenhang, in den die Obertöne im Kontext einer »Lehre der Harmonie« gestellt werden, gibt die entscheidende Argumentationsrichtung vor, fügt sich für Helmholtz jedoch noch keineswegs zu einem homogenen und erklärungsstarken Gesamtbild, sondern lässt wesentliche Fragen – nämlich diejenigen nach dem Ursprung des Konsonanz- und Dissonanzempfindens – unbeantwortet:

Und in der That hatte auch Rameau, wie wir jetzt übersehen können, vollkommen richtig vermuthet, dass von dieser Thatsache aus die Lehre der Harmonie zu begründen sei. Aber abgemacht war es damit

⁵ Helmholtz: *Die Lehre von den Tonempfindungen* (Anm. 2), S. 164.

⁶ Ebd., S. 364.

freilich nicht. Denn in der Natur kommt Schönes und Hässliches, Heilsames und Schädliches vor. Der blosser Nachweis, dass etwas natürlich sei, genügt also noch nicht es ästhetisch zu rechtfertigen. Ausserdem hätte Rameau bei geschlagenen Stäben, Glocken, Membranen, angeblasenen Hohlräumen noch mancherlei andere ganz dissonante Accorde hören können, als bei den Saiten und übrigen Musikinstrumenten. Solche Accorde würde man doch auch für natürlich erklären müssen. Zweitens ist auch die Aehnlichkeit der Octave mit ihrem Grundton, auf welche Rameau sich stützt, ein musikalisches Phänomen, welches eben so gut der Erklärung bedarf, wie das Phänomen der Consonanz.⁷

Daher, so resümiert Helmholtz, hätten die Wissenschaftler zwar durchaus »die richtigen Angriffspunkte aufgespürt«, »aber die akustischen Kenntnisse des vorigen Jahrhunderts reichten noch nicht hin, genügend Consequenzen daraus zu ziehen.«⁸ Dies betrifft insbesondere ein eng mit den Obertönen verwandtes akustisches Phänomen (die Schwebung), das entscheidende Hinweise zu Eigenart und Ursprung des Konsonanz- und Dissonanzempfindens zu geben vermag und damit das Wissensgebiet der Physiologie zwischen den Polen der akustischen »Natur« und der »von Menschen gemachte[n] Ästhetik« einführt. Erst unter dieser Voraussetzung, d. h. mit der Erforschung der Art und Weise, wie das Ohr Klänge, Grund- und Obertöne verarbeitet und welche physiologischen Effekte dabei entstehen, lassen sich neue Begründungszusammenhänge entwickeln und die Ergebnisse unterschiedlicher Wissensgebiete zu einer »vollständigere[n] Theorie«⁹ vereinen. »Von den Schwebungen«, so Helmholtz unter Bezugnahme auf Rameaus *Traité de l'harmonie réduite à ses principes naturels*, ist jedoch »in dem Buche keine Rede, daher auch nicht von dem eigentlichen Unterschiede zwischen Consonanz und Dissonanz.« Er fährt fort:

Von den Gesetzen der Schwebungen wusste man zu jener Zeit erst ausserordentlich wenig, die Combinationstöne waren eben erst durch Romieu (1753) und Tartini (1754) den französischen Gelehrten bekannt geworden. In Deutschland waren sie einige Jahre früher durch Sorge (1745) entdeckt, diese Nachricht aber wohl wenig verbreitet. Es fehlte also das Material von Thatsachen, mit welchem allein eine vollständigere Theorie aufgebaut werden konnte.¹⁰

Jenseits des Desiderats der Ausarbeitung einer solchen »vollständigere[n] Theorie«, liegen Rameaus und d'Alemberts Verdienste jedoch in einem für Helmholtz ungleich wichtigeren Schritt, nämlich in einer grundlegenden Neuorientierung und Transformation des wissenschaftlichen Denkens selbst:

Dennoch ist dieser Versuch von Rameau und d'Alembert von grosser historischer Wichtigkeit, insofern dadurch die Theorie der Consonanz zum ersten Male von metaphysischem auf naturwissenschaftlichen Boden gerückt wurde. Es ist bewundernswerth, was beide mit dem spärlichen Material, das ihnen zu Gebot stand, geleistet haben, und was für ein klares, präcises und übersichtliches System die vorher so wüste und schwerfällige Theorie der Musik unter ihren Händen geworden ist.¹¹

7 Ebd., S. 364 f. Helmholtz differenziert zudem genau zwischen Rameau und d'Alemberts Positionen: »Niemand hat übrigens besser als d'Alembert selbst die Lücken dieses Systems eingesehen. Er verwarft sich deshalb in dem Vorwort seines Buches sehr entschieden gegen den Ausdruck »Demonstration des Prinzips der Harmonie«, welchen Rameau gebraucht hatte. Er erklärt, dass er für sein Theil nichts geben wolle, als eine wohl zusammenhängende und consequente Darstellung sämtlicher Gesetze der Harmonielehre, sie anknüpfend an die eine Grundthatsache, nämlich die Existenz der Obertöne, welche er als gegeben nimmt, ohne weiter zu fragen, wo sie herkommt. So beschränkt er sich denn auch auf den Nachweis der »Natürlichkeit« des Dur- und Molldreiklanges.« Ebd., S. 365.

8 Ebd., S. 363 f.

9 Ebd., S. 365.

10 Ebd.

11 Ebd.

Eine solche Modernisierung der Wissenschaft und die auf dieser Grundlage entstandene »grosse Menge physikalischer Vorarbeiten [...], welche das inzwischen verflossene Jahrhundert aufgehäuft hat«¹², bilden den Horizont, vor dem Helmholtz mit seinen eigenen Untersuchungen wissenschaftlich tätig wird.

Helmholtz' Darlegungen gehen von einer ebenso einfachen wie frappierenden Beobachtung aus:

Endlich möchte ich nun Ihre Aufmerksamkeit noch einem lehrreichen Schauspiel zulenken, das ich nie ohne ein gewisses physikalisches Vergnügen gesehen habe, weil es dem körperlichen Auge auf der Wasserfläche anschaulich macht, was sonst nur das geistige Auge des mathematischen Denkers in der von Schallwellen durchkreuzten Luft erkennen kann. Ich meine das Übereinanderliegen von vielen verschiedenen Wellensystemen, deren jedes einzelne seinen Weg ungestört fortsetzt. [...] Ebenso müssen Sie sich nun die Luft eines Concert- oder Tanzsaales von einem bunten Gewimmel gekreuzter Wellensysteme, nicht bloss in der Fläche, sondern nach allen ihren Dimensionen, durchschnitten denken. Von dem Munde der Männer gehen weitgedehnte 6- bis 12füssige Wellen aus, kürzere 1 ½ bis 3füssige von den Lippen der Frauen. Das Knistern der Kleider erregt kleine Kräuselungen in der Luft; jeder Ton des Orchesters entsendet seine Wellen, und alle diese Systeme verbreiten sich kugelförmig von ihrem Ursprungsorte, schiessen durcheinander, werden von den Wänden des Saales reflectirt, und laufen hin und wider, bis sie endlich, von neu entstandenen übertönt, erlöschen.¹³

Das Ohr vermag jedoch »das Durcheinander der Wellen« zu ordnen: »Es unterscheidet die Stimmen der Männer, der Frauen, ja der einzelnen Individuen, die Klänge der verschiedenen musikalischen Instrumente, das Rauschen der Kleider, die Fußtritte und so weiter.«¹⁴ »Dabei«, so Helmholtz weiter, »befindet es sich unter viel ungünstigeren Bedingungen als das Auge, welches die ganze wogende Fläche auf einmal überschaut, während das Ohr natürlich nur Bewegung der ihm zunächst benachbarten Lufttheilchen wahrnehmen kann.«¹⁵ Diese aus der Differenz zwischen Optik und Akustik, Auge und Ohr entwickelte Bestimmung der medialen Spezifik von Geräusch-, Klang- und Musikwahrnehmung führt direkt in das Zentrum der bislang unbeantworteten Fragen und Forschungszusammenhänge. Helmholtz nähert sich diesem Gebiet nun jedoch nicht direkt von Seiten der Akustik und Physiologie, sondern spitzt die Problemstellung zunächst gedanklich weiter zu. Dabei modelliert er den beobachteten Sachverhalt nach dem Vorbild einer mathematischen Operation:

Die Form der Wasseroberfläche wird in diesen wie in anderen verwickelteren Fällen dadurch bestimmt, dass die Höhe jedes Punktes gleich wird der Höhe sämmtlicher, in diesem Augenblick dort zusammen-treffender Wellenberge zusammengenommen, wovon abzuziehen ist die Summe aller dort gleichzeitig hintreffenden Wellenthäler. [...] Bei den Schallwellen ist es nun ähnlich. Auch sie summiren sich an jeder Stelle des Luftraumes, sowie am Ohr des Hörenden. Auch bei ihnen wird die Verdichtung und die Geschwindigkeit der Lufttheilchen im Gehörgange gleich der algebraischen Summe der einzelnen Werthe der Verdichtung und Geschwindigkeit, welche den Schallwellenzügen, einzeln genommen, zu-

12 Ebd., S. 366.

13 Helmholtz: *Ueber die physiologischen Ursachen* (Anm. 1), S. 24 ff.

14 Ebd., S. 26.

15 Ebd., S. 27.

*kommen. [...] Es [das Ohr, B.S.] muss also die Fähigkeit haben, alle die einzelnen zusammenwirkenden Töne aus der Bewegung eines einzigen Punktes im Luftraume herauszufinden.*¹⁶

Die verwendeten Termini (»summieren«, »algebraische Summe der einzelnen Werthe«), insbesondere aber die Akzentuierung eines »einzigsten Punktes« als distinkt bestimmtes Element innerhalb eines Bewegungsverlaufs verweisen auf ein mathematisches Verfahren, das Wellengleichungen geometrisch visualisiert und in Kurvenverläufen dokumentiert. So erscheint u. a. auch die mittels einer Differentialgleichung formalisierte Berechnung von Seitenlängen und Winkelgrößen in der linearen Korrelation und Komplementarität von Sinus- und Cosinusfunktion als eine periodische Bewegung, sobald sie als Graph im 360-Grad-Umlauf zeitlich erfasst wird. Dieses Bild einer auf die Skala von x- bzw. Zeitachse und y- bzw. Summationsachse eingetragenen Visualisierung von Kurvenverläufen bietet einem mathematisch inspirierten Denken nun ausreichend Spielraum und Anschaulichkeit, um weitere grundlegende Überlegungen noch diesseits eines experimentellen Zugriffs anzuregen: In der visuell gestützten, analytischen Durchdringung der Prinzipien, die eine Überlagerung periodischer Bewegungen im zeitlichen Verlauf kennzeichnen, liegt der Rückschluss nahe, dass sich zu jedem Zeitpunkt jeder beliebige Punkt des Bewegungsverlaufs als algebraische Summe auf der Skala zwischen -1 und +1 durch die Kombination einer Mehrzahl von periodischen Kurvenverläufen in Abhängigkeit von deren jeweiliger Stauchung und Dehnung eintragen lässt. Wird nun eine solche visuelle Umsetzung von Differentialgleichungen, die zunächst als allgemeines mathematisches Verfahren über ein breites Spektrum von Anwendungsmöglichkeiten verfügt, auf das Gebiet der Akustik übertragen, so werden die Stauchungen und Dehnungen der Kurven auf der x- bzw. Zeitachse als unterschiedliche Frequenzen interpretierbar. Im Umkehrschluss ergibt sich dann die einfache Folgerung, dass alle Klänge und Klangkomplexe, die aus der Summierung einer Vielzahl einzelner Klangereignisse unterschiedlicher Frequenzen bestehen, mathematisch wieder vollständig auf ihre einfachen Elemente, d. h. auf einfache periodische Schwingungen bzw. Sinusschwingungen, rückgeführt werden können. An dieser Stelle seiner Argumentation kann Helmholtz auf die Arbeit des französischen Mathematikers Joseph Fourier zurückgreifen, der im Jahr 1822 eine allgemeine Gleichung für diesen Vorgang entwickelt hat – ein »Gesetz«, das »von ausserordentlicher Wichtigkeit für die Akustik« ist, »weil es die Betrachtung zusammengesetzter Fälle ganz auf die der einfachen zurückführt«¹⁷ und damit gleichsam einem Grundimpuls mathematischen Denkens entspricht:

*Ich erwähnte vorher die Wellenform mit sanft abgerundeten Thälern und Bergen. In Bezug auf diese hat der französische Mathematiker Fourier einen berühmten und wichtigen Satz erwiesen, den man aus der mathematischen Sprache ins Deutsche ungefähr so übersetzen kann: Jede beliebige Wellenform kann aus einer Anzahl einfacher Wellen von verschiedener Länge zusammengesetzt werden.*¹⁸

Der von Helmholtz an dieser Stelle konsequenterweise verwendete Begriff der »Wellenform« akzentuiert sowohl den zusammengesetzten Charakter von Klängen als auch die unterschiedlichen Wellenverläufe, auf die der Forscher in seinen Experimenten und Aufzeichnungsverfahren zum Schall trifft.¹⁹ Letztere werden unter Bezugnahme auf Fouriers Formel interpretierbar als Summe respektive Überlagerung »einfacher Wellen«; und dies bedeutet wiederum, dass eingedenk des unterstellten punktuellen Charakters der auditiven Wahrnehmung auch jeder einzelne Punkt im Koordinatensystem einer Kurve

¹⁶ Ebd., S. 27 f.

¹⁷ Helmholtz: *Die Lehre von den Tonempfindungen* (Anm. 2), S. 239.

¹⁸ Helmholtz: *Ueber die physiologischen Ursachen* (Anm. 1), S. 33 f.

¹⁹ Vgl. die Abbildungen auf ebd., S. 34.

(respektive »Wellenform«) als algebraische Summe einer Mehrzahl anderer Punkte gedeutet werden muss, die ihrerseits jeweils den »einfachen Wellen« entstammen.

Die bislang von Helmholtz formulierten Einsichten basieren – so ließe sich ein kurzes Zwischenresümee ziehen – auf einer mathematischen Operation, die Modellcharakter für die Analyse akustischer Phänomene gewinnt. Bei genauerem Hinsehen erweist sich das mathematische Vorgehen jedoch als ein in sich bereits mehrfach gestaffelter Vorgang. Denn zum einen ist die Sinus-/Cosinus-Funktion ja ihrerseits bereits eine spezifische Anwendung grundlegenderer Variantenbildungen, die Differentialgleichungen als formale Struktur bereithalten; zum anderen wird eine Serie von Modellbildungen und Abstraktionen wirksam, die zwischen Schrift respektive mathematischen Formeln und deren Visualisierung pendeln und darauf verweisen, dass die Mathematik selbst bereits mit vielfältigen Übertragungen arbeitet. Deutlich werden die theoriebildenden Effekte dieser mathematischen Arbeitsweise, wenn man sie mit anderen Visualisierungsverfahren von Schall – insbesondere den unmittelbaren, prä-phonographischen Aufzeichnungen von Friedrich Chladni Ende des 18. Jahrhunderts – vergleicht. Die in Chladnis Experimenten erzeugten ornamentalen Figuren vermitteln zwar einen unmittelbar sinnfälligen visuellen Eindruck vom harmonischen Grundcharakter der Klänge respektive periodischen Schwingungen, sie lassen jedoch als Endprodukte sich überlagernder »einfacher Wellen« keinerlei Rückschlüsse über den wahren Charakter, d. h. die interne Strukturiertheit der aufgezeichneten Klangereignisse zu. Erst der »Umweg« über die mathematische Abstraktion der Differentialgleichung schärft den Blick dafür, dass visuelle Repräsentationen als Produkte einer komplexen Überlagerung verstanden werden können, und lenkt die Aufmerksamkeit auf die form- und strukturbildenden Momente, die sich hinter der graphischen Oberfläche verbergen. Nicht die direkte Aufzeichnung von Schall, sondern die per Differentialgleichung in Kraft gesetzten Kurvenfunktionen legen daher offenkundig den entscheidenden Gedanken nahe, mathematische Operationen als strukturelles Vorbild für die Erfassung und Systematisierung auditiver Phänomene (im Sinne einer Addition von Sinuskurven) zu verstehen.

Diese auf mathematischem Wege gewonnenen Einsichten bilden die Grundlage für Helmholtz' weitere Studien. Dabei erlangt die Implantierung der mathematischen Ableitung in das Gebiet der »physiologischen Akustik« eine gleichsam katalysatorische Kraft und gibt den entscheidenden Impuls, die punktuelle Logik der mathematischen Operationen unmittelbar mit dem punktuellen Charakter der auditiven Wahrnehmung zu verbinden: Wenn das Ohr – im Unterschied zum Auge, »das die ganze wogende Fläche auf einmal« zu überschauen vermag – »nur die Bewegung der ihm zunächst benachbarten Lufttheilchen wahrnehmen« kann, und daher in der Lage sein muss, »alle die einzelnen zusammenwirkenden Töne aus der Bewegung eines einzigen Punktes im Luftraume« zu extrahieren, so kann der Grund zu einer solch außergewöhnlichen Sinnesleistung nur in einer spezifischen Fähigkeit des Ohres liegen, eine analoge mathematische Operation zu vollziehen:

Wie die Saiten, so geben fast alle anderen musikalischen Instrumente Tonwellen, die nicht genau der reinen Wellenform entsprechen, sondern sich aus einer grösseren oder geringeren Zahl von einfachen Wellen zusammensetzen. Das Ohr analysirt sie alle nach dem Fourier'schen Satze, trotz dem besten Mathematiker, und hört bei gehöriger Aufmerksamkeit die, den einzelnen einfachen Wellen entsprechenden, Obertöne heraus.²⁰

Diese direkt aus den mathematischen Visualisierungsverfahren abgeleitete gedankliche Zuspitzung, die auf eine gleichsam »mathematische« Disposition des Ohres rekurriert, verdeutlicht zum einen, dass ma-

²⁰ Ebd., S. 39 f.

thematisches Wissen auch kontraintuitiv anmutende Perspektiven und Beobachtungen wissenschaftlich produktiv zu machen vermag; Helmholtz' Exposition des Untersuchungszusammenhang – die Beobachtung, dass die punktuelle Wahrnehmung einer einzelnen »Wellenform« höchstdifferenzierte Klangeindrücke zu erzeugen vermag – ist hierfür ein sinnfälliges Beispiel. Zum anderen tritt der Modellcharakter, den die mathematischen Operationen für die Konturierung physiologischer Wahrnehmungsphänomene gewinnen, deutlich hervor, denn der Forscher lässt sich, wie beschrieben, in der Disposition seiner wissenschaftlichen Arbeit nicht primär von experimentellen Untersuchungen anleiten, sondern entwickelt die Konsequenzen, die sich für hörphysiologische Studien ergeben, zunächst autonom aus den mathematischen Verfahren. Daher gibt das, was Helmholtz in Bezugnahme auf Fouriers Gleichung zunächst als »eine willkürliche Fiction zur Bequemlichkeit der Theorie« eingeführt hat, »ohne eine reelle Bedeutung«²¹, konsequenterweise die empirische Suchrichtung für die physiologischen Studien vor. Eine solch theoretisch-mathematisch formierte Erwartung findet dann in dem wenige Jahre zuvor durch Alfonso Corti entdeckten Rezeptorengbiet des Innenohres den anatomischen Ort, an dem jene mathematischen Operationen umgesetzt werden. Die Eigenresonanz der dort angesiedelten einzelnen, für je verschiedene Frequenzen empfindlichen Härchen extrapoliert aus den »Wellenformen« die akustischen Grundeinheiten, die einfachen Sinusschwingungen. Das Fouriersche Gesetz findet somit »reelle Bedeutung« in der analog strukturierten analytischen Tätigkeit des Ohres:

Das leibliche Ohr thut immer genau dasselbe, was der Mathematiker thut mittelst des Fourier'schen Satzes, und was das Clavier mit einer zusammengesetzten Tonmasse thut: es löst die Wellenformen, welche nicht, wie die Stimmgabeltöne, schon ursprünglich der einfachen Wellenform entsprechen, in eine Summe von einfachen Wellen auf; es empfindet den Ton einzeln, welcher einer jeden einfachen Welle zugehört, mag nun die Welle ursprünglich als solche aus der Tonquelle hervorgegangen sein oder sich erst unterwegs zusammengesetzt haben.²²

Die Art der mathematischen Visualisierung, die Übersetzung der Differentialgleichungen in ein Koordinatensystem, bietet – so könnte man die Leistungen der Mathematik für die Forschungen der »akustischen Physiologie« beschreiben – ein Raster, das Tonempfindungen gleichsam über die x- und y-Achse als Aspekte von Form und von Zeit zu rekonstruieren vermag: Die Punkte der Kurve (die, wie erwähnt, als einzelne Bewegungszustände auf das Ohr treffen) werden vom Ohr als algebraische Summe einer Mehrzahl von anderen Punkten – also als Form – registriert. Zugleich werden sie aber in der Potentialität ihrer (in der Serienlogik der Differentialgleichung angelegten) Fortschreitung auf der Zeitachse zumindest soweit synthetisiert, dass überhaupt eine periodische Schwingung als Eigenschwingung der Rezeptoren entsteht. Diese vermag sich dann (und dies wiederum nur relational zur Abklingzeit der Nervenreize) als »Schall«, als Gegenwartszeit einer Tonempfindung, zu konstituieren. D. h. die physiologische Aktivität des Ohres findet im Koordinatensystem ein prägnantes Strukturmodell des Wechselspiels seiner analytisch-formbezogenen und synthetisch-zeitbezogenen Operationen.

Eine solche Implantation mathematischer Operationen in die »akustische Physiologie« initiiert zugleich weiterreichende wissenschaftliche Effekte, die sich der Eigenlogik mathematischer Verfahren verdanken und das Verständnis von Physiologie und Wahrnehmungsvorgängen modifizieren. Insbesondere begünstigt die rein formale Anlage der mathematischen Gleichungen, deren Variablen potentiell durch jeden beliebigen konkreten Wert ersetzt werden können, eine Flexibilisierung von Zeitvorstellungen. Und mit der Vorstellung einer Resonanzbildung im Innenohr und der Annahme, dass die Härchen des Rezep-

21 Helmholtz: *Die Lehre von den Tonempfindungen* (Anm. 2), S. 231.

22 Helmholtz: *Ueber die physiologischen Ursachen* (Anm. 1), S. 37.

torengbietes nach dem Modell eines gleichsam mathematisch geprägten Distributions- und Operationsprinzips angeregt werden, treten nun kleinste, bis zu 20.000 Eigenschwingungen pro Sekunde reichende Zeitintervalle in den Horizont der physiologischen Untersuchungen. Diese Werte liegen weit unterhalb psychologisch wahrnehmbarer Schwellen und treiben fundamentale Unterschiede zwischen physiologischen Vorgängen und Bewusstseinsprozessen bzw. Gedankenverkettungen hervor, deren Maßeinheiten und Zeitrhythmen in den psychologischen Studien und der Gedächtnisforschung der Zeit wesentlich größer dimensioniert erscheinen.²³ Eine durch mathematische Prinzipien inspirierte physiologische Forschung, die sich nicht permanent an einem Erfahrungswissen messen lassen muss, das seinerseits lediglich durch eine einzige Quelle der Wissensgenerierung, nämlich der Selbstwahrnehmung des Bewusstseins sowie den daran gekoppelten Umwelterfahrungen und Semantiken, bestimmt wird, schärft daher den Blick für systemisch bedingte Grenzen zwischen Physiologie und Psychologie. Diese Erkenntnis bestimmt, wie aus zahlreichen Passagen des Vortrages aus dem Jahr 1857 wie auch aus späteren Schriften hervorgeht, grundlegend Helmholtz' wissenschaftlichen Zugriff:

Ist es mir erlaubt, eigener neuester Arbeiten hier zu gedenken, so will ich noch erwähnen, dass es möglich ist, durch die Physik des Schalles und die Physiologie der Tonempfindungen die Elemente der Construction unseres musikalischen Systems zu begründen, eine Aufgabe, die wesentlich in das Fach der Aesthetik hineingehört. Die Physiologie der Sinnesorgane überhaupt tritt in engste Verbindung mit der Psychologie. Sie weist in den Sinneswahrnehmungen die Resultate psychischer Prozesse nach, welche nicht in das [sic!] Bereich des auf sich selbst reflectirenden Bewusstseins fallen und welche deshalb nothwendig der psychologischen Selbstbeobachtung verborgen bleiben mussten.²⁴

Eine solche Systemunterscheidung prägt auch, wie sich in dieser Textpartie bereits andeutet, die Argumentationsweise, mit der die Gebiete der Akustik und der Physiologie für musiktheoretische und musikästhetische Zusammenhänge produktiv gemacht werden.

Der Gedanke einer nach mathematischen Prinzipien, d. h. dem Modell der Differentialgleichung und ihrer geometrischen Repräsentationen, strukturierten Funktionsweise des Ohres erlaubt es, elementare akustische Bausteine in ihren physiologischen Verarbeitungsmechanismen plausibel zu konturieren. Ein einzelner Ton erweist sich auf diese Weise als ein aus mehreren Sinusschwingungen zusammengesetzter Klang (»Wellenform«), dessen Charakteristik von der Verteilung und Stärke der Obertöne abhängt. Die jeweils für die unterschiedlichen Frequenzen empfindlichen Härchen des Rezeptorengbietes resonieren gemäß den hier jeweils auftretenden unterschiedlichen Klangspektren. Im Bewusstsein wird das Ergebnis dieses physiologischen Prozesses jedoch nicht als Kopräsenz mehrerer Einzelschwingungen abgebildet, sondern als Klangfarbe bzw. als klangliche Charakteristik eines einzelnen Tones rekonstruiert.²⁵ Es »ge-

23 Vgl. beispielshalber die Messverfahren und Ergebnisse in Hermann Ebbinghaus' umfangreichen Studien zur Struktur und Funktionsweise des Gedächtnisses. Hermann Ebbinghaus: *Über das Gedächtnis. Untersuchungen zur experimentellen Psychologie*, Leipzig 1885.

24 Hermann von Helmholtz: »Ueber das Verhältniss der Naturwissenschaften zur Gesamtheit der Wissenschaft«, in: ders.: *Vorträge und Reden*, Bd. 1, 4. Aufl., Braunschweig 1896, S. 184.

25 Eine solche Repräsentation der Klangereignisse im Bewusstsein löst die Anschlussfrage aus, nach welchen Prinzipien die Wahrnehmung eine Mehrzahl von »einfachen Schwingungen« zu einer Einheit zusammenfasst (wie bei einem einzelnen Ton) oder sie voneinander unterscheidet (wie bei einem Intervall). Helmholtz beantwortet diese Frage in einer eher vorläufigen Weise mit der evolutionär-existential bedingten Notwendigkeit des Menschen, verschiedene Klangquellen voneinander zu unterscheiden, während eine einzige Klangquelle in einem einzigen akustischen Ereignis repräsentiert werden kann. Die beobachteten Übergangsphänomene einer Klangverschmelzung zweier Töne (z. B. in der Oktave) oder umgekehrt der auditiven Extraktion einzelner Obertöne (per Resonatoren oder per Hörtraining) belegen implizit – so Helmholtz –, dass hier Konditionierungen und nicht systemische Unterscheidungen am Werk sind.

hen uns«, so Helmholtz in der Markierung dieser klaren systemischen Unterscheidung, »die Obertöne« – als Teil der Physiologie – »in die nicht näher zu bezeichnenden Eigenthümlichkeiten des Tones auf, die wir Klangfarbe« – als Teil der Psychologie – »nennen.«²⁶ Aus der Kombination mehrerer Töne (die in sich jeweils bereits aus Grund- und Obertönen zusammengesetzte Klänge bilden) entstehen dann weitere, immer nach demselben mathematischen Prinzip der Wellengleichung zu berechnende »Wellenformen«, die sich im Zusammenspiel zu jenen komplexen akustischen Landschaften verdichten, die Helmholtz in der oben zitierten Exposition seiner Fragestellung beschreibt. Hierbei treten zugleich jedoch neue akustische Effekte und Qualitäten hervor, in deren Kontext insbesondere das »Phänomen der Schwebungen« – und damit zusammenhängend die Unterscheidung zwischen Konsonanz und Dissonanz – erhebliches Gewicht für den weiteren Argumentations- und Untersuchungszusammenhang gewinnt:

Endlich hängt die ganze Grundlage der musikalischen Wirkung der Consonanz und Dissonanz von dem eigenthümlichen Phänomen der Schwebungen ab. Diese beruhen auf einem schnellen Wechsel in der Intensität des Tones, welcher dadurch entsteht, dass zwei nahe gleich hohe Töne abwechselnd mit gleichen und entgegengesetzten Phasen zusammenwirken, und dem gemäss bald starke, bald schwache Schwingungen der mitschwingenden Körper erregen. [...] Gleichzeitig ist jede Faser des Hörnerven nur für Töne aus einem engen Intervall der Scala empfindlich, so dass nur ganz nahe gelegene Töne in ihr überhaupt zusammen wirken können, weit voneinander entfernte nicht oder nicht unmittelbar. Wenn sie es thun, so rührt dies von begleitenden Obertönen oder Combinationstönen her. Daher tritt beim Ohr dieser Unterschied von schwirrendem und nicht schwirrendem Intervalle, d. h. von Consonanz und Dissonanz ein.²⁷

Die Unterscheidung zwischen konsonierenden Intervallen, bei denen die Schwingungen sich ohne »intermittierende Erregung gewisser Hörnervenfasern«²⁸ im Obertonspektrum frei entfalten können, und Dissonanzen, in denen Grund- und Obertöne eng benachbarte Härchen anregen, die sich dann wechselseitig in ihrer Eigenresonanz stören und im Bewusstsein als »Schwirren« oder »Rauhigkeit«²⁹ des Klanges bemerkbar machen, basiert – wie Helmholtz in Erinnerung ruft – auf der zuvor explizierten spezifischen Arbeitsweise des Ohres: »Für die Feststellung der consonirenden Intervalle [war] die Fähigkeit des Ohres, Obertöne empfinden und zusammengesetzte Wellensysteme nach dem Fourier'schen Satze in einfache auflösen zu können, nothwendig.«³⁰ Das aus der historischen Rückschau von Helmholtz abgeleitete Desiderat, dem Wesen des Konsonanz- und Dissonanzempfindens auf den Grund zu gehen, findet hier, d. h. in der physiologischen, mathematischen Prinzipien nachgebildeten Operationsweise des Ohres, seinen Fluchtpunkt. Auf dieser Grundlage werden nun auch Rameaus und D'Alemberts Bemühungen um ein konsistentes musiktheoretisches »System« wieder aufgegriffen.³¹ Die Lehre von Intervallen und Akkordverbindungen spannt das Zusammenspiel der (in sich bereits geformten) einzelnen Töne zwischen den Polen von Konsonanz und Dissonanz auf und markiert mit dem Prinzip der Tonverwandtschaft – d. h. einer (partiellen) Konvergenz von Grundtönen und Obertönen, die keine Schwebungen erzeugt – einen Grundbaustein der Musiktheorie und Harmonielehre. Die physiologische Fundierung von Konsonanz und Dissonanz bildet dann wiederum ein Regulativ, vor dessen Hintergrund sich ästhetische Effekte

26 Helmholtz: *Ueber die physiologischen Ursachen* (Anm. 1), S. 43.

27 Hermann von Helmholtz: »Die Tatsachen in der Wahrnehmung«, in: ders.: *Vorträge und Reden*, Bd. 2, 4. Aufl., Braunschweig 1896, S. 221 f.

28 Helmholtz: *Die Lehre von den Tonempfindungen* (Anm. 2), S. 266.

29 Ebd., S. 269.

30 Helmholtz: *Ueber die physiologischen Ursachen* (Anm. 1), S. 53.

31 In dem Vortrag von 1857 werden mögliche Konsequenzen nur knapp angedeutet, später jedoch im dritten Kapitel von *Die Lehre von den Tonempfindungen* detailliert entfaltet.

nicht beliebig erzeugen lassen. Jenseits einer mathematisch-naturwissenschaftlich aufgeschlüsselten Deutung des Konsonanz- und Dissonanzempfindens folgen ästhetische Strategien daher immer schon einer »unbewussten Vernunftmässigkeit«:

Die Aesthetik sucht das Wesen des künstlerisch Schönen in seiner unbewussten Vernunftmässigkeit. Ich habe Ihnen heute das verborgene Gesetz, das den Wohlklang der harmonischen Tonverbindungen bedingt, aufzudecken gesucht. Es ist recht eigentlich ein unbewusstes, so weit es in den Obertönen beruht, die zwar vom Nerven empfunden werden, gewöhnlich jedoch nicht in das Gebiet des bewussten Vorstellens eintreten, deren Verträglichkeit oder Unverträglichkeit aber jedoch gefühlt wird, ohne dass der Hörer wüsste, wo der Grund seines Gefühls liegt. Die Erscheinungen des rein sinnlichen Wohlklanges sind freilich erst der niedrigste Grad des musikalisch Schönen. Für die höhere, geistige Schönheit der Musik sind Harmonie und Disharmonie nur Mittel, aber wesentliche und mächtige Mittel.³²

Das hier wirksam werdende implizite Wissen um das »Wesen des künstlerisch Schönen« manifestiert sich als Selektionshorizont, vor dem ästhetische Entscheidungen getroffen werden, es fixiert damit aber keineswegs die Konturen musikalischer Stillagen oder gar Formen. Aus diesen Freiheitsgraden, d. h. ausgehend von den Möglichkeiten, vor einem mathematisch-akustisch-physiologisch bestimmten Horizont ästhetisch vielfältig zu agieren, entwickeln sich, so Helmholtz' Ausführungen, musikhistorische und musikkulturelle Variabilitäten.³³ Damit wird zugleich auch an dieser Stelle das Bewusstsein für eine Grenze zwischen verschiedenen Bezugssystemen, zwischen der Physiologie auf der einen und der Ästhetik, Musiktheorie und Kompositionsgeschichte auf der anderen Seite, gestärkt. Diese Grenze lässt sich nicht überspringen und schließt reduktionistische Verfahren aus dem Argumentationshaushalt aus:

Daraus folgt der Satz, der unseren musikalischen Theoretikern und Historikern noch immer nicht genügend gegenwärtig ist, dass das System der Tonleitern, der Tonarten und deren Harmoniegewebe nicht bloss auf unveränderlichen Naturgesetzen beruht, sondern dass es zum Theil auch die Konsequenz ästhetischer Principien ist, die mit fortschreitender Entwicklung der Menschheit einem Wechsel unterworfen gewesen sind und ferner noch sein werden.³⁴

Helmholtz' akustische und physiologische Untersuchungen, seine musiktheoretischen Explikationen und insbesondere auch die Markierung der systemischen Grenze zwischen ästhetischer und naturwissenschaftlicher Argumentation bilden innerhalb kurzer Zeit einen Referenzrahmen für viele weitere Studien in diesem Feld. Und sie finden Resonanz in einer jungen Fachdisziplin, die sich zu dieser Zeit institutionell zu konstituieren beginnt: der Musikwissenschaft. Deren erster Lehrstuhlinhaber, Eduard Hanslick, vermerkt in seiner Schrift *Vom Musikalisch-Schönen*³⁵, dass »auf dem Gebiete, in dem sich bereits die Naturwissenschaft eng mit der Aesthetik berührt«, »uns die Forschungen von Helmholtz über

32 Helmholtz: *Ueber die physiologischen Ursachen* (Anm. 1), S. 53.

33 Helmholtz selbst kennzeichnet diese Variabilität in *Die Lehre von den Tonempfindungen* als eine sich entelechisch über die Jahrhunderte entfaltende Differenzierung impliziten Wissens, Max Weber leitet sechs Jahrzehnte später daraus kulturvergleichende Perspektiven ab. Max Weber: *Die rationalen und soziologischen Grundlagen der Musik*, München 1921.

34 Helmholtz: *Die Lehre von den Tonempfindungen* (Anm. 2), S. 370.

35 Eduard Hanslick: *Vom Musikalisch-Schönen. Ein Beitrag zur Revision der Aesthetik der Tonkunst*, 1. Aufl., Leipzig 1854. Die Erstausgabe von Hanslicks Schrift erscheint neun Jahre vor Helmholtz' Veröffentlichung *Die Lehre von den Tonempfindungen*. In späteren Ausgaben nimmt Hanslick jedoch auf Helmholtz Bezug.

die Consonanz und die Verwandtschaft der Töne viel Licht gegeben« haben, »wo noch bis vor kurzem viel Dunkel herrschte«. ³⁶ Für ihn steht außer Frage:

Auch die Aesthetik, will sie kein bloßes Scheinleben führen, muß die knorrige Wurzel kennen, wie die zarte Faser, an welcher jede einzelne Kunst mit dem Naturgrunde zusammenhängt. Und gerade für die musikalische Aesthetik erschließt das Verhältniß der Tonkunst zur Natur die wichtigsten Folgerungen. Die Stellung ihrer schwierigsten Materien, die Lösung ihrer controversesten Fragen hängt von der richtigen Würdigung dieses Zusammenhanges ab. ³⁷

Dabei gewinnt die Unterscheidung zwischen »Natur« (als Gegenstand der Naturwissenschaft) und Musik respektive »Tonkunst« (als Gegenstand der Ästhetik) noch einmal ein gesondertes Gewicht – stellen doch beide Gebiete im Kontext von Akustik und Klangerzeugung zunächst grundsätzlich verschiedene Phänomenbereiche dar; und dies allein schon deshalb, weil periodische Schwingungen, mit denen die Musik arbeitet, in der Natur nicht vorkommen. Auch für Hanslick bildet daher die Mathematik die entscheidende und unverzichtbare Gelenkstelle, deren relationierende Kraft allererst Bezüge zwischen der »Musik der Natur« und der »Tonkunst« stiftet und deren Gesetzmäßigkeiten jeder ästhetischen Formbildung als »messbare« und »geordnete« Grundierung voraus liegen:

Die »Musik« der Natur und die Tonkunst des Menschen sind zwei verschiedene Gebiete. Der Uebergang von der ersten zur zweiten geht durch die Mathematik. Ein wichtiger, folgenreicher Satz. Freilich darf man ihn nicht so denken, als hätte der Mensch seine Töne durch absichtlich angestellte Berechnungen geordnet; es geschah dies vielmehr durch unbewußte Anwendung ursprünglicher Größen- und Verhältnißvorstellungen durch ein verborgenes Messen und Zählen, dessen Gesetzmäßigkeit erst später die Wissenschaft constatirte. [...] Die Natur gibt uns nicht das künstlerische Material eines fertigen, vorgebildeten Tonsystems, sondern nur den rohen Stoff der Körper, die wir der Musik dienstbar machen. Nicht die Stimmen der Thiere, sondern ihre Gedärme sind uns wichtig, und das Thier, dem die Musik am meisten verdankt, ist nicht die Nachtigall, sondern das Schaf. [...] Der meßbare Ton und das geordnete Tonsystem sind erst, womit der Componist schafft, nicht, was er schafft. ³⁸

Die modellbildenden Leistungen, die die Mathematik für die Elaboration des hier beschriebenen Gesamtzusammenhangs erbringt, liegen im Kern in der Konturierung von wissenschaftlichen Zugriffsverfahren, in den Impulsen für empirische Suchrichtungen, in der Durchsetzung kontraintuitiven Denkens durch formale Abstraktion, in den Systemisierungseffekten für ein zuvor lediglich fragmentarisch erfasstes Beobachtungswissen und in der Schärfung der Grenzen, die zwischen den Phänomenbereichen der Akustik, Physiologie, Psychologie und Ästhetik verlaufen. Das Verhältnis zwischen den Wissensgebieten wird damit auf eine fundamentale Weise neu gefasst und als eine Relation gedeutet, die nicht länger der Logik von »Transsubstantiationen«, sondern derjenigen von »Transformationen« unterliegt. ³⁹ Oder in Helmholtz' eigenen Worten formuliert:

³⁶ Hanslick: *Vom Musikalisch-Schönen*, 7. Aufl., Leipzig 1885, S. 125 f.

³⁷ Ebd., S. 159 f.

³⁸ Hanslick: *Vom Musikalisch-Schönen* (Anm. 35), 1. Aufl., Leipzig 1854, S. 89.

³⁹ Rudolph Hermann Lotze: *Medizinische Psychologie*, Göttingen 1852. Vgl. zu diesem Aspekt auch: Bettina Schlüter: »Eigenzeiten der musikalischen Form. Musik-Wissen im Gefüge der Disziplinen des 19. Jahrhunderts«, in: Michael Gamper u. a. (Hg.): *Zeiten der Form, Formen der Zeit*. Hannover 2016. (im Druck).

Insofern die Qualität unserer Empfindung uns von der Eigenthümlichkeit der äusseren Einwirkung, durch welche sie erregt ist, eine Nachricht giebt, kann sie als Zeichen derselben gelten, aber nicht als ein Abbild. Denn vom Bilde verlangt man irgend eine Art der Gleichheit mit dem abgebildeten Gegenstande, von einer Statue Gleichheit der Form, von einer Zeichnung Gleichheit der perspectivischen Projection im Gesichtsfelde, von einem Gemälde auch noch Gleichheit der Farben. Ein Zeichen aber braucht gar keine Art der Aehnlichkeit mit dem zu haben, dessen Zeichen es ist. Die Beziehung zwischen beiden beschränkt sich darauf, dass das gleiche Object, unter gleichen Umständen zur Einwirkung kommend, das gleiche Zeichen hervorruft, und dass also ungleiche Zeichen immer ungleicher Einwirkung entsprechen.⁴⁰

Wenn nur noch »Zeichen« als rein formale Modi eines entsubstantialisierten Zusammenwirkens die Übergänge zwischen »Empfindung« und der »Eigenthümlichkeit der äusseren Einwirkung« organisieren, so verweist letztlich auch ein solches Prinzip einer reinen Korrelation auf die formale Struktur der Differentialgleichung zurück. In eine solche Form gebracht, kann die Korrelation als Ergebnis einer eigenen wissenschaftlichen Bestimmungsleistung freigestellt und damit selbst noch einmal modellierbar werden. Diesen Gedanken äußert beispielshalber auch Gustav Theodor Fechner 1860 in seiner Schrift *Elemente der Psychophysik* bezogen auf den Zusammenhang zwischen Reiz und Empfindung:

Denn wenn wir in einer Gleichung y als Funktion von x ausgedrückt haben, so können wir y nach dem Werte von x und umgekehrt finden, wenn die Weise, wie sie sich mit einander ändern, auch eine ganz andere, als die des einander proportionalen Fortschritts ist.⁴¹

Die modellbildende Wirkung der Mathematik liegt somit, fasst man die vorausgehenden Beobachtungen zusammen, zuallererst in einem gedanklichen Prägnanzgewinn: in der katalysatorischen Bedeutung, die sie als organisierende und ordnende Struktur für andere Wissensgebiete und deren wechselseitiges Zusammenspiel gewinnt.

40 Hermann von Helmholtz: »Die Tatsachen in der Wahrnehmung« (Anm. 27), S. 222.

41 Gustav Theodor Fechner: *Elemente der Psychophysik*. 3. Aufl., Leipzig 1907, S. 57. In ähnlicher Weise formuliert Ebbinghaus: »Man sucht den Complex von Bedingungen, die sich für das Zustandekommen eines gewissen Effekts als maßgebend erwiesen haben, konstant zu erhalten, variiert eine dieser Bedingungen isoliert von den übrigen und in numerisch fixierbarer Weise, und konstatiert dann auf der Seite des Effekts wiederum in einer Messung oder Zählung die begleitende Veränderung.« Hermann Ebbinghaus: *Über das Gedächtnis* (Anm. 23), Leipzig 1885, S. 9 f.

Das Modell als Vermittler von Struktur und Ereignis.

Mechanische, statistische und verkleinerte Modelle bei Claude Lévi-Strauss

Michael Bies

I

Es ist ein Gegenstand andauernder Diskussionen, wie der Strukturalismus, der im Werk von Claude Lévi-Strauss vielleicht seine aufregendste und theoretisch ambitionierteste Ausprägung gefunden hat, sich zum Modell verhält. Während Marcel Hénaff betont hat, dass der Strukturalismus von Lévi-Strauss ohne eine Klärung des Modell-Begriffs kaum verstanden werden könne,¹ hat Robert Matthias Erdbeer am Beispiel des französischen Ethnologen zuletzt das Fehlen einer strukturalistischen Modelltheorie beklagt:

Man kann hier einen echten Theorieverlust, ja Theorieverzicht beklagen, wenn man konstatiert, dass am Beginn der strukturalen Theoriebildung nicht die Strukturen stehen, sondern das Modell. Modelle, so die überraschende Erkenntnis, sind das epistemische Arkanum, das verdeckte Andere des strukturalen Theoriedesigns.²

Aus der Perspektive der Modelltheorie literarischer Texte, die Erdbeer in hoch anregender Weise ausgearbeitet hat, ist diese Diagnose nachvollziehbar. Jedoch sollte sie nicht in den Hintergrund geraten lassen, dass der Modell-Begriff von Lévi-Strauss, so ungenügend er sich zur Lösung aktueller theoretischer Fragestellungen erweisen mag, aus historischer Sicht überaus aufschlussreich ist, ja dass er gerade auch in seinen Unschärfen, Schwierigkeiten und Dunkelheiten Auskunft darüber gibt, wie sich die strukturale Analyse im wissenschaftlichen Feld ihrer Zeit positioniert und an welche wissenschaftlichen Traditionen sie anschließt.

In den folgenden Ausführungen wird der Modell-Begriff bei Lévi-Strauss deshalb noch einmal in den Blick genommen. Im Anschluss an Hénaff soll dabei vor allem an zwei Diskussionsfeldern gezeigt werden, dass die Auseinandersetzung mit Modellen insofern ins Herz der strukturalen Analyse führt, als Lévi-Strauss Modelle sowohl von der Struktur als auch von den konkreten Ereignissen her denkt und sie immer wieder als Vermittler von Struktur und Ereignis positioniert. Hierfür wird zunächst rekonstruiert, wie Lévi-Strauss das Modell im Zusammenhang von Reflexionen zur Ethnologie und deren Rolle im Ge-

¹ »La notion de modèle est en effet centrale pour comprendre exactement le structuralisme de Lévi-Strauss.« Marcel Hénaff: *Claude Lévi-Strauss et l'anthropologie structurale*, Paris 1991, S. 26.

² Robert Matthias Erdbeer: »Poetik der Modelle«, in: *Textpraxis. Digital Journal for Philology* 11 (2015) 2, URL: <http://www.uni-muenster.de/Textpraxis/robert-matthias-erdbeer-poetik-der-modelle>, S. 12 (zuletzt konsultiert am 08.02.2016).

füge der Wissenschaften behandelt – in den Mittelpunkt werden dabei die Begriffe des ›mechanischen Modells‹ und des ›statistischen Modells‹ rücken. Danach wird betrachtet, wie er das Modell in das *Das wilde Denken* ins Zentrum seiner ästhetischen Theorie stellt und die Kunst hier als ›verkleinertes Modell‹ konzipiert, bevor abschließend zumindest umrissen werden soll, in welche wissenschaftliche Tradition sich Lévi-Strauss mit seinen Erörterungen zu Modellen stellt.

II

Seine vielleicht gründlichsten Überlegungen zur Funktion von Modellen in der Ethnologie präsentiert Lévi-Strauss in der Abhandlung »Der Strukturbegriff in der Ethnologie«, die er 1958 im ersten Teil der *Strukturalen Anthropologie* publiziert. Die Abhandlung hat eine längere Vorgeschichte. Sie geht auf einen Beitrag zu dem in der zeitgenössischen Ethnologie durchaus umstrittenen Begriff der sozialen Struktur zurück, den Lévi-Strauss für das berühmte *International Symposium on Anthropology* der Wenner-Gren Foundation verfasste, das unter der Leitung von Alfred Kroeber im Juni 1952 in New York stattfand. Dort wurde der Aufsatz in einem überaus prominenten und einflussreichen Kreis, unter anderem von Kroeber, Margaret Mead, Siegfried Nadel und Clyde Kluckhohn, diskutiert – in diesem Zusammenhang wurde auch eine längere briefliche Stellungnahme Alfred Radcliffe-Browns verlesen.³ Im Anschluss hieran wurde der Beitrag 1953 zunächst auf Englisch veröffentlicht,⁴ bevor er in der *Strukturalen Anthropologie* in einer überarbeiteten Fassung erstmals auf Französisch erschien.

Diese Vorgeschichte deutet bereits an, dass es Lévi-Strauss in »Der Strukturbegriff in der Ethnologie« nicht vorrangig um eine Beschäftigung mit dem Modell-Begriff, sondern zuallererst um eine Klärung des Begriffs der sozialen Struktur geht – die er sehr bald jedoch durch eine Auseinandersetzung mit der Frage nach dem ergänzt, was unter einem ›Modell‹ zu verstehen ist. Eines seiner zentralen Anliegen ist es dabei, den Begriff der ›sozialen Struktur‹ von dem der empirisch beobachtbaren ›sozialen Beziehungen‹ zu lösen. Hierfür führt Lévi-Strauss in seinem Aufsatz das ›Modell‹ ein, das gleichsam als Vermittler zwischen dem fungieren soll, was unmittelbar beobachtet und in strukturalistischer Terminologie als ›Ereignis‹ bezeichnet werden kann, und dem, was er als ›Struktur‹ profilieren möchte. Im Rückgriff auf Überlegungen aus der Mathematik seiner Zeit erklärt er, »daß der Begriff der sozialen Struktur sich nicht auf die empirische Wirklichkeit, sondern auf die nach jener Wirklichkeit konstruierten Modelle bezieht« und die Modelle insofern »das eigentliche Objekt der Strukturanalysen abgeben.«⁵ Mit diesen Bestimmungen positioniert er das Modell als Dreh- und Angelpunkt einer strukturalen Anthropologie, erläutert weiterhin aber auch,

daß Modelle, wenn sie den Namen Struktur verdienen sollen, vier Bedingungen unbedingt erfüllen müssen.

Erstens zeigt eine Struktur Systemcharakter. Sie besteht aus Elementen, die so angeordnet sind, daß die Veränderung eines von ihnen eine Veränderung aller übrigen nach sich zieht.

Zweitens gehört jedes Modell zu einer Gruppe von Umwandlungen, deren jede einem Modell derselben Familie entspricht, so daß das Ganze dieser Umwandlungen eine Gruppe von Modellen bildet.

3 Diese Diskussion ist veröffentlicht in Sol Tax u. a. (Hg.): *An Appraisal of Anthropology Today*, Chicago 1953, S. 108–118.

4 Claude Lévi-Strauss: »Social Structure«, in: Alfred L. Kroeber (Hg.): *Anthropology Today. An Encyclopedic Inventory*, Chicago 1953, S. 524–553.

5 Claude Lévi-Strauss: »Der Strukturbegriff in der Ethnologie«, in: ders.: *Strukturale Anthropologie I*, übers. v. Hans Naumann, Frankfurt a. M. 1977, S. 299–346, hier S. 301. Dass die von Lévi-Strauss hier vorgenommene Differenzierung von Modell und Struktur der Mathematik entlehnt ist, betont Hénaff: *Claude Lévi-Strauss et l'anthropologie structurale* (Ann. 1), S. 25 f.

*Drittens erlauben die eben genannten Eigenschaften vorauszusagen, wie das Modell bei einer Veränderung eines seiner Elemente reagieren wird. Und letztlich muß das Modell so gebaut sein, daß es allen festgestellten Tatsachen Rechnung tragen kann.*⁶

Diese Ausführungen sind komplex und auch nach mehrfachem Lesen nicht einfach zu fassen.⁷ So mag es zumindest verwundern, dass es hier in unmittelbarem Anschluss an die Differenzierung von Struktur und Modell heißt, dass Modelle auch Strukturen sein können, wenn sie die vier zitierten Bestimmungen erfüllen. Während die erste dieser Bestimmungen nachvollziehbar ist und vielleicht nur insofern zu irritieren vermag, als sie von Struktur redet, um vom Modell einen ›Systemcharakter‹ zu verlangen, ist die zweite Bestimmung ungleich schwerer zu verstehen. Jedenfalls lässt sich aus den präsentierten Formulierungen kaum erschließen, was Lévi-Strauss meint, wenn er schreibt, dass »jedes Modell zu einer Gruppe von Umwandlungen« gehört und »das Ganze dieser Umwandlungen« wiederum »eine Gruppe von Modellen« bildet. Nicht einfacher werden diese Erklärungen dadurch, dass Lévi-Strauss die zitierte Passage nach den deutlich leichter zu fassenden Bestimmungen drei und vier durch eine Fußnote ergänzt, die ohne weiteren Kommentar Ausführungen aus der 1944 erschienenen *Theory of Games and Economic Behavior* von John von Neumann und Oskar Morgenstern wiedergibt. »Modelle (wie etwa die Spiele)«, so zitiert er, »sind theoretische Konstruktionen, die eine genaue, erschöpfende und nicht zu komplizierte Definition voraussetzen: sie müssen auch der Wirklichkeit in jeder Hinsicht, die für die im Gang befindliche Untersuchung wichtig ist, ähnlich sehen.«⁸

Es soll an dieser Stelle weder versucht werden, die Schwierigkeiten dieser verschiedenen Bestimmungen des Modell-Begriffs aufzulösen, noch sollen ihre Mehrdeutigkeiten und Inkonsistenzen als Anlass genommen werden, um Lévi-Strauss' definitorische Anstrengungen als gescheitert abzutun. Das eine ließe das historische Spannungsfeld aus dem Blick geraten, dem die Darlegungen in »Der Strukturbegriff in der Ethnologie« zu verdanken und von dem sie auch nur schwer abzulösen sind,⁹ das andere ignorierte die methodischen und theoretischen Probleme, denen die Abhandlung sich stellt, sowie die Vorschläge, die sie zu ihrer Lösung unterbreitet. Interessanter als solche auf Überzeitlichkeit und Eindeutigkeit fokussierten Lektüren erscheint für den hier behandelten Zusammenhang ohnehin, was die angeführten Bestimmungen über die Charakteristika von Lévi-Strauss' Modell-Begriff verraten. Neben dem Problem, das Modell konsequent von der sozialen Struktur zu differenzieren – ein Problem, das in einer den Modellen offenbar eigenen Tendenz zur Struktur offenbar wird –, fällt vor allem der Bezug des Modells zu ›Veränderungen‹ (*modifications*) und ›Umwandlungen‹ (*transformations*) auf, der in den ersten drei Bestimmungen thematisiert wird, in der aus der *Theory of Games and Economic Behavior* wiedergegebenen Definition jedoch fehlt. Dieser Bezug kann in der Ausformulierung, die er in der zweiten Bestimmung findet, durch Rückgriffe auf die mathematische Gruppentheorie, insbesondere das Konzept der Transformationsgruppe erhellt werden,¹⁰ ist darüber hinaus aber auch als Ausdruck einer angestrebten Mathematisierung der Ethnologie wie überhaupt der Sozialwissenschaften und als Kritik an denen zu begreifen, die Ethnologie

6 Lévi-Strauss: »Der Strukturbegriff in der Ethnologie« (Anm. 5), S. 301 f.

7 Vgl. hierzu auch den Kommentar von Dan Sperber: »Der Strukturalismus in der Anthropologie«, in: François Wahl (Hg.): *Einführung in den Strukturalismus. Mit Beiträgen von Oswald Ducrot, Tzvetan Todorov, Dan Sperber, Moustafa Safouan, François Wahl*, Frankfurt a. M. 1973, S. 181–258, bes. S. 237–249; sowie die Bemerkungen von Hénaff: *Claude Lévi-Strauss et l'anthropologie structurale* (Anm. 1), S. 22–29; und Erdbeer: »Poetik der Modelle« (Anm. 2), S. 12–15.

8 Lévi-Strauss: »Der Strukturbegriff in der Anthropologie«, S. 302, Anm. Im Original findet sich diese Passage in John von Neumann/Oskar Morgenstern: *Theory of Games and Economic Behavior*, Princeton 1953, S. 32.

9 Dieses Spannungsfeld findet sich in hervorragender Weise in den beiden Bänden zum *International Symposium on Anthropology* von 1952 dokumentiert. Vgl. Kroeber (Hg.): *Anthropology Today* (Anm. 4); Tax u. a. (Hg.): *An Appraisal of Anthropology Today* (Anm. 3).

10 Vgl. Sperber: »Der Strukturalismus in der Anthropologie« (Anm. 7), bes. S. 239–245. Nach Sperber »besteht ein charakteristischer Schritt des Strukturalismus von Claude Lévi-Strauss« darin, dass er »das Verhältnis des Allgemeinen zum Besonderen auf die Transformationsbeziehungen der Modelle untereinander zu gründen« sucht. Ebd., S. 181 f. Zu Transformationsgruppen vgl. hier auch von Neumann/Morgenstern: *Theory of Games and Economic Behavior* (Anm. 8), S. 20–24.

und Sozialwissenschaften allein auf Beobachtung und Beschreibung festzulegen suchen.¹¹ Allerdings können die Erklärungen der zweiten Bestimmung nicht nur als Ausdruck einer direkten Anlehnung an die Mathematik aufgefasst werden. Wie Marcel Hénaff betont hat, lassen sie sich auch auf morphologische Überlegungen beziehen, wie sie der schottische Naturforscher D'Arcy Wentworth Thompson 1917 in seiner großen Monographie *On Growth and Form* ausgearbeitet hat – Überlegungen, die sich ebenfalls auf mathematische Methoden stützen und mit denen Lévi-Strauss sich seit den Jahren des Exils in New York intensiv beschäftigte.¹²

Doch soll das Verhältnis von Modell und Transformation hier erst an späterer Stelle betrachtet und zunächst erneut auf die Darlegungen von »Der Strukturbegriff in der Ethnologie« geblickt werden. Nachdem Lévi-Strauss den Modell-Begriff in den zitierten Bestimmungen eingeführt hat, versucht er ihn im Rekurs auf die Differenzierungen von »Beobachtung und Experiment«, »Bewußtsein und Unbewußtes«, »Struktur und Maß« sowie »Mechanische und statistische Modelle« zu schärfen. Neben den ersten beiden Differenzierungen, in denen der Begriff des »wahren Modells« eingeführt und auch davor gewarnt wird, dass die an dieser Stelle mit »Normen« gleichgesetzten »bewussten Modelle« oftmals die Einsicht in tieferliegende soziale Strukturen versperren,¹³ sind vor allem die Erläuterungen zu mechanischen und statistischen Modellen bemerkenswert. Wie es heißt, sei unter einem mechanischen Modell ein Modell zu verstehen, »dessen konstitutive Elemente auf der Ebene der Phänomene liegen«, unter einem statistischen Modell hingegen eines, »dessen Elemente auf einer anderen Ebene liegen«, das also selbst schon wieder Abstraktionen von den beobachteten Phänomenen voraussetzt.¹⁴ Diese Differenzierung zwischen einem mechanischen Modell, wie es sich paradigmatisch in der klassischen Mechanik finde, und einem statistischen Modell, wie es hingegen die Thermodynamik kennzeichne,¹⁵ ergänzt Lévi-Strauss durch die Unterscheidung zwischen der empirischen Beobachtung und der Konstruktion von Modellen, um hieraus Ansätze zu einer Klassifikation der Sozial- und Humanwissenschaften abzuleiten. So bestimmt er die Geschichte und die Soziologie als Wissenschaften, die mit statistischen Modellen arbeiten, wobei sich die Geschichte auf empirische Beobachtungen und die Soziologie auf den Modellbau konzentriere. Im Unterschied dazu beschreibt er die Ethnographie und die Ethnologie als Wissenschaften, die auf mechanische Modelle zurückgreifen, wenngleich die Ethnographie eigentlich nur für die empirischen Beobachtungen zuständig sei, aus denen die Ethnologie dann wiederum diese Modelle konstruiere.¹⁶ Zuletzt fügt Lévi-Strauss hinzu, dass die Orientierung an unterschiedlichen Formen von Modellen sich auch in den dominierenden Zeitvorstellungen der Wissenschaften äußere. Die sich auf mechanische Modelle beziehende Ethnologie könne denn auch nur »mit einer »mechanischen«, das heißt umkehrbaren und nicht-kumulativen Zeit« operieren, die eine Beschreibung von Entwicklungen nicht zulasse: Der »Entwicklungsbegriff« besitze in der Ethnologie deshalb »keinen heuristischen Wert«. Dagegen sei »die Zeit der Geschichte«, die die für den Bau von statistischen Modellen nötigen Beobachtungen zur Verfügung

11 Das haben 1970 bereits Wolf Lepenies und Hanns Henning Ritter bemerkt. Vgl. Wolf Lepenies/Hanns Henning Ritter: »Einleitung«, in: dies. (Hg.): *Orte des wilden Denkens. Zur Anthropologie von Claude Lévi-Strauss*, Frankfurt a. M. 1970, S. 7–46, hier S. 21, Anm.

12 Vgl. Hénaff: *Claude Lévi-Strauss et l'anthropologie structurale* (Anm. 1), S. 27 f. Innerhalb der Ausführungen zur von ihm gewählten »Koordinaten-Methode« verweist übrigens auch Thompson auf das Konzept der »Transformationsgruppen«. Vgl. D'Arcy Wentworth Thompson: *Über Wachstum und Form*, vorgestellt von Anita Albus nach der von John Tyler Bonner besorgten Ausgabe, übers. v. Ella M. Fountain und Magdalena Neff, Frankfurt a. M. 2006, S. 381–383, bes. S. 381, Anm.

13 Lévi-Strauss erklärt, dass »das beste immer das wahre Modell sein« werde, »dasjenige nämlich, das, obgleich es das einfachste ist, die doppelte Bedingung erfüllt, keine anderen Tatsachen zu benutzen als die beobachteten und von allen Rechenschaft zu geben.« Lévi-Strauss: »Der Strukturbegriff in der Ethnologie« (Anm. 5), S. 303. Es erscheint mir nicht abwegig, Marcel Hénaffs Bonmot, dass Lévi-Strauss' Denken als »leibnizianisme sans entendement divin« bestimmt werden könne, auf Ausführungen wie diese zu beziehen. Hénaff: *Claude Lévi-Strauss et l'anthropologie structurale* (Anm. 1), S. 31.

14 Lévi-Strauss: »Der Strukturbegriff in der Ethnologie« (Anm. 5), S. 306.

15 Zum Verweis auf klassische Mechanik und Thermodynamik vgl. ebd., S. 307 und 345.

16 Vgl. ebd., S. 308–310. Fortgeführt finden sich diese Überlegungen in Claude Lévi-Strauss: »Wissenschaftliche Kriterien in den Sozial- und Humanwissenschaften«, in: ders.: *Strukturelle Anthropologie II*, übers. v. Eva Moldenhauer, Hanns Henning Richter und Traugott König, Frankfurt a. M. 1992, S. 325–350, hier S. 334 f.

stelle, ›statistisch‹. Wie Lévi-Strauss erklärt, ist sie als solche auch »nicht umkehrbar und enthält eine bestimmte Orientierung. Eine Entwicklung, die die heutige italienische Gesellschaft auf die altrömische Republik zurückführen würde, wäre ebenso undenkbar wie die Umkehrbarkeit der Prozesse nach dem zweiten thermodynamischen Gesetz.«¹⁷

Der Blick auf diese Ausführungen, die frühere Stellungnahmen zum Verhältnis von Geschichte und Ethnologie aufnehmen und neu perspektivieren,¹⁸ führt klar vor Augen, mit welchem weiten Modell-Begriff Lévi-Strauss in »Der Strukturbegriff in der Ethnologie« arbeitet. Neben der Frage, inwiefern Modell und Struktur ›Wirklichkeit‹ zuzusprechen sei, war genau diese Vieldeutigkeit und Missverständlichkeit des Modell-Begriffs auch Gegenstand der Debatten auf dem 1952 veranstalteten *International Symposium on Anthropology*. Während Margaret Mead hier den Begriff des mechanischen Modells als verwirrend kritisiert, weil er sich auf etwas beziehe, was sie selbst als ›living model‹ im Unterschied zum ›machine model‹ bezeichnen würde,¹⁹ moniert Alfred Kroeber, dass ein statistisches Modell eigentlich nichts weiter als eine mathematische Gleichung sei.²⁰ Etwas detaillierter äußert sich Siegfried Nadel, der bemerkt, dass Lévi-Strauss den Modell-Begriff in seinem Beitrag in mindestens vierfacher Bedeutung verwende: im Sinne einer Maschine, die zur Untersuchung und Veranschaulichung komplizierterer Zusammenhänge gebaut wird, als Synonym für Normen, in der Bedeutung eines Idealtyps, wie Max Weber ihn beschrieben hat, und als Äquivalent einer der ›Wirklichkeit‹ entgegengesetzten sozialen Struktur;²¹ der Immunologe William Boyd schlägt daraufhin vor, diese vier Bedeutungen in die Begriffe ›analog‹, ›ideal‹, ›pattern formulation‹ und zuletzt ›sketch‹ oder ›outline‹ zu fassen.²² Auch wenn diese Stellungnahmen oft nachvollziehbar und einleuchtend erscheinen mögen, wirkt es so, als habe Lévi-Strauss sie eher zurückhaltend zur Kenntnis genommen, wenn er sie fast durchweg mit dem Verweis auf kulturelle und sprachliche Schwierigkeiten beantwortet.²³ Über die Gründe für diese Reserve soll hier nicht spekuliert werden. Auffällig erscheint jedoch gerade aus der historischen Distanz, dass die Diskussionsbeiträge auf dem *International Symposium on Anthropology* auf andere Probleme zielen, als Lévi-Strauss selbst sie in seiner Abhandlung adressiert. Während diese sich auf begriffliche Unklarheiten konzentrieren, rückt er im Verlauf seines Beitrags mehr und mehr die Frage in den Vordergrund, wie die Ethnologie in der Praxis mit Modellen zu operieren vermag und wie die ihr zur Verfügung stehenden Beobachtungen und Beschreibungen in einen strukturalistischen Theorierahmen integriert werden können.

Deutlichen Ausdruck findet diese Frage in der Schlusswendung von »Der Strukturbegriff in der Ethnologie«. Nachdem Lévi-Strauss die bereits rekapitulierten Darlegungen zum Modell in seiner Abhandlung in Überlegungen zu ›Gruppenstrukturen‹, ›Tauschstrukturen‹ und ›Unterordnungsstrukturen‹ überführt und auch die Hoffnung geäußert hat, dass sich mit Hilfe von Forschungen vor allem aus der Demographie und den Wirtschaftswissenschaften die »Möglichkeit« der »Umwandlung der statistischen Modelle in mechanische und umgekehrt« eröffnen wird,²⁴ wendet er sich hier erneut dem Modell in der Ethnologie zu. Allerdings betont er nun das Dilemma, das entsteht, wenn die Gegenstände der Ethnologie in mechanische oder in Zukunft möglicherweise auch in statistische Modelle gefasst werden sollen, die eigentlich in anderen Wissensgebieten entwickelt wurden:

17 Lévi-Strauss: »Der Strukturbegriff in der Ethnologie« (Anm. 5), S. 310.

18 Vgl. etwa Claude Lévi-Strauss: »Einleitung: Geschichte und Ethnologie«, in: ders.: *Strukturelle Anthropologie I* (Anm. 5), S. 11–40.

19 Vgl. Tax u. a. (Hg.): *An Appraisal of Anthropology Today* (Anm. 3), S. 111 f. Auf diese Unterscheidung zwischen dem ›living model‹ und dem ›machine model‹, wie es beispielsweise von Ingenieuren gebaut und genutzt wird, greift Mead auch in ihrem eigenen Beitrag zum *International Symposium on Anthropology* zurück. Vgl. Margaret Mead: »National Character«, in: Kroeber (Hg.): *Anthropology Today* (Anm. 4), S. 642–667, hier S. 653.

20 Tax u. a. (Hg.): *An Appraisal of Anthropology Today* (Anm. 3), S. 119.

21 Ebd., S. 112 f.

22 Vgl. ebd., S. 114.

23 Vgl. ebd., S. 114–116.

24 Lévi-Strauss: »Der Strukturbegriff in der Ethnologie« (Anm. 5), S. 325.

[D]ie Objekte, mit denen wir uns beschäftigen – in eine bestimmte Gesellschaft integrierte soziale und individuelle Rollen – sind weit zahlreicher als die der Newtonschen Mechanik und doch nicht zahlreich genug, um der Statistik und der Wahrscheinlichkeitsrechnung zu unterliegen. Wir stehen also auf angemäßigem und unsicherem Boden; unsere Tatsachen sind zu kompliziert, um auf die eine Art behandelt zu werden, und nicht zahlreich genug für die andere.²⁵

Auf diese epistemologisch prekäre Situation reagiert Lévi-Strauss in einer – auch aus heutiger Sicht – provokanten Weise. So folgert er hieraus nicht, dass die Ethnologie auf die Anlehnung an Modelle anderer Wissenschaften verzichten solle, um ›eigene‹ Modelle zu entwickeln, die den von ihr erarbeiteten ›Tatsachen‹ entsprechen. Vielmehr solle die Ethnologie die Perspektiven nutzen, die die Orientierung an theoretisch avancierteren Wissenschaften eröffnet, und sich ihre Gegenstände in einer Weise erschließen, die den Modellen dieser Wissenschaften angemessen seien: »Die Beobachtungstechniken einem theoretischen Rahmen anpassen zu müssen, der ihnen weit voraus ist«, schreibt Lévi-Strauss am Ende seiner Abhandlung, »das ist eine paradoxe Situation, wie sie die Geschichte der Wissenschaften selten bietet. An der modernen Anthropologie liegt es, diese Herausforderung anzunehmen.«²⁶

III

Nachdem Lévi-Strauss sich in den 1950er Jahren zunächst aus einer epistemologischen Perspektive mit dem Modell auseinandergesetzt und die Arbeit am Modell zur entscheidenden Tätigkeit des Ethnologen erklärt hat, nimmt er es bald auch verstärkt als ein ästhetisches Medium in den Blick. Besonders deutlich zeigt sich das in der 1962 veröffentlichten Monographie *Das wilde Denken*, in der Lévi-Strauss das Modell erstmals in die Mitte von Reflexionen zur Kunst stellt.²⁷ Allerdings geht es ihm dabei nicht mehr um die Unterscheidung von mechanischen und statistischen Modellen. Stattdessen konzentriert er sich nun auf den Begriff des ›verkleinerten Modells‹, des *modèle réduit*, der an eine Stelle aus *Der Strukturbegriff in der Ethnologie* erinnern mag, in der in einem Zitat aus einem Aufsatz Siegfried Nadels von ›Modellen in Kleinformat‹ die Rede ist,²⁸ aber erst in der Monographie von 1962 ein eigenständiges Profil erlangt.

In den Ausführungen zur Kunst, die in *Das wilde Denken* unmittelbar auf die berühmten Passagen zum Basteln folgen,²⁹ geht Lévi-Strauss davon aus, dass »die Kunst« sich »auf halbem Wege zwischen wissenschaftlicher Erkenntnis und mythischem oder magischen Denken einfügt«, dass sie also in der Mitte zwischen einem ›domestizierten‹ und jenem ›wildem Denken‹ zu verorten ist, auf das schon der Titel des Buchs verweist.³⁰ Diese Annahme ergänzt er durch die mit Blick auf François Clouets Porträt der Elisabeth von Österreich von 1571 entwickelte Vermutung, dass die Kunst eine enge Beziehung zu dem unterhält, »was man in der Sprache des Bastlers ›verkleinerte Modelle‹ nennt.«³¹

25 Ebd., S. 345.

26 Ebd., S. 346.

27 Für eine ebenso klare wie umfassende Einführung in Lévi-Strauss' Auseinandersetzungen mit Kunst und Ästhetik vgl. Boris Wiseman: *Lévi-Strauss, Anthropology and Aesthetics*, Cambridge 2007.

28 Lévi-Strauss: »Der Strukturbegriff in der Ethnologie« (Anm. 5), S. 344. Lévi-Strauss zitiert hier aus S. F. Nadel: »Witchcraft in Four African Societies: An Essay in Comparison«, in: *American Anthropologist*, N. S. 54/1 (1952), S. 18–29, hier S. 18. Nadel versucht hier, »a small-scale model of a comparative analysis« zu präsentieren, »such as any enquiry concerned with the explanation of social facts must employ« (ebd.), räumt dem Modell-Begriff aber keinen größeren Stellenwert in dem Aufsatz ein.

29 Claude Lévi-Strauss: *Das wilde Denken*, übers. v. Hans Naumann, Frankfurt a. M. 1973, S. 29–36. Vgl. hierzu auch Michael Bies: »1962 – Claude Lévi-Strauss und das wilde Basteln«, in: Sandro Zanetti (Hg.): *Improvisation und Invention. Momente, Modelle, Medien*, Zürich/Berlin: Diaphanes 2014, S. 205–215.

30 Lévi-Strauss: *Das wilde Denken* (Anm. 29), S. 36.

31 Ebd.

Er fragt,

ob das verkleinerte Modell – wie es auch der Geselle als Meisterstück zu liefern hat – nicht immer und überall der Typus des Kunstwerks überhaupt ist. Denn es scheint, daß jedes verkleinerte Modell eine ästhetische Berufung hat – denn woher, wenn nicht aus seinen Dimensionen, nähme es diese dauernde Kraft? –, und weitaus die meisten Kunstwerke sind verkleinerte Modelle.³²

Die Überlegungen, die hier mit zunehmender Gewissheit formuliert werden, sind ebenso weitreichend wie erklärungsbedürftig. Lévi-Strauss betont deshalb sogleich, dass die Verkleinerung, die Kunst vollbringe, in einem weiten Sinn zu verstehen und nicht allein auf die Größe oder den Maßstab der präsentierten Gegenstände zu beziehen sei. Vielmehr bezeichne sie eine Reduktion des Sinnlichen, die auch an »Darstellungen in ›Lebensgröße« oder Überlebensgröße beobachtet werden könne und sich in einem »Verzicht auf bestimmte Dimensionen des Objekts« manifestiere, der »in der Malerei« bereits im »Verzicht auf das Volumen«, »in der Skulptur« hingegen im »Verzicht auf Farben, Gerüche und fühlbare Eindrücke« und in beiden Kunstformen jeweils auch im »Verzicht auf die zeitliche Dimension« offenbar werde.³³ Zweifellos könnte gegen diese Beispiele eingewendet werden, dass sie selbst nur ein reduziertes Bild der Künste wiedergeben, indem sie den Bildenden Künsten in der Tradition der vor allem von Lessing so prominent ausgearbeiteten Unterscheidung von Raumkünsten und Zeitkünsten jede Temporalität absprechen.³⁴ Die Grundannahme einer für die Kunst charakteristischen Reduktion des Sinnlichen, die das verkleinerte Modell vollbringt, können sie aber dennoch gut veranschaulichen.

Was aber leistet eine solche Reduktion? Wie Lévi-Strauss bemerkt, ermöglicht sie zunächst eine »Umkehrung des Erkenntnisprozesses«:

[W]enn wir das wirkliche Objekt in seiner Totalität erkennen wollen, neigen wir immer dazu, von seinen Teilen auszugehen. Der Widerstand, den es uns entgegenstellt, wird überwunden, indem wir die Totalität teilen. Die Verkleinerung kehrt diese Situation um: in der Verkleinerung erscheint die Totalität des Objekts weniger furchterregend; aufgrund der Tatsache, daß sie quantitativ vermindert ist, erscheint sie uns qualitativ vereinfacht. [...] Im Gegensatz zu dem, was sich ereignet, wenn wir eine Sache oder ein Wesen in seiner wirklichen Größe zu erkennen suchen, geht im verkleinerten Modell die Erkenntnis des Ganzen der der Teile voraus.³⁵

Mit der hier beschriebenen »Umkehr des Erkenntnisprozesses« erklärt Lévi-Strauss nun auch die »ästhetische Berufung« oder, wie er wenig später sagt, die »ästhetische Wirkung« und »Kraft« des verkleinerten Modells. Zwar sei die »Macht«, die es über einen Gegenstand in seiner Totalität gebe, nur eine »Illusion«, weil es nicht den »wirklichen Gegenstand«, sondern nur eine Darstellung dieses Gegenstandes vorstelle. Doch zeichne diese »Illusion« sich eben dadurch aus, dass sie »sowohl dem Verstand wie den Sinnen ein Vergnügen bietet, das schon auf dieser Basis allein ästhetisch genannt werden kann.«³⁶

Neben dem Umstand, dass das verkleinerte Modell eine »Umkehr des Erkenntnisprozesses« erlaubt und eine vom Ganzen ausgehende Erkenntnis des dargestellten Gegenstands stiftet, hebt Lévi-Strauss hervor, dass es auch »eine wirkliche Erfahrung über das Objekt« konstituiere, insofern es »konstruiert,

32 Ebd.

33 Ebd., S. 37.

34 Vgl. Gotthold Ephraim Lessing: »Laokoon oder über die Grenzen der Malerei und Poesie«, in: ders.: *Werke und Briefe in zwölf Bänden*, hg. v. Wilfried Barner, Frankfurt a. M. 1985–2003, Bd. 5/2, S. 11–206.

35 Lévi-Strauss: *Das wilde Denken* (Anm. 29), S. 37.

36 Ebd.

›man made‹ und, was wichtiger ist, ›Handarbeit‹ sei.³⁷ Wie diese Erfahrung zu bestimmen ist, lassen die Ausführungen in *Das wilde Denken* nicht eindeutig erkennen. Es scheint, als könne sie durch die Produktion ebenso wie durch die Rezeption des verkleinerten Modells gewonnen werden und als sei sie sowohl auf den präsentierten Gegenstand als auch auf die Verfertigung der künstlerischen Darstellung zu beziehen. Dass das verkleinerte Modell mithin nicht nur eine Erfahrung über einen ›wirklichen Gegenstand‹, sondern gerade auch über sich selbst vermittelt, legt besonders die folgende Bemerkung nahe. So beendet Lévi-Strauss seine Darlegungen zur ästhetischen Erfahrung, indem er erklärt, dass ein Kunstwerk in dem, was es zeige, auch die vom Künstler verworfenen Möglichkeiten zur Darstellung seines Gegenstandes nachvollziehbar werden lasse, dass es also stets auch vor Augen führe, wie es anders hätte sein können:

*Allein durch die Betrachtung gelangt der Zuschauer, wenn man so sagen darf, in den Besitz anderer möglicher Modalitäten des gleichen Werkes, als deren Schöpfer er sich mit größerem Recht fühlt denn der Schöpfer selbst, der sie dadurch, daß er sie von seiner Schöpfung ausschloß, preisgegeben hat [...]. Anders ausgedrückt, die innere Kraft des verkleinerten Modells besteht darin, daß sie den Verzicht auf sinnliche Dimensionen durch den Gewinn intellektueller Dimensionen ausgleicht.*³⁸

Es dürfte nicht verborgen geblieben sein, dass die rekapitulierten Überlegungen zum verkleinerten Modell mit einer Auffassung von Kunst einhergehen, die auch ihre Grenzen hat und selbst schon historisch erscheinen mag. Charakteristisch für diese ist zunächst, dass sie die Kunst als Medium einer Erkenntnis konzipiert, die vom Konkreten und nicht vom Abstrakten sowie von einem reduzierten Ganzen und nicht von seinen unreduzierten Teilen her gewonnen wird und insofern als ›ästhetische Erkenntnis‹ bezeichnet werden kann. Wenn Lévi-Strauss die ›ästhetische Wirkung‹ des verkleinerten Modells mit einer an Kant und Schiller erinnernden Formulierung darin begründet sieht, dass es »sowohl dem Verstand als auch den Sinnen ein Vergnügen bietet«, wird zudem deutlich, dass diese Kunstanschauung einer Ästhetik des Schönen verpflichtet ist, was sich auch daraus erklärt, dass eine zuallererst auf Überwältigung zielende Ästhetik des Erhabenen für die beschriebene ›ästhetische Erkenntnis‹ gar keinen Raum ließe; ihr wäre stattdessen ein größeres Potenzial für ›Selbsterkenntnis‹ zuzuerkennen. Zuletzt ist zu bemerken, dass die Ausführungen zum verkleinerten Modell eine gegenstandsgebundene Kunst privilegieren, ohne diese deshalb als ›passiv‹ verstehen. Im Einklang mit einem, wie Hénaff erklärt hat, aristotelischen Mimesis-Begriff,³⁹ einem Verständnis von Nachahmung also nicht als einer simplen Imitation, sondern als einer sorgfältig organisierten und organisierenden Rekonstruktion,⁴⁰ insistieren sie deshalb auf der produktiven Kraft, die in der beschriebenen Reduktion des Sinnlichen liegt, und leiten aus dieser sowohl die von Kunst ermöglichte ›ästhetische Erkenntnis‹ als auch ihre ›ästhetische Wirkung‹ ab.

Ihre Grenzen findet diese klassizistisch geprägte Auffassung von Kunst folglich dort, wo Gegenstandsbezüge infrage gestellt oder negiert werden, in der Kunst der Moderne. Offenkundig wird das darin, dass Lévi-Strauss die »gegenstandslose Malerei« nur als eine Malerei zu begreifen vermag, die »das ›Sujet‹ durch die ›Manier‹« ersetzt und keine verkleinerten Modelle, sondern nur »realistische Nachahmungen nicht existierender Modelle« vorstellt.⁴¹ Zu einem Höhepunkt der Kunst erklärt er stattdessen das *Trompe-l'œil*. In seiner 1993 veröffentlichten Monographie *Sehen, Hören, Lesen*, die die in *Das wilde Denken* entfaltete Ästhetik noch einmal aufnimmt und expliziert, erläutert Lévi-Strauss, die »Macht und Reize« des *Trompe-l'œil* beruhen auf der »wie durch ein Wunder erzielten Verschmelzung flüchtiger und unde-

37 Ebd., S. 38.

38 Ebd.

39 Vgl. Hénaff: *Claude Lévi-Strauss et l'anthropologie structurale* (Anm. 1), S. 260–289, bes. S. 268 und 281 f.

40 Vgl. hierzu auch Wiseman: *Lévi-Strauss, Anthropology and Aesthetics* (Anm. 27), S. 126–129.

41 Lévi-Strauss: *Das wilde Denken* (Anm. 29), S. 44, Anm.

finierbarer Aspekte der sinnlichen Welt mit technischen Verfahren, Frucht eines langsam erworbenen Wissens und einer intellektuellen Arbeit«, um hieraus zu schließen: »Auf seine Weise und auf seinem Feld leistet das Trompe-l'œil die Vereinigung des Sinnlichen und des Intelligiblen.«⁴² In ähnlicher Weise wie in *Das wilde Denken* stellt Lévi-Strauss in diesen Stellen heraus, worin er die vielleicht größte Leistung von Kunst sieht: darin, dass sie als verkleinertes Modell nicht nur eine Reduktion, sondern zugleich auch eine Organisation des Sinnlichen vollbringt, dass sie »den Verzicht auf sinnliche Dimensionen« also »durch den Gewinn intellektueller Dimensionen« kompensiert, die direkt in der Auseinandersetzung mit dem Sinnlichen eröffnet werden.

Diese »Vereinigung des Sinnlichen und des Intelligiblen«, die die Kunst als verkleinertes Modell herstellt, nimmt Lévi-Strauss in *Das wilde Denken* im Fortgang seiner Ausführungen zur Kunst genauer in den Blick. Im Ausgang von der Beobachtung, »daß jedes Kunstwerk in einer Integration von Struktur und Ereignis besteht«,⁴³ entwickelt er nun auch Überlegungen zu einer Ordnung der Künste, die zumindest kurz umrissen werden sollen, weil sie auf einer Differenzierung der Bedingungen gründen, die die Herstellung des verkleinerten Modells determinieren. Hierbei erklärt Lévi-Strauss, dass Kunst die Integration von Struktur und Ereignis und damit von Abstraktem und Konkretem, Notwendigem und Zufälligem zwangsläufig vollbringt, weil sie eine Struktur jeweils nur in der Arbeit mit konkreten Bedingungen erkennen und realisieren kann. Doch auch wenn diese Bedingungen nur zufällig sein können, sei es bezeichnend, welche Zufälligkeiten sie mit der Struktur konfrontiert, mit welcher Form von Zufälligkeit sie sich also dominant beschäftigt. So sei zu bemerken, dass die »sogenannte akademische Malerei«, die Lévi-Strauss als Repräsentantin der gesamten »bildenden Künste[] des Abendlandes« begreift,⁴⁴ die Struktur vor allem vom ›Anlass‹ her gewinne: Hier könne es »eine Haltung, ein Ausdruck, eine Beleuchtung, eine Situation« sein, »deren sinnlich und verstandesmäßig wahrnehmbaren Bezug zur Struktur des Objekts« die Künstler erfassen und im verkleinerten Modell darstellen.⁴⁵ Im Unterschied dazu fänden die ›primitiven Künste‹ ihre Aufgabe eher in der Integration von Struktur und ›Ausführung‹, also in den Zufälligkeiten der zur Verfügung stehenden Materialien und Werkzeuge und ›in den unvorhergesehenen Zwischenfällen, die im Laufe der Arbeit auftauchen«, während die ›angewandten Künste‹ die Struktur vor allem zur ›Bestimmung‹ ins Verhältnis, also in einen Einklang zur geplanten Verwendung setzen müssen.⁴⁶

Es ist unübersehbar, dass Lévi-Strauss mit diesen Differenzierungen einen anderen Blickpunkt als in den vorangegangenen Diskussionen zur Kunst einnimmt. Während er diese nicht ausschließlich, aber doch vornehmlich aus einer Rezeptionsperspektive entwickelte, entfaltet er die Unterscheidung von akademischer Malerei, primitiver Kunst und angewandter Kunst aus einer Produktionsperspektive. Obgleich diese Differenzierung der drei Künste insofern nicht bruchlos an die vorherigen Darlegungen anknüpft, ist sie im hier behandelten Zusammenhang aufschlussreich. Denn wenn Lévi-Strauss die Konfrontation von Struktur und Anlass in der akademischen Malerei auch dadurch beschreibt, dass diese einen »Dialog [...] mit dem *Modell*« suche,⁴⁷ und so ›Modell‹ und ›Gegenstand‹ gleichsetzt, verdeutlicht er nicht nur eine, wie vielleicht gesagt werden könnte, ›strategische Unschärfe‹ des Modell-Begriffs, der je nach argumentativem Kontext näher an die Struktur oder näher an das Ereignis gerückt werden kann. Darüber hinaus lenkt er die Aufmerksamkeit auch noch einmal auf die Funktion, die der gegenständlichen ›akademische Malerei‹ für seine ästhetischen Reflexionen zukommt – er lenkt die Aufmerksamkeit darauf, dass sie das Modell ist, an dem er seine Theorien von Kunst und Künsten zuallererst entwickelt.

42 Claude Lévi-Strauss: *Sehen, Hören, Lesen*, übers. v. Hans-Horst Henschen, Frankfurt a. M. 2004, S. 30.

43 Lévi-Strauss: *Das wilde Denken* (Anm. 29), S. 40.

44 Ebd., S. 42.

45 Ebd., S. 41.

46 Ebd.

47 Ebd., S. 42.

Bevor die Ausführungen zum verkleinerten Modell beendet werden, sei zuletzt noch kurz die weitere Geschichte des Begriffs skizziert. Nachdem Lévi-Strauss ihn in *Das wilde Denken* mit Blick auf die Malerei und besonders auf Clouets Porträt der Elisabeth von Österreich entfaltet hat, wendet er den Begriff im berühmten »Finale« von *Der nackte Mensch*, des 1971 erschienenen vierten Bandes der *Mythologica*, auf die Musik an, bevor er ihn in *Sehen, Hören, Lesen* wieder im Zusammenhang von Betrachtungen zur Malerei, vor allem zu Poussin, aufnimmt.⁴⁸ Bemerkenswert ist dabei, dass Lévi-Strauss auch im Rahmen der Erläuterungen zur Musik nicht auf den Gegenstandsbezug verzichtet, den das Modell als Modell »von etwas« hat. Wie er in *Der nackte Mensch* erklärt, präsentiere die Musik »in Form eines verkleinerten Modells« das »Bild« und »Schema« des »mühevollen Weg[s]«, der das »Leben« des Menschen »mit seinen Hoffnungen und Enttäuschungen, seinen Prüfungen und Erfolgen, seinen Erwartungen und Leistungen« ist.⁴⁹ Doch rekurriert Lévi-Strauss nicht nur in Überlegungen zu Künsten, sondern auch zu Wissenschaften auf den Begriff des verkleinerten Modells. Im Anschluss an Forderungen, die er bereits in »Der Strukturbegriff in der Ethnologie« gestellt hat, erklärt er 1964 erneut, dass die Humanwissenschaften sich an den Naturwissenschaften orientieren sollen, die »gezwungen sind, reduzierte Modelle zu Hilfe zu nehmen (so jene, welche die Aerodynamik in ihren Windkanälen erprobt).«⁵⁰ Diese Passage kann in mindestens doppelter Hinsicht als symptomatisch für den Begriff des verkleinerten Modells oder, wie es in dieser Übersetzung vielleicht etwas glücklicher heißt, des reduzierten Modells angesehen werden. Denn im Verweis auf die Modelle, mit denen im Windkanal geforscht wird, verdeutlicht sie nicht nur, wie konkret die verkleinerten Modelle bei Lévi-Strauss zuweilen aufgefasst werden müssen. Sie wirft auch die Frage auf, worin eigentlich die Spezifik dieses Modell-Begriffs liegt, wenn er so breit angewendet wird. Welches Modell wäre dann kein verkleinertes Modell?

IV

Mechanisches Modell, statistisches Modell, verkleinertes Modell: Auch wenn die hier betrachteten Modell-Begriffe sich in ihrer Anlage deutlich voneinander unterscheiden, ist ihnen gemeinsam, dass sie jeweils als Vermittler von Ereignis und Struktur fungieren, also von Empirie und Theorie, Konkretem und Abstraktem, Sensiblem und Intelligiblem, Zufälligem und Notwendigem, Besonderem und Allgemeinem – die Aufzählung ließe sich verlängern. In dieser Vermittlerfunktion üben sie jeweils eine zentrale Rolle in der für Lévi-Strauss charakteristischen Ausprägung des Strukturalismus aus, als deren entscheidendes Merkmal wohl gelten kann, dass sie Strukturen und Ereignisse nicht direkt aufeinander bezieht, die Strukturen also nicht auf der Oberfläche der Ereignisse aufzufinden sucht, zugleich aber auch nicht davon ablassen mag, die Erkenntnis tieferliegender Strukturen aus der Arbeit am Konkreten, aus einer Ordnung des Sinnlichen heraus zu gewinnen. Zumindest aus dieser Perspektive markiert die Modelltheorie bei Lévi-Strauss keinen »Theorieverlust, ja Theorieverzicht«,⁵¹ sondern steht für die Erschließung theoretischer Potenziale für ein Denken, das sich die Orientierung am Konkreten ebenso wenig versagen mag wie die Möglichkeit, empirische Phänomene in abstrakte Formeln zu fassen.

Diesen Theoriegewinn, den die Arbeit mit Modellen ermöglicht, behandelt Lévi-Strauss auch in der Inauguralvorlesung mit dem Titel *Das Feld der Anthropologie*, die er am 5. Januar 1960 im Collège de France gehalten und 1973 im zweiten Band der *Strukturalen Anthropologie* veröffentlicht hat. Wie bereits in »Der Strukturbegriff in der Ethnologie« erklärt er es hier als Aufgabe des Ethnologen, »die Erfahrungstatsachen

48 Vgl. Lévi-Strauss: *Sehen, Hören, Lesen* (Anm. 42), bes. S. 12–17.

49 Claude Lévi-Strauss: *Mythologica IV. Der Nackte Mensch*, übers. v. Eva Moldenhauer, Frankfurt a. M. 1976, S. 773.

50 Lévi-Strauss: »Wissenschaftliche Kriterien in den Sozial- und Humanwissenschaften« (Anm. 16), S. 338.

51 Erdbeer: »Poetik der Modelle« (Anm. 2), S. 12.

durch Modelle [zu] ersetzen, an denen wir abstrakte Operationen vornehmen wie der Mathematiker mit seinen Gleichungen.«⁵² Doch erläutert er nun noch etwas genauer, wie überhaupt die im Feld gewonnenen Erfahrungen in Modelle in übersetzt werden können, als deren Ort das Labor anzusehen sei:

*Mit Hilfe von sukzessiven Übergängen vom Labor zum Feld und vom Feld zum Labor könnten wir versuchen, allmählich die Lücke zwischen zwei Reihen zu schließen, einer bekannten und einer unbekannt, indem wir eine Reihe von Zwischenformen einschließen. Schließlich hätten wir nichts anderes geleistet, als eine Sprache zu erarbeiten, deren einziges Verdienst darin bestände, kohärent zu sein wie jede Sprache und anhand einer kleinen Anzahl von Regeln Phänomenen Rechnung zu tragen, die man bisher für ganz andere hielt. In Ermangelung einer unerreichbaren Faktenwahrheit wären wir zu einer Verstandeswahrheit gelangt.*⁵³

Unabdingbar für das Gelingen dieser »sukzessiven Übergänge« sei, so führt Lévi-Strauss in der Vorlesung auch aus, dass eine »Untersuchung der Transformationen« vorgenommen wird,

dank denen wir in scheinbar unterschiedlichen Systemen dieselben Eigenschaften wiederfinden. Wie Goethe schrieb:
*»Alle Gestalten sind ähnlich, und keine gleicht der andern;
 Und so deutet das Chor auf ein geheimes Gesetz.«*⁵⁴

Sukzessive Übergänge, Zwischenformen, Transformationen: Es hätte des Verweises auf Goethes Elegie zur *Metamorphose der Pflanzen*, den Lévi-Strauss mehrfach wiederholen wird,⁵⁵ kaum mehr bedurft, um zu erkennen, in welche Tradition er den Strukturalismus stellt – in die Tradition jener Wissenschaft, die Goethe mit dem Namen ›Morphologie‹ versehen und durch die Operationen eines ›gegenständlichen Denkens‹ charakterisiert hat.⁵⁶

Diese Tradition, aus der sich auch die aus *Das wilde Denken* zitierte Bezeichnung des Kunstwerks als ›Typus‹ erklärt,⁵⁷ bezeichnet Lévi-Strauss im Verlauf seines Lebens wiederholt durch das Triumvirat Dürer, Goethe und Thompson. In einem Gespräch mit dem *Spiegel* bemerkt er 1971, der Strukturalismus setze in Europa mit Dürers *Vier Büchern von menschlicher Proportion* ein und »der Idee, daß man von einer Gesichtsform zur anderen mittels geometrischer Transformation gelangen kann«, sowie mit Goethes Überlegungen zur »Morphologie der Pflanzen«: »Der Gedanke, daß das Blatt und die Blüte auf gegenseitiger Transformation beruhen, ist strukturalistisch.«⁵⁸ Ähnlich betont er auch in *Das Nahe und das Ferne*, den 1988 publizierten Gesprächen mit Didier Eribon, dass »der Begriff der Transformation mit der strukturalen Analyse aufs engste verknüpft« ist und es »unmöglich« sei, »die Struktur getrennt vom Begriff der Transformation vorzustellen.«⁵⁹ Vor Augen geführt habe ihm das vor allem Thompson, der »als

52 Claude Lévi-Strauss: »Das Feld der Anthropologie«, in: ders.: *Strukturelle Anthropologie II* (Anm. 16), S. 11–44, hier S. 35.

53 Ebd., S. 30 f.

54 Ebd., S. 28.

55 Lévi-Strauss: *Mythologica IV* (Anm. 49), S. 815; ders.: »Meditative Malerei«, in: ders.: *Der Blick aus der Ferne*, übers. v. Hans-Horst Henschen und Joseph Vogl, Frankfurt a. M. 2008, S. 355–360, hier S. 359 f.

56 Vgl. Johann Wolfgang Goethe: »Bedeutende Fördernis durch ein einziges geistreiches Wort«, in: ders.: *Sämtliche Werke. Briefe, Tagebücher und Gespräche*, hg. v. Hendrik Birus u. a., Frankfurt a. M. 1985–2013, Bd. 24, S. 595–599.

57 Vgl. Lévi-Strauss: *Das wilde Denken* (Anm. 29), S. 36.

58 Claude Lévi-Strauss: »Der Humanismus bedroht den Menschen«. Ein SPIEGEL-Gespräch mit Dieter Brumm, Karla Fohrbeck, Gustave Stern und Wolfgang Gust«, in: ders.: *Mythos und Bedeutung. Fünf Radiovorträge. Gespräche mit Claude Lévi-Strauss*, hg. v. Adelbert Reif, Frankfurt a. M. 1980, S. 219–235, hier S. 230. Vgl. ähnlich auch Claude Lévi-Strauss: »Die strukturalistische Tätigkeit. Ein Gespräch mit Marco d'Eramo«, in: ebd., S. 252–274, hier S. 255 f.

59 Claude Lévi-Strauss/Didier Eribon: *Das Nahe und das Ferne. Eine Autobiographie in Gesprächen*, übers. v. Hans-Horst Henschen, Frankfurt a. M. 1996, S. 165.

Transformationen die sichtbaren Unterschiede zwischen den Arten oder den tierischen oder pflanzlichen Organen im Rahmen derselben Gattung« gedeutet habe: »Das war eine Erleuchtung, um so mehr, als ich bald bemerken sollte, daß sie im Banne einer langen Tradition stand – vor Thompson gab es die Botanik Goethes und vor Goethe Albrecht Dürer mit seinen *Vier Büchern von menschlicher Proportion*.«⁶⁰

Es dürfte nachvollziehbar sein, dass hier nicht weiter auf diese »lange Tradition« eingegangen werden kann, auf die bereits Tzvetan Todorov und Jean Petitot prominent verwiesen haben,⁶¹ die im Detail aber noch längst nicht ausreichend erforscht ist. Doch ist das im Rahmen der hier unternommenen Auseinandersetzung mit Modellen vielleicht auch nicht nötig. Denn auch so sollte deutlich geworden sein, dass das Modell tatsächlich eine zentrale Rolle für den Strukturalismus oder, wie im Rückgriff auf den brasilianischen Anthropologen Eduardo Viveiros de Castro gesagt werden könnte,⁶² für die Strukturalismen von Lévi-Strauss spielt – dass der Modell-Begriff sowohl in dem direkt an der Mathematik orientierten Strukturalismus, der sich etwa in »Der Strukturbegriff in der Ethnologie« dokumentiert, als auch in dem eher morphologisch inspirierten, der Mathematik deshalb aber nicht fernstehenden Strukturalismus, wie Lévi-Strauss ihn seit Beginn der 1960er Jahre im Anschluss an Thompson, Goethe und Dürer ausarbeitet, als Vermittler zwischen Struktur und Ereignis fungiert und damit als das Medium, an der sich die Ordnung des Sinnlichen manifestiert, an der sich eine ästhetische Erfahrung und Erkenntnis formiert.

60 Ebd.

61 Vgl. Tzvetan Todorov: »Introduction. Goethe sur l'art«, in: Johann Wolfgang Goethe: *Écrits sur l'art*, hg. v. Jean-Marie Schaeffer, Paris 1996, S. 5–71, bes. S. 41–48; Jean Petitot: *Morphologie et esthétique. La forme et le sens chez Goethe, Lessing, Lévi-Strauss, Kant, Valéry, Husserl, Eco, Proust, Stendhal*, Paris 2004, S. 69–74; ders.: »Morphology and structural aesthetics: from Goethe to Lévi-Strauss«, in: Boris Wiseman (Hg.): *The Cambridge Companion to Lévi-Strauss*, Cambridge 2009, S. 275–295; und auch Wiseman: *Lévi-Strauss, Anthropology and Aesthetics* (Anm. 27), S. 131–134.

62 Vgl. Eduardo Viveiros de Castro: *Métaphysiques cannibales. Lignes d'anthropologie post-structurale*, übers. v. Oiara Bonilla, Paris 2009, bes. S. 171–194. Für den Hinweis auf Viveiros de Castro möchte ich Stephan Gregory herzlich danken.

Modelle in Wirklichkeit. Computation und Simulation in der Architektur

Carolin Höfler

Modellierendes Entwurfsgeschehen

Zu den nachhaltigsten Prägungen des architektonischen Entwerfens gehört das vereinfachte Idealszenario, wonach der Prozess der Theorie- und Formbildung eine Kette von Modellierungsstufen sei, die vom Großen zum Kleinen, vom städtebaulichen Entwurf zur baukonstruktiven Detailplanung führen.¹ Nach diesem Szenario steht am Anfang jeder Modellierungsphase eine architektonische Hypothese mit ihrem je spezifischen Gegenstandsversprechen. Als letzte Modellierungsstufe am Ende der Kette liegt das konkrete Bauwerk im Eins-zu-eins-Maßstab vor. Jede Stufe wird in maßstabsgetreuen Zeichnungen und Modellen entwickelt, die ihre Qualität aus der Entsprechung zum späteren Bauwerk gewinnen. In jeder Phase hat der Architekt die Möglichkeit, das bisher Modellierete durch Anschauung zu überprüfen, weiter auszuarbeiten oder zu verwerfen. Auf diese Weise wird der Entwurf von einer Stufe auf die nächste überführt.

Das computerbasierte Modellieren scheint diese Idealkette entwurflicher Operationen zu unterbrechen. Unter Zuhilfenahme von 3D-Modellierungssoftware entwickelt der Architekt seinen Entwurf weniger in aufeinander aufbauenden Stufen als vielmehr in einer einzigen Stufe, die theoretisch alle anderen Stufen beinhaltet. Die erdachte Architektur wird nicht in abstrahierenden, voneinander getrennten Zeichnungen dargestellt, sondern in einem einzigen, zweidimensional wiedergegebenen 3D-Modell visualisiert. Digitale Prozessketten heben die tradierte Trennung zwischen intellektuellem Entwurfsakt und materieller Ausführung auf. Während im Analogen die architektonischen Entwurfszeichnungen zunächst in Ausführungspläne und anschließend von den am Bau beteiligten Gewerken in Werkstattpläne transformiert werden, sind im Digitalen Entwurf und Ausführung eng miteinander verschränkt. Die Produktionstechnologien greifen unmittelbar in die Entwurfsverfahren ein: Bei dem *file to factory* genannten Modellierungsverfahren werden geometrische und technologische Informationen in einem Datenmodell zusammengefasst, das unter Zuhilfenahme computergesteuerter Fertigungsmaschinen (u. a. 3D-Drucker) in ein physisches Modell oder ein Bauteil umgesetzt wird.

Angesichts dieser grundlegenden Veränderungen der Entwurfsprozesse wurden in den vergangenen Jahren drastische Krisenszenarien vom Bedeutungsverlust des architektonischen Entwerfens gezeichnet

¹ Vgl. Jörg H. Gleiter: *Gegenstandsversprechen. Entwerfen als Prozess der Theoriebildung*, Vortrag im Rahmen der Tagung »Manifestationen im Entwurf in Design, Architektur und Ingenieurwesen – eine interdisziplinäre Bestandsaufnahme«, RWTH Aachen, 10.–12.04.2014.

(Mario Carpo sprach etwa vom »Ende des albertianischen Paradigmas«²), wohingegen die Betrachtung der aktiven Potenziale computerbasierter Modelle und die Ermessung ihrer Wirkungen unterbelichtet blieben. Im Folgenden werden daher digitale und vor-digitale Modelle und Modellierungspraktiken der Architektur in den Blick genommen, die weniger Ergebnisse zu veranschaulichen als vielmehr Denk- und Entwurfsprozesse zu initiieren suchen. Zudem wird der Frage nachgegangen, ob und in welcher Weise computerbasierte Architekturmodelle als Manifestationen eines alternativen, prozessorientierten Modellbegriffs betrachtet werden können.

Digitale Modellformen sind insofern von übergreifender Bedeutung, als sie tradierte Modellkonzepte in Frage stellen. Durch die interaktive Verknüpfung von Entwurf und Ausführung verkörpern sie nicht nur ein dienendes Verhältnis des Modells zum Modellierten, sondern zeigen ein komplexes Geflecht von Effekten und Rückwirkungen auf. Das Modellieren von Materialeigenschaften und Kraftfeldern im digitalen 3D-Raum, wie es seit den 1990er Jahren in der experimentellen Architekturpraxis erprobt wird, verlässt die Vorstellung, dass das Modell lediglich ein abstraktes Schema sei. Vielmehr erscheint das digitale Modell als Bildkörper, der wesentlich durch sein Verhältnis zu Materie und Stoff bestimmt ist. Ebenso wird das vorherrschende Vorurteil aufgehoben, dass Modelle infolge ihrer statischen und stabilen Verfasstheit nicht in der Lage seien, dynamische Prozesse wiederzugeben.³ Unter Zuhilfenahme von digitalen 3D-Animationstechniken ist das Modell weniger Repräsentant eines Formzustands als vielmehr Träger von Formbewegungen.

Die Frage nach den aktiven Potenzialen digitaler Modelle greift jene modelltheoretischen Überlegungen auf, die in den vergangenen Jahren in der Wissenschafts- und Kunstgeschichte entwickelt wurden. Der Mathematiker und Wissenschaftstheoretiker Bernd Mahr sowie die Kunsthistoriker Horst Bredekamp und Reinhard Wendler verstehen Modelle nicht nur als Abstraktionen von etwas Gegebenem oder als Verkürzungen von Originalen.⁴ Für sie sind Modelle nicht allein Abbilder von etwas oder Vorbilder für etwas, »Modelle sind [...] auch an sich«⁵. Im Akt des Modellierens ereignen sich, so ihre Diagnose, unvorhersehbare Wirkungen, die der Intention des Modellbildners und der richtungsweisenden Kraft der Vorbilder entzogen sind. Diese Effekte ergeben sich aus den modellierten Materialien, aber auch aus dem Zusammenspiel von Modellierungsgegenstand, -ziel und -kontext. Daher verfügen Modelle über ein aktives Eigenleben, das Bedeutungen stiftet und Handlungen anleitet. Sie weisen einen »über ihre engere Bestimmung hinausgehenden, die Bereitschaft zum Handeln und zum Denken stimulierenden Überschuss« auf, weshalb sie einen erheblichen Einfluss auf den Verlauf der Modellierung haben.⁶ Zugleich macht dieser Überschuss eine vollständige Kontrolle von Modellen und Modellierungsprozessen unmöglich.

Modell als dynamisches Kräftekontinuum

Für die produktive Unbeherrschbarkeit von Modellen stehen vor allem jene Architekturexperimente in den 1990er Jahren, in denen der Computer nicht nur als Werkzeug zur effizienten Planzeichnung, sondern auch zur architektonischen Gestaltwerdung eingesetzt wurde. Ein Wegbereiter der digitalen Formfindung war

2 Alberti bestimmte den Architekten vor allem durch seine Fähigkeit, das zukünftige Bauwerk in abstrakten Plänen zu modellieren, die später vom Handwerker auf der Baustelle umgesetzt würden. Vgl. Leon Battista Alberti: *Zehn Bücher über die Baukunst*, übers. v. Max Theuer, Wien/Leipzig 1912, Nachdruck: Darmstadt 2005, S. 20; Mario Carpo, zit. nach: Jörg H. Gleiter: *Urgeschichte der Moderne. Theorie der Geschichte der Architektur* (ArchitekturDenken 4), Bielefeld 2010, S. 50.

3 Vgl. Horst Bredekamp: »Modelle der Kunst und der Evolution«, in: *Debatte* (2005) 2, S. 13–20, hier S. 15 f.

4 Beispielhaft: Bernd Mahr: »Ein Modell des Modellseins – Ein Beitrag zur Aufklärung des Modellbegriffs«, in: Ulrich Dirks/Eberhard Knobloch (Hg.): *Modelle*, Berlin 2008, S. 187–218; Bredekamp: »Modelle« (Anm. 3); Reinhard Wendler: *Das Modell zwischen Kunst und Wissenschaft*, Paderborn 2013.

5 Horst Bredekamp, zit. nach: Thomas Kleinspehn: Wie Bilder auf Menschen wirken. Horst Bredekamp: »Theorie des Bildakts«, 21.09.2011, http://www.deutschlandfunk.de/wie-bilder-auf-menschen-wirken.700.de.html?dram:article_id=85245, 01.02.2016.

6 Vgl. Bredekamp: »Modelle« (Anm. 3), S. 14.

der amerikanische Architekt Greg Lynn. Im Jahr 1999 erschien sein Buch *Animate Form* mit zahlreichen Projektbeispielen, die Ergebnisse rechnerbasierter Modellierungs- und Animationstechniken waren.⁷ Lynn stellte seine prozessual gewonnenen Architekturformen in endlosen Bildserien dar, wodurch sie wie verlebendigt wirkten. Mit dem Begriff der *animate form* skizzierte er ein biologisch bestimmtes Konzept, wonach die architektonische wie die natürliche Gestalt ein offenes System in Wechselwirkung mit äußeren Kräften sei (»animation implies the evolution of a form and its shaping forces«⁸). Dieser Formbegriff, der in der Geschichte der organischen Architektur eine lange Tradition hat, erhielt mit der Instrumentalisierung des Computers zur Gestaltbildung eine neue Konkretheit. Mit den avancierten 3D-Modellierungs- und Animationsprogrammen standen den Architekten zu Beginn der 1990er Jahre Entwurfsmedien zu Verfügung, durch die sich dynamische Verformungen von Oberflächen und Figuren nachbilden ließen (Abb. 1).

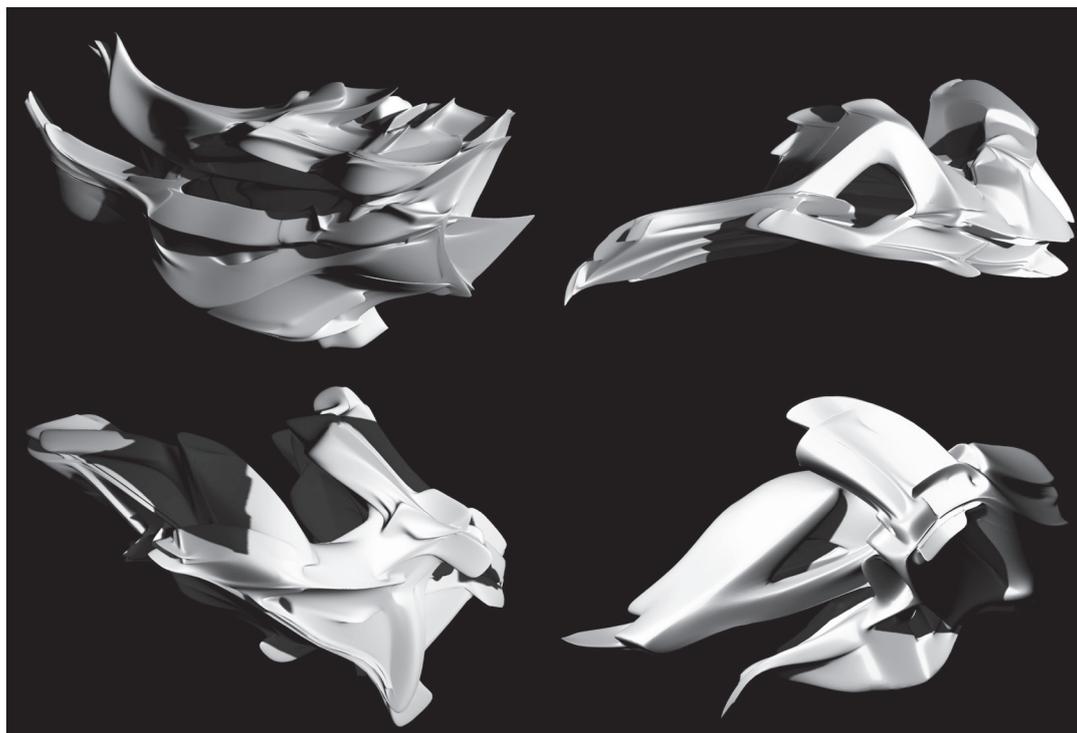


Abb. 1: Marcos Novak, Vier Ansichten einer vierdimensionalen transarchitektonischen Form, 2001, Rendering

Lynn operierte vor allem mit Computerprogrammen aus Hollywoods Spezialeffekte-Industrie. Zur Formgewinnung verwendete er die Software »Maya« der kanadischen Firma Alias/Wavefront, mit der aufwändige Filmanimationen wie die Verflüssigung des metallenen Androiden T-1000 in *Terminator 2* (Regie: James Cameron, 1991) umgesetzt worden waren.⁹ Das in »Maya« enthaltene Programmmodul *Dynamics* ermöglicht Bewegungen und Deformationen geometrischer Objekte, die von Kräften wie »Gravitation« oder »Wind« beeinflusst werden.¹⁰ Die physikalischen Kräfte, die ein Objekt in Bewegung versetzen oder

7 Greg Lynn: *Animate Form*, New York 1999.

8 Ebd., S. 9.

9 Vgl. Rajeev Nair: *History of Alias*, 2010, <http://www.digital-sculptors.com/cms/index.php/tutorials/alias-tutorials/43-history-of-alias.html> (01.02.2016).

10 Beispielhaft: Greg Lynn: »Computeranimation von fünf elastischen Kugelgebilden«, in: ders.: *Animate Form* (Anm. 7), CD-ROM, Ordner AFCD/Oslo/Movies/early.mov.

verformen, werden mit aufwändigen mathematischen Verfahren berechnet, wobei je nach gegebenen Variablen ein anderes Ergebnis entsteht.

Vor dem Hintergrund solcher Modellierungs- und Animationstechniken ist der geometrische Körper nicht mehr nur diskret, sondern als verformbares Kontinuum vorhanden. Ähnlich definierte Lynn seinen Begriff der *animate form*: Innerhalb des Raums der Kraftfelder gibt es keine feststehenden Urformen, sondern dynamische Oberflächen und Figuren, die auf Krafteinfluss mit Verformung reagieren.¹¹ Das so erzeugte Formmodell ist eine fortgesetzte Bewegung von einem Zustand in den nächsten. Jedes Krümmen, Schwellen, Ausbuchten oder Einkerbungen, an jedem Punkt, in jedem Moment, verändert unmittelbar die raumzeitlichen Verhältnisse des gesamten Modells. Jede Veränderung ist stets temporär. Einmal Gebildetes besteht nicht dauerhaft, sondern löst sich gleich wieder auf und verwandelt das Außen in ein Innen, das Oben in ein Unten, die Oberfläche in einen Körper.

Charakteristisch für dieses Modellierungsverfahren ist, dass auf den laufenden Generierungsprozess nur geringfügig Einfluss genommen wird.¹² Aktivität und Kreativität des Architekten fließen weniger in die Modellierung der Gestalt als in die Erfindung und Beschreibung der prozesssteuernden Faktoren, der formbestimmenden Funktionen und der zugrunde zu legenden Randbedingungen ein. So agiert der Architekt als Regisseur, der die Formen nicht mehr direkt entwirft, sondern die Bedingungen und Regeln vorgibt, nach denen Formen und Verhaltensmuster entstehen. Alle seine Modellierungsanweisungen werden in einer sogenannten *construction history* gespeichert und angezeigt. Auf jede Anweisung kann er zurückgreifen und diese verändern, entfernen oder durch eine andere Anweisung austauschen, wodurch der gesamte Modellierungsvorgang neu konfiguriert wird. Das so Modellierete ist dann weniger ein Objekt als ein Prozess, ein veränderbarer, wiederausführbarer Konstruktionsverlauf, der infolge seiner graphenorientierten Repräsentation nicht geradlinig, sondern in relationalen Verknüpfungen verläuft.

Erlauben diese Verfahren einerseits eine detaillierte Kontrolle von Modellierungsaktivitäten, ermöglichen sie andererseits eine gleichsam absichtslose Formbildung. Die Animationstechnik vertraut auf das eher passive Finden, womit sie sich von der herkömmlichen Gestaltung unterscheidet, die durch ein in Skizzen und Modellen vorangetriebenes Suchen bestimmt ist. Da zu Beginn des Verlaufs vielmehr eine Prozess- als eine Formvorstellung existiert, wartet der Modellierende auf die Form, statt diese aktiv zum Ausdruck zu bringen. Entgegen der tradierten Vorstellung des Modellierens *gibt* er einem formbaren Material nicht eine Gestalt, sondern *findet* die Form in einer Reihe von Verformungszuständen. Obgleich die so gewonnenen Formen selbst nicht beliebig sind, sondern Ergebnisse eines methodisch genau strukturierten Modellierungsprozesses, lassen sie sich nur schwer vorhersehen. Die im Modell nachgebildeten Kraftfelder sind Zufallsgesetzen unterworfen, weshalb minimale Veränderungen der Anfangsbedingungen meist zu neuartigen und überraschenden Konstellationen führen. Damit wird ein Moment des Unberechenbaren und Unverfügbaren in jene Modellkonzeption eingeführt, die ansonsten vollständig auf Kalkül und Regelmäßigkeit beruht.

Wesentliche Anregungen zur Vorstellung des Modells als unvorhersehbare, dynamische Kräftekonstellation erfuhr Lynn von dem Schweizer Naturwissenschaftler und Maler Hans Jenny (1904–1972), den er in seinem Buch *Animate Form* zur Bezugsfigur erklärte.¹³ In modellhaften Experimenten übertrug Jenny Tonschwingungen in sichtbare Formen und Strukturen. Das Forschungsfeld, in dem er die Schwingungsnatur der Welt untersuchen wollte, nannte er »Kymatik« (abgeleitet von griech. *to kyma* = »die Welle«). Untersuchungen zum Phänomen der Periodizität, die Jenny als Schlüssel zur Formbildung in der Natur erkannte, führten 1967 zur Publikation des ersten, in deutscher und englischer Sprache

11 Grundlegend: Lynn: *Animate Form* (Anm. 7), S. 9–43.

12 Vgl. Martin Trautz: »Formfindung versus Formgebung«, in: *Bauwelt* (2004) 21, S. 12–15, hier S. 14.

13 Vgl. Lynn: *Animate Form* (Anm. 7), S. 35–39.

konzipierten Bandes der *Kymatik*, dem 1972 der zweite Band folgte. In *Animate Form* veröffentlichte Lynn Schwarz-Weiß-Fotografien aus Jennys *Kymatik* (Abb. 2).¹⁴

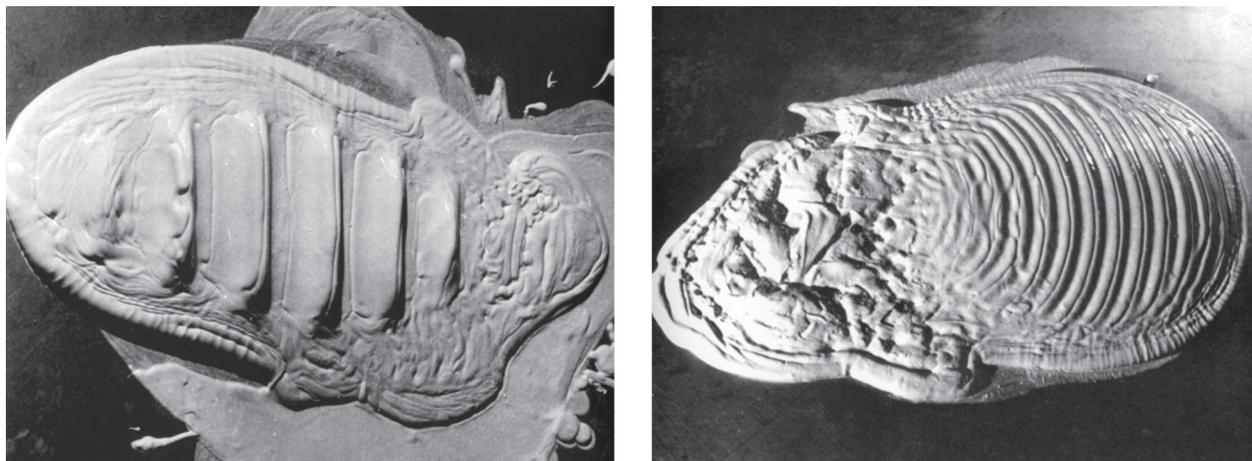


Abb. 2: Hans Jenny, Wellenbildung durch Schwingung in einem viskosen Brei, 1972, Fotografien

Jenny gewann seine sichtbaren Klangfiguren in speziellen Versuchsanordnungen: Er spannte eine Membran, belegte sie mit Pulver, Pasten oder Flüssigkeiten und versetzte sie anschließend akustisch in Schwingung. Aufgrund der eingebrachten Tonfrequenzen konfigurierte sich das Material in charakteristischer Weise und bildete Strukturen und Muster aus.

Lynn dürfte Jenny nicht nur wegen seiner strukturierten Modellierungsverfahren zitiert haben, die sich als Vorläufer digitaler Animationstechniken ansprechen lassen. Vielmehr thematisierte Jenny mit seinen flüssigen Klangfiguren auch die Verlebendigung nichtlebender Formen, wovon seine populärwissenschaftlichen 16-mm-Farbfilm aus den 1960er Jahren zeugen.¹⁵ Jennys Vision, unsichtbare Naturkräfte in sichtbare Kunstformen zu übertragen, bildete einen zentralen Ausgangspunkt für Lynns Konzept der *animate form* und seine Sicht auf die Rolle des Architekten im digitalen Modellierungsprozess. Wie ein Laborwissenschaftler sollte der Architekt am Computer ein Experimentalsystem arrangieren, innerhalb dessen sich kontinuierlich wandelnde Formen herausbilden. Im Einklang mit Jennys Überlegungen zum Modell als Kraftfeld plädierte Lynn für einen Perspektivenwechsel – weg von den Ideen und den Absichten des handelnden Modellbildners, und hin zu der sich selbst erzeugenden Form, auf die sich das Handeln und Begehren des Modellierers richtet.

Entwicklungsmodelle

In Anbetracht neuer Computeranwendungen, die eine so mathematisch präzise wie dynamisch-bewegte Darstellung ermöglichten, forderte Lynn eine Revision der formalen Systeme und kompositorischen Prinzipien einer Architektur, die bis dahin als rational verstanden und bezeichnet worden war. Seine Kritik galt vor allem dem statischen Verständnis von Geometrie, Symmetrie und Typus, das die Vorstellung feststehender Grund- und Urformen der Architektur bestimmt und zur Ausgrenzung abweichender Formen geführt hatte. Um die digitalen Gestaltmodelle, die auf Krafteinfluss mit Verformung reagieren, nicht als Normverstöße zu werten, bedurfte es flexibler Maß-, Ordnungs- und Klassifikationsschemata, die Lynn in den Naturwissenschaften zu finden glaubte. Seine Theorie der *animate form* spiegelte er vor

¹⁴ Hans Jenny: *Kymatik. Wellenphänomene und Schwingungen*. Neuausgabe des zweibändigen Werks von 1967 und 1972, Baden/München 2009, S. 132–133, S. 168–171 (wieder abgebildet in: Lynn: *Animate Form* [Anm. 7], S. 36–38).

¹⁵ Hans Jenny: *Cymatics – Soundscapes & Bringing Matter To Life With Sound*, DVD, Newmarket/NH 2006, http://www.bibliotecapleyades.net/ciencia/ciencia_cymatics11.htm (01.02.2016).

dem Hintergrund einer biologisch verstandenen Morphologie. Dabei gewannen jene Erklärungsansätze an Bedeutung, die sich gegen Optimierungsideen wandten und Gestaltvariationen anders als durch ihre Abweichung von der Norm definierten. Typologische Konzepte von ›Ideen‹ oder festen ›Bauplänen‹ der Natur blendete Lynn hingegen bewusst aus.

Die zur Konvention geratene Vorstellung, wonach sich ein mustergültiger Baukörper durch ideale Proportionen und symmetrische Ordnung auszeichne, wird Architekten bis heute vor allem über die Schriften dreier Autoren nahegebracht: Vitruv, Rudolf Wittkower und Colin Rowe.¹⁶ Ausgehend vom antiken Autor Vitruv, der Symmetrie und Proportion zu Voraussetzungen einer vernünftigen Formgebung erklärt hatte, ermittelten Wittkower und Rowe anhand von Villengrundrissen (nämlich des Renaissance-Architekten Palladio und seines modernen Nachfolgers Le Corbusier) einen allgemeinen, symmetrischen Organisationstyp – das orthogonale Neun-Feld-Raster aus drei Zeilen und drei Spalten.¹⁷ In jeder einzelnen Villa verfolgten sie die geometrische Konstruktion dieses Typs, die zu einem ständigen Bezugspunkt für eine Serie sich verändernder Anordnungen wurde.

Anstelle dieser Idee einer reinen, absoluten Architektur, die auf einen idealen Organisationstypus festgelegt ist und jede Veränderung als Normverletzung interpretiert, verlangte Lynn »eine alternative Mathematik der Form« und propagierte »einen Formalismus, der sich nicht auf ideale Villen oder andere fixe Typen reduzieren lässt«. ¹⁸ Als Gegenstrategie empfahl er die buchstäbliche Deformation der unnachgiebigen Rasterstrukturen – eine Modellierungstechnik, die als ›generativ‹ bezeichnet werden kann.

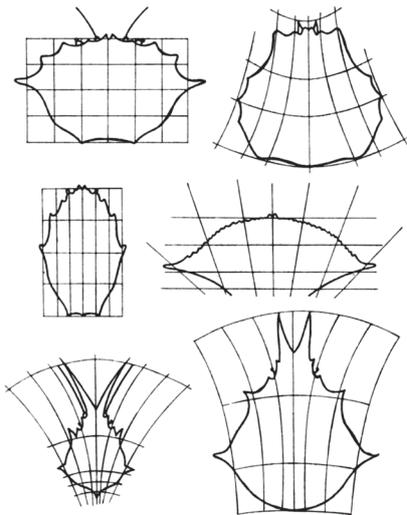


Abb. 3: D'Arcy W. Thompson, Rückenschilder verschiedener Krabben, Illustrationen aus »On Growth and Form«, 1917/1942

Denkanstöße für ein solches regelgesteuertes Modellierungsverfahren, welches das beständige Abweichen vom Basiertyp systematisiert und das Typische im Atypischen festhält, erhielt Lynn von D'Arcy Wentworth Thompson (1860–1948). Der Mathematiker und Biologe hatte in seinem 1917 erstmals veröffentlichten Werk über biologische Morphologie, *On Growth and Form*, gezeigt, wie durch einfache geometrische Operationen die Formen verwandter, aber verschiedener aussehender Arten passgenau ineinander überführt werden können. Dazu wurde der Umriss einer bestimmten Figur in ein rechtwinkliges Koordinatennetz eingetragen und deren Veränderung durch Umwandlung der Koordinaten und Verformung des Rasters dargestellt (Abb. 3). Auf diese Weise konnte das Rastersystem durch eine einzige, umfassende Transformation die anscheinend isoliert auftretenden Unterschiede zwischen den verschiedenen Formen vereinheitlichen.

Um eine solche Transformationsmethode ging es auch Lynn in seiner Formtheorie. Seine Konzeption der *animate form* zielte auf die Durchsetzung eines regelbasierten Verfahrens geometrischer Vereinheitlichung, das die verschiedenen Architekturformen nicht auf statische, festgelegte Entwurfstypen, sondern auf dynamische, anpassungsfähige Designmodelle reduziert, welche auf unterschiedliche Bedingungen flexibel reagieren.

16 Curt Fensterbusch (Hg.): *Vitruvii De architectura libri decem / Vitruv. Zehn Bücher über Architektur*, Darmstadt 31981 (1. Aufl. 1964); Rudolf Wittkower: *Architectural Principles in the Age of Humanism*, London 1949, ⁵1998; Colin Rowe: *The Mathematics of the Ideal Villa and Other Essays*, Cambridge, Mass./London 1976.

17 Vgl. Wittkower: *Architectural Principles* (Anm. 16), S. 69, Fig. 57; Rowe: *Mathematics* (Anm. 16), S. 5, Fig. 1.

18 Greg Lynn, zit. nach: Ole Bouman: »Amor(f)al Architecture or Architectural Multiples in the Post-Humanist Age«, in: Greg Lynn: *Folds, Bodies & Blobs. Collected Essays*, Brüssel 1998, S. 7–14, hier S. 11.

Mit Blick auf Thompson versuchte Lynn eine alternative Organismus-Vorstellung in der Architektur zu etablieren. Er verwarf die traditionelle, anthroposophisch geprägte Theorie, die eine Analogie zwischen den Maßverhältnissen eines Bauwerks und den Proportionen eines menschlichen Körpers beschreibt. Stattdessen skizzierte Lynn eine an die Biologie angelehnte Konzeption, wonach architektonische Formen als organisch erachtet werden können, wenn diese fähig sind, sich an wechselnde Bedingungen und Anforderungen der Umgebung anzupassen.

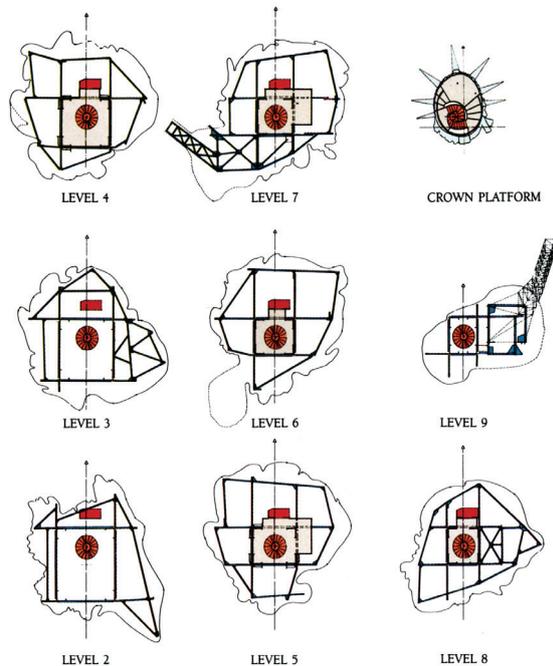


Abb. 4: Frédéric Auguste Bartholdi/Gustave Eiffel, Statue of Liberty, New York, 1870–86, Horizontalschnitte

Zu einem architektonischen Leitbild des anpassungsfähigen Körpers im Sinne Thompsons erhob Lynn die New Yorker *Statue of Liberty*, die 1886 nach den Plänen des französischen Bildhauers Frédéric Auguste Bartholdi und des Ingenieurs Gustave Eiffel errichtet worden war.¹⁹ In exemplarischer Weise verschränkt die Konstruktion der Statue Körper und Geometrie, Haut und Struktur, weshalb Lynn sie als Synthese der formalen Systeme von Wittkower, Rowe und Thompson interpretierte. Die Konstruktion setzt sich aus einem zentralen, seriell gefertigten Grundgerüst und einem daran angeschlossenen Geflecht individueller Fachwerkträger und Eisenbügel zusammen, das die äußere Hülle aus Kupferplatten trägt. Die Horizontalschnitte durch den Körper der Statue zeigen die Überlagerung von zwei geometrischen Systemen (Abb. 4).

Das Proportionssystem eines Wittkower und Rowe trifft in diesen Bildern auf das Transformationssystem eines Thompson. Das innere, orthogonale Skelett verformt sich sukzessive zu den Rändern hin und passt sich an den Körperumriss an. Das Gerüst verlagert sich in die Oberfläche, die Haut wird zur Struktur. Nicht ein geometrisch determinierter, innerer Organisationstyp, sondern ein flexibles, äußeres Umrissystem formiert die Erscheinung der Statue. Es zielt weniger auf die Reduktion als auf die Entwicklung struktureller Komplexität.

Das Proportionssystem eines Wittkower und Rowe trifft in diesen Bildern auf das Transformationssystem eines Thompson. Das innere, orthogonale

Eigensinnige Materialien

Die Möglichkeiten, Kraftfelder digital nachzubilden und dynamische Formen geometrisch zu bestimmen, führten zu einem Paradigmenwechsel in der Betrachtung computerbasierter Modellierung. Greg Lynn plädierte dafür, den Akt des digitalen Modellierens nicht länger als entmaterialisierten, ausschließlich visuellen Prozess zu begreifen, sondern als materiell-plastisches Geschehen.²⁰ Das Materielle behauptete sich bei Lynn jedoch stets in der Form des Digitalen. Materielle Eigenschaften eines Objekts wurden in geometrische Parameter eines digitalen Modells übersetzt, das auf Krafteinfluss mit Formveränderung reagiert. Lynn produzierte zwar auch anschaulich-taktile Modelle, aber die physische Materialisierung erfolgte immer nach der Erzeugung der Form.

Hierzu wurde der fortlaufende Modellierungs- und Animationsprozess an einem bestimmten Zeitpunkt angehalten und die in dem Moment dargestellte Form in ihrer Bewegung »eingefroren«. Unter Zuhilfenah-

¹⁹ Vgl. Richard Seth Hayden/Thierry W. Despont: *Restoring the Statue of Liberty. Sculpture, Structure, Symbol*, New York 1986.

²⁰ Vgl. Greg Lynn: »Differential Gravities (1994)«, in: ders.: *Folds* (Anm. 18), S. 95–108.

me von CNC-gesteuerten Fertigungsmaschinen erfuh die stillgestellte Form schließlich eine physische Materialisierung. Mit der Privilegierung der Form gegenüber dem Material folgte Lynn einer tradierten Gestaltvorstellung, wonach die Form erst dann an Bedeutung gewinnt, wenn sie ihre Stofflichkeit überwindet.

Gegen diese Trennung zwischen digitaler Entwurfs- und analoger Stoffform wandten sich in jüngster Vergangenheit zahlreiche Architekten und Designer mit Modellen und Prototypen, für deren Hervorbringung das Material von zentraler Bedeutung ist. Unbeeindruckt von der modernen Denkfigur der Entmaterialisierung, die in der computerbasierten Architektur der 1990er Jahren ein Comeback feierte, skizziert eine jüngere Entwerfer-Generation einen Formbegriff, der die vermeintliche Entbindung des Artefakts von Stoff und Raum aufhebt. Zugleich versucht sie, das Material von seiner Zurichtung durch die digital festgelegte Form zu befreien. Ihre Experimente beginnen mit der analytischen Modellierung eines physischen Materials, das nicht als passiver Träger einer Idee, sondern als operative Struktur aufgefasst wird, die in einem wechselseitigen Wirkverhältnis zur Umwelt steht.

Exemplarisch sichtbar gemacht wird ein solcher materialaktiver Modellierungsprozess in den Entwürfen der deutschen Architekten Michael Hensel und Achim Menges.²¹ Hensel und Menges entwickelten einen Modellbegriff, wonach das Modell ein »Materialsystem« darstellt. Unter einem Materialsystem verstehen sie eine Flächenstruktur aus gleichzeitig raumbildenden, kraftabtragenden sowie energieleitenden und -speichernden Elementen, welche aus den spezifischen Eigenschaften der zur Verwendung kommenden Materialien und Herstellungsprozesse hervorgehen.²² Grundlegender Unterschied zu bisherigen Ansätzen computerbasierter Modellierung ist, dass Hensel und Menges ihre Modelle auf zweifache Weise hervorbringen. Ihr Entwurfsprozess beginnt gewöhnlich mit der Entwicklung eines Strukturelements aus einem spezifischen Material, dessen Eigenschaften sie anschließend in einem parametrischen Computermodell nachbilden. Um der Aufwertung des Materials gegenüber der bisher als dominant bewerteten Form Ausdruck zu verleihen, setzen die Architekten vor allem biegsame, elastische und instabile Materialien ein, die gewissermaßen ein Eigenleben führen und selbstständige Modellbildungen befördern. Als Beispiel

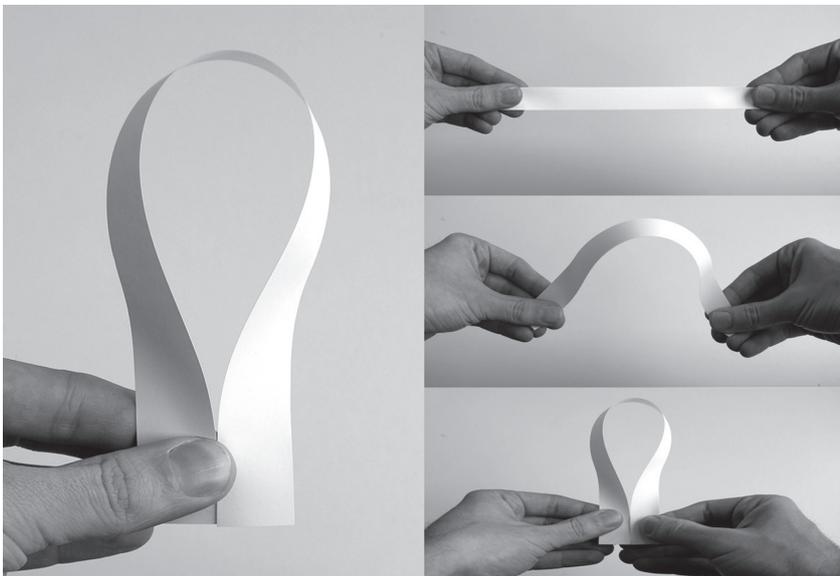


Abb. 5: Achim Menges, Papierstreifenmorphologien, 2004–05, Fotografien

für ein eigentätiges Materialmodell führen sie einen einfachen Papierstreifen an, dessen Enden mit den Händen zusammengeführt werden, wodurch sich wie von selbst eine Schlaufe bildet (Abb. 5).

Die Vorstellung von der Selbstbildung des Modells ist auch grundlegend für dessen geometrische Repräsentation (Abb. 6). So wird von dem Papierstreifen ein digitales Modell erstellt, das keine endgültige Form, sondern ein vorläufiges Schema von mathematischen Beziehungen definiert, welche mit

²¹ Grundlegend: Michael Hensel/Achim Menges (Hg.): *Morpho-Ecologies*, London 2006.

²² Vgl. Michael Hensel/Achim Menges: »Performance als Forschungs- und Entwurfskonzept. Begriffe und Bezugssysteme«, in: *Archplus* (2008) 188, S. 31–37, hier S. 31.

Variablen und Konstanten beschrieben werden. Derartige Beziehungen sind zum einen geometrische Verhältnisse, zum anderen materielle Eigenschaften, die in Form von Kennwerten numerisch nachgebildet werden. Die in Kennwerten angegebenen Eigenschaften des Materials, wie Elastizität und Festigkeit, bestimmen das Verformungsverhalten des Modells. Neben Geometrie und Materialität ist auch der Herstellungsprozess integraler Bestandteil des Modells. Programmiert werden die Art der Fügung der Elemente und ihre Fer-

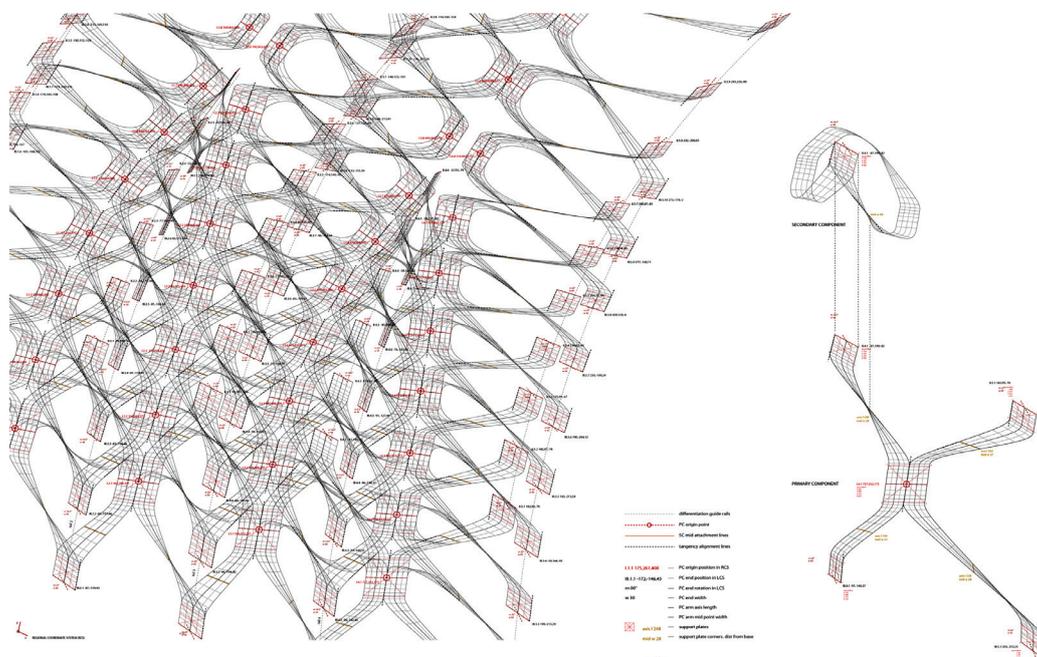


Abb. 6: Michael Hensel/Achim Menges/Aleksandra Jaeschke, Continuous Laminae, 2004–05, Rendering

tigung mittels computergesteuerter Produktionsmaschinen. Das generische Modell, in dem geometrische Verhältnisse, materielle Eigenschaften und produktionstechnische Prozesse eingeschrieben sind, bildet dann das Grundelement eines Verbunds. In dem Verbund sind die einzelnen Elemente interaktiv miteinander verknüpft, wodurch flexible Strukturen wechselseitiger Abhängigkeiten entstehen. Ein spezifischer Formentwurf wird erst dann erzeugt, wenn den Variablen Zahlenwerte zugewiesen werden. Sobald das Element mit anderen Elementen in eine wechselseitige Beziehung tritt und bestimmte Anforderungen an Durchlässigkeit und Stabilität erfüllen soll, erhält es seine konkrete, individuelle Form.

Erfindendes Modellieren

Mit Blick auf die Eigensinnigkeit der Materialien erweisen sich vor allem die Stoff- und Strukturforschungen am Bauhaus der 1920er Jahre als latente Vorbilder für das Materialkonzept von Hensel und Menges. Es ist vor allem das Form- und Stoffverständnis von Josef Albers, das in ihre Vorstellung des materialisierten Computermodells Eingang fand.

In Albers' Vorkurs am Bauhaus erfolgten Übungen, die sich mit den immanenten Eigenschaften von Materialien beschäftigten. Stabilität, Festigkeit, Tragfähigkeit und Belastbarkeit der Werkstoffe wurden in raumgreifenden Modellen aus Papier erprobt, womit Albers den Blick auf das wechselseitige Wirkverhältnis von Form, Kraft und Masse lenkte. Ziel seiner Gestaltungslehre war das »erfindende bauen«, das durch zweckloses und vorurteilsfreies Probieren mit Materialien – durch »un-fachliche Versuchsar-

beit« – entfaltet werden sollte.²³ Es mutet wie ein Vorgriff auf das parametrische Modellieren an, wenn László Moholy-Nagy, neben dem Albers in den Jahren 1923 bis 1928 lehrend im Vorkurs tätig war, jene Materialmodelle wie folgt beschrieb: »die materialwerte, biegsamkeit, dehnungsgrenze, elastizität usw. werden bei diesen arbeiten hineinkalkuliert.«²⁴ Albers' Materialmodelle waren demnach nicht *komponiert*, sondern *kalkuliert*.

Eine Modellierung in diesem Sinne führte Albers seinen Studierenden am Black Mountain College vor: Grundlage war ein vorgefaltzes Papier, dessen Seiten mit den Händen zusammengeschoben wurden, so dass sich wie von selbst eine Aufwölbung ergab (Abb. 7). Mit dieser Art der Formung widersetzte sich Albers einem spezifisch künstlerischen Verständnis von Modellierung, wie es etwa im Kontext von Ton- oder Wachsplastiken bis heute vorherrscht. Dort meint Modellierung das Eindrücken der Finger in ein weiches, modellierbares Material und die Entstehung der Form in den Händen. Bei Albers ergab sich die Form aber nicht in der manuellen Aktion der Umformung, sondern in der Bestimmung von Material-, Struktur- und Umweltbedingungen.

Auf eine nochmals gesteigerte Weise verfolgte Achim Menges diese Modellierungsstrategie, indem er Materialsysteme entwarf, die auf wechselnde Umwelteinflüsse mit Gestaltveränderungen reagierten. Zusammen mit Steffen Reichert entwickelte er im Jahr 2005 einen Prototypen, der auf dem Formungs-



Abb. 7: Albers und Studierende manipulieren ein Blatt Papier, Black Mountain College, 1946, Fotografie

verhalten von Holzblättern beruhte (Abb. 8).²⁵ Bei hoher Luftfeuchtigkeit krümmten sich die Blätter, wodurch sich eine Öffnung zwischen Rahmen und Deckfläche ergab. Nahm die Feuchtigkeit ab, schlossen sich die Blätter wieder.

Solchen Arbeiten liegt ein Verständnis von Modellierung zugrunde, das weniger formale Objekte als vielmehr stoffliche Überführungen und Umwandlungen ins Zentrum des Gestaltungs- und Erkenntnisinteresses rückt. Modellierung bedeutet hier die Beschreibung einer materiellen Schnittstelle, eines Durchgangsmediums zwischen Innen und Außen, einer »Membran«, die eine aktive Rolle bei der selektiven Übermittlung natürlicher Bewegungen wie Licht, Luft und Schall spielt. Die so gewonnenen Modelle sind

23 Josef Albers: »werklicher formunterricht«, in: *bauhaus* (1928) 2/3, S. 3–7, hier S. 3.

24 László Moholy-Nagy: *von material zu architektur*. Faksimile der 1929 erschienenen Erstausgabe (Neue Bauhausbücher, hg. v. Hans M. Wingler), Mainz/Berlin 1968, S. 153.

25 Achim Menges/Steffen Reichert (Hg.): »Reaktive Flächenstruktur«, in: *Archplus* (2008) 188, S. 44 f.

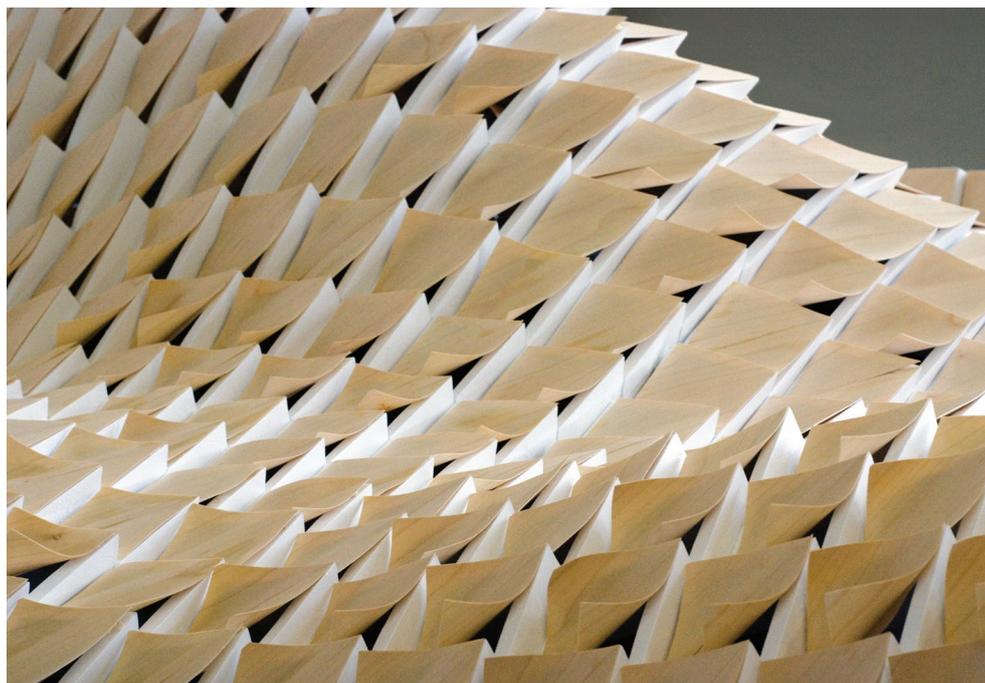


Abb. 8: Achim Menges/Steffen Reichert, Reaktive Flächenstruktur, 2005–07, Fotografie

dann keine Entitäten, die in eine feste und endgültige Form gegossen wurden, sondern Ansammlungen von in Bewegung befindlichen Materialien.²⁶

Natürliche Konstruktionen

Gestaltungsformen, die sich natürlichen Strukturen und Materialien annähern, um sich der in ihnen enthaltenen ›Intelligenz‹ bedienen zu können, wurden bereits in der konstruktivistischen Architektur der 1950er und 60er Jahre intensiv thematisiert. Eine theoretische Grundlage zu Menges' Begriff des Materialsystems bot vor allem das Konzept der »natürlichen Konstruktion« des deutschen Architekten Frei Otto (1925–2015).²⁷ Otto ging es um eine intelligente, leichte und nachhaltige Form des Bauens, die ihre Gestaltungs- und Konstruktionsformen der Natur entlehnt, um deren Strategien auf bauliche Strukturen übertragen zu können.

Otto hat sich zeit seines Lebens mit gestaltbildenden Prozessen der Natur befasst.²⁸ Als Architekt hat er zahlreiche Konstruktionen unter Verwendung dieser Prozesse entwickelt und gebaut.²⁹ Gemeint sind jene gestaltbildenden Prozesse, die unter vorgegebenen Randbedingungen und herrschenden Naturgesetzen zu sichtbaren Formen und Konstruktionen führen. Da sie ohne Zutun des Menschen ablaufen, werden sie auch Selbstbildungsprozesse genannt. Im Mittelpunkt standen für Otto vor allem physikalische Selbstbildungsprozesse. Technische Konstruktionen, bei deren Planung und Herstellung derartige Prozesse von selbst abliefen oder gezielt genutzt werden konnten, wurden von Otto als »natürlich« bezeichnet. Umgekehrt fasste er alle Objekte, auch die der Natur, als Konstruktionen

26 Vgl. Timothy Ingold: »Eine Ökologie der Materialien«, in: Susanne Witzgall/Kerstin Stakemeier (Hg.): *Macht des Materials/Politik der Materialität*, Zürich/Berlin 2014, S. 65–73, hier S. 72 f.

27 Frei Otto: *Natürliche Konstruktionen. Formen und Konstruktionen in Natur und Technik und Prozesse ihrer Entstehung*, Stuttgart 1982.

28 Vgl. Frei Otto: *Gestaltwerdung. Zur Formentstehung in Natur, Technik und Baukunst*, Köln 1988.

29 Vgl. Rainer Barthel: »Naturform – Architekturform«, in: Winfried Nerdinger (Hg.): Frei Otto. *Das Gesamtwerk. Leicht bauen, natürlich gestalten*, Ausst.Kat. (München, Architekturmuseum der TU München, 2005), Basel/Boston/Berlin 2005, S. 16–30, hier S. 17.

auf: »Alle materiellen Objekte sind Konstruktionen.«³⁰ Alle Objekte haben eine Form, sie sind gefügt aus Molekülen, kleineren und größeren Einheiten, sie alle unterliegen Kräften und Einwirkungen. Daher sind für Otto natürliche und technische Konstruktionen analoge Bildungen.³¹ Die Analogiebildung erfolgte stets über das technische Modell. Zur Entwicklung leichter Flächentragwerke aus Seilnetzen und Membranen experimentierte Otto mit sich selbst bildenden Seifenhautmodellen (Abb. 9).³² Wenn man eine beliebig geformte Drahtschleife in eine Seifenlauge taucht, nimmt die gespannte Seifenhaut ihre statisch optimale Form wie von selbst ein. Ihre Form entsteht als Folge der einwirkenden Kräfte und vorgegebenen Randbedingungen. Ottos Modelle wirkten in zwei Richtungen: Sie dienten nicht nur der Entwicklung technischer Konstruktionen, sondern auch dem Verständnis natürlicher Strukturen. Gemeinsam

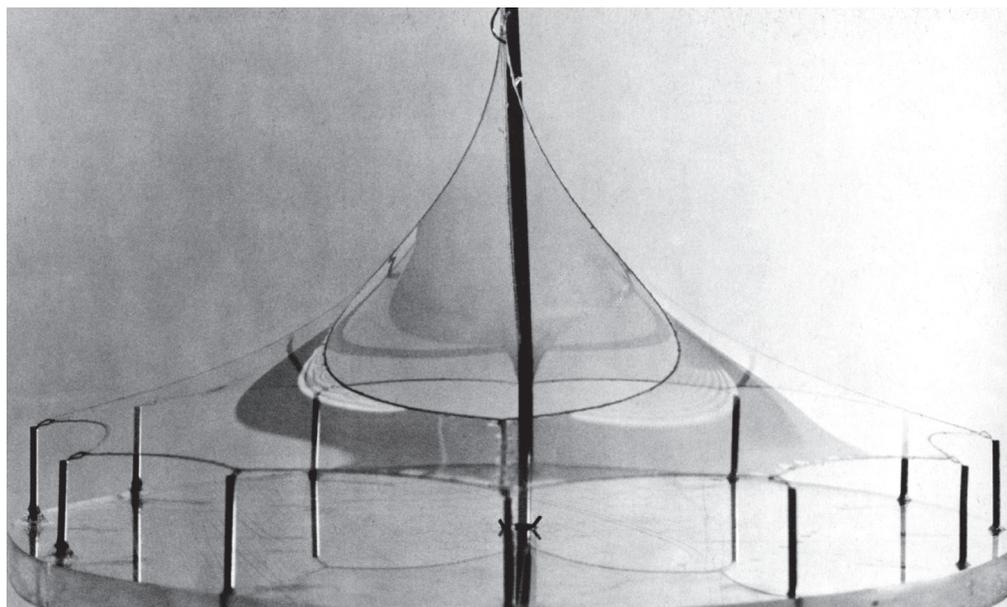


Abb. 9: Frei Otto, Seifenhaut durch Seilschleife unterstützt, 1967, Fotografie

mit dem Biologen Johann-Gerhard Helmcke gründete der Architekt 1961 die Arbeitsgruppe *Biologie und Bauen* an der Technischen Hochschule in Berlin. Über Helmcke lernte er die Formen mikroskopischer Lebewesen und die biologischen Erklärungsversuche ihres Entstehens kennen.³³ In den Panzern von Diatomeen und den Skeletten von Radiolarien erkannten sie gemeinsam die Verwirklichung des Leichtbauprinzips in der Natur und die Bedeutung von Selbstbildungsvorgängen für die Formentstehung.³⁴ In Modellen vollzogen sie die Selbstbildung der Diatomeen nach – von der Zusammenlagerung kugelförmiger Blasen bis zur Entstehung der gekammerten Schale aus Siliziumdioxid. Zur Modellbildung wurden Luftballons zwischen Platten dicht gepackt und die Zwischenräume mit Gips ausgegossen. Durch Entfernen der Ballons nach Erhärten des Gipses entstanden leichtgewichtige, poröse Gussstrukturen von großer Steifigkeit (Abb. 10). Sie dienten Otto als Grundlage für die Entwicklung organisch anmutender Raumtragwerke mit biegesteifen Knoten, die sich an die stabilen Verbindungen der Diatomeen anlehnten.

30 Frei Otto: »Natürliche Konstruktionen, ein Thema für die Zukunft«, in: Frei Otto/Bodo Rasch: *Gestalt finden. Auf dem Weg zu einer Baukunst des Minimalen*, Ausst.Kat. (München, Villa Stuck, 1992), hg. v. Deutschen Werkbund Bayern, Frei Otto und Bodo Rasch, Stuttgart 1995, S. 15–53, hier S. 15.

31 Ulrich Kull: »Frei Otto und die Biologie«, in: Nerding (Hg.): *Frei Otto* (Anm. 29), S. 45 f.

32 Vgl. Frei Otto (Hg.): IL 25, *Experimente – Form Kraft Masse 5*, Mitteilungen des Instituts für leichte Flächentragwerke der Universität Stuttgart, Stuttgart 1990, S. 2.54–2.60.

33 Vgl. Kull: »Frei Otto« (Anm. 31), S. 45 f.

34 Vgl. Frei Otto (Hg.): IL 28, *Diatomeen I. Schalen in Natur und Technik*, Mitteilungen des Instituts für leichte Flächentragwerke der Universität Stuttgart, Stuttgart 1985.

Entgegen der tradierten Vorstellung, wonach sich ein Modell maßstäblich zu seinem Bezugsgegenstand verhält, erweisen sich die modellhaft nachgebildeten Strukturen von Otto als maßstabslos, oder genauer: Sie sind Eins-zu-eins-Modelle, die sich sowohl auf die Mikroebene des natürlichen Organismus als auch auf die Makroebene der baulichen Konstruktion beziehen. Die visuelle Argumentation der Modelle läuft darauf hinaus, strukturelle Übereinstimmungen von mikroskopischen Naturformen und makroskopischen Kunstformen unmittelbar sichtbar zu machen. So wie das Modell, erfährt auch die Modellierung

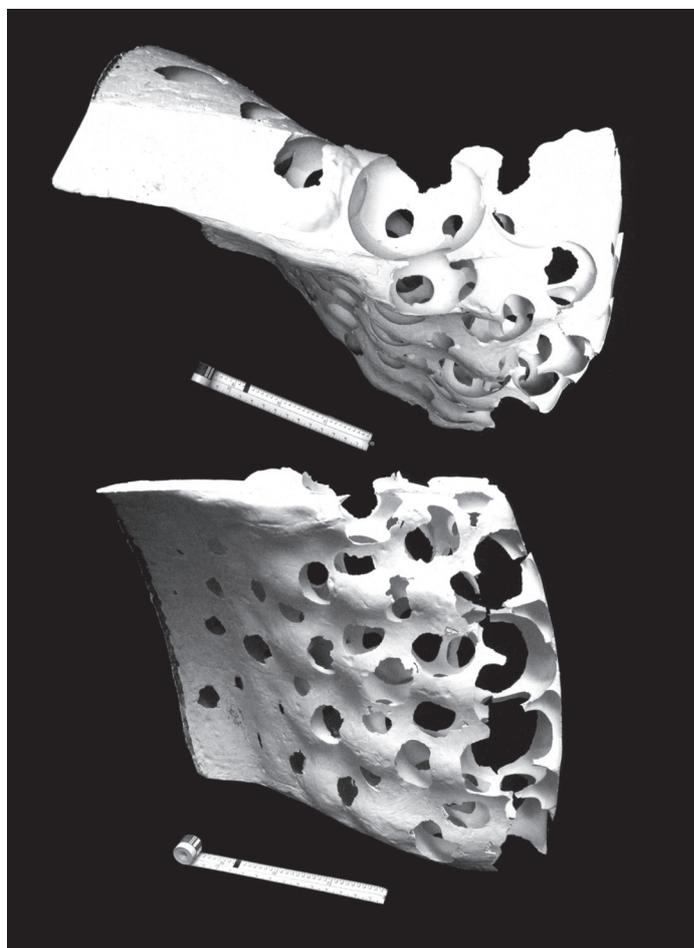


Abb. 10: Michael Hensel/Achim Menges/Gabriel Sanchiz Garin, Poröse Gussstrukturen (nach Modellen von J.-G. Helmcke/Frei Otto), 2005–06, Fotografien

eine Entgrenzung. Es gibt weder Anfang noch Ende des Modellierungsprozesses. Der Akt der Modellierung beginnt nicht mit der Erstellung des ersten technischen Modells und endet auch nicht in dem Moment, in dem ein Bauwerk errichtet wird. Er erstreckt sich vom modellierenden Organismus bis zur modellierten Baukonstruktion und darüber hinaus. Denn die einwirkenden physikalischen Kräfte modellieren die Konstruktion auch nach ihrer Errichtung.

Das tiefe Verständnis einer natürlichen Konstruktion in Biologie und Architektur war für Helmcke und Otto nur möglich, wenn es gelang, ein Modell davon zu erstellen.³⁵ Ein solches Modell lieferte ihnen die Leichtbautechnik. Das war der Kern dessen, was Otto als den »umgekehrten Weg« bezeichnete: das technische Modell und seine Anfertigung schaffen das Wissen zur Erklärung der biologischen wie der architektonischen Gestalt.³⁶ Natur und Architektur erscheinen hier nicht als Konstrukte, die universellen Gesetzmäßigkeiten folgen, sondern als Prozesse, die sich mit Hilfe von Modell-

bildungen erklären lassen. Folgt man dieser Überlegung, so lassen sich natürliche wie architektonische Phänomene nur so weit erkennen und verstehen, wie es hierfür Werkzeuge gibt, mit deren Hilfe Modelle entwickelt und berechnet werden können.

Ottos Modelle verweisen auf den Umstand, dass sie in komplexerer Weise in Architektur und Wissenschaft eingebunden sind, als nur deren instrumentelle Vehikel zu sein. Sie bedingen die Formen des Wissens der Architektur und der Naturwissenschaften. Sie bestimmen in grundlegender Weise, was und wie überhaupt wahrgenommen, gedacht und entworfen werden kann. In diesem Sinne diskutierte auch der Planungstheoretiker Horst Rittel das Modell als Werkzeug des Denkens und Handelns. Rittel war zur gleichen Zeit wie Otto an der Universität Stuttgart in der Fakultät für Architektur und Stadtplanung lehrend und forschend tätig. In seinem Aufsatz »On the Planning Crisis: System Analysis of the ›First and

³⁵ Ebd. S. 45.

³⁶ Vgl. Stefan Polónyi u. a. (Hg.): *Der umgekehrte Weg. Frei Otto zum 65. Geburtstag* (= arcus, Bd. 10), Köln 1990.

Second Generations« von 1972 konstatierte er, dass Entwurfs- und Planungsmodelle einen sehr hohen Einfluss auf die Art und Ausrichtung der entwerferischen Prozesse haben: »das kausale Modell selbst [bestimmt], was als Konsequenz verfolgt werden kann [...]. Deshalb sollte das Modell Teil des Modells sein, da es beeinflusst, was als Konsequenz herausgefunden werden kann. Mit anderen Worten, ein Modell sollte sich selbst enthalten – und das ist unmöglich.«³⁷ Einerseits betonte Rittel die grundlegende Einflussnahme des Modells auf den Gegenstand und den Verlauf der Planung, andererseits erkannte er die Unmöglichkeit, Planungsprozesse vollständig zu beherrschen, da das Modell selbst dann über autonome Qualitäten und unkontrollierbare Wirkungen verfügt, wenn man die Folgen des Modells in diesem zu berücksichtigen sucht. Daher propagierte Rittel die Einsicht in die Unmöglichkeit vollständiger Kontrolle über Planungsprozesse. Diese Ambivalenz zwischen Kontrolle und Kontrollaufgabe ließ sich auch bei Ottos Modellen beobachten, die zum einen Denk- und Konstruktionsprozesse prägten, zum anderen unvorhersehbare Wirkungen aus ihrer jeweiligen Materialität und Medialität heraus entfalteten, die Otto produktiv zu nutzen wusste.

Der wissenschaftlich-bildnerische Experimentator

Wenn man Modelle als Akteure im Entwurfsprozess versteht, wie dies von Otto und Rittel nahegelegt wurde, stellt sich die Frage nach der modellierenden Instanz: Welche Rolle spielt der Architekt im Modellierungsprozess, insbesondere dann, wenn sich die Modelle durch Krafteinwirkung selbsttätig bilden und organisieren? Es scheint, als ob der emphatische Modellbegriff aus dem Geist der Wissenschaft und Technik mit der Forderung nach einem neuen Gestalter-Typ verbunden ist. Nicht der Formschöpfer, der nach einem festen Plan aus vorhandenem Material etwas Geformtes modelliert, prägt hier das Bild des Architekten. Vielmehr geht es um einen Modellbildner, der nicht unmittelbar an der Erschaffung der Form beteiligt ist. Von ihm wird verlangt, dass er seine persönlichen Gestaltungsvorlieben unterdrückt und sich in den Dienst der Selbstorganisation formaler Systeme stellt. Der Künstler Robert Preusser, der in den 1960er Jahren am Center for Advanced Visual Studies am Massachusetts Institute of Technology (MIT) in Cambridge tätig war, fand für diesen Gestalter-Typ die Bezeichnung des »wissenschaftlich-bildnerischen Experimentators« (»scientific-visual experimentalist«).³⁸ Ein solches Gestalter-Bild sollte 30 Jahre später in den Selbstbegründungen der Computerarchitekten wieder auftauchen.

Die Modellierungsprozesse lediglich zu »betreuen«, war auch das Anliegen von Frei Otto. Gefragt nach seiner Rolle im Entwurf, bemerkte er, dass er sich eher als »Zuschauer« oder »Geburtshelfer« seiner Objekte denn als »aktiver Konstrukteur« wahrnehme: »Ich versuche, die selbst ablaufenden Prozesse, die die Objekte machen, zu unterstützen. Bei diesem Vorgehen habe ich das Gefühl, »die hast du gar nicht gemacht.«³⁹ »Der Wille zur betonten Gestaltung«, stellte Otto bereits 1972 fest, »steht im Gegensatz zu der Suche nach der noch unbekanntem, aber den Naturgesetzen unterliegenden Form.«⁴⁰ Mit dieser Äußerung zur Negation der gestalterischen Subjektivität, die Voraussetzung von Innovation sei, rekurrierte er auf das Selbstverständnis der Bauhausgestalter. Die Zurückweisung des freien, individuellen Selbstausdrucks und die Betonung der Sachlichkeit waren vor allem Ergebnisse des 1923 einsetzenden Umschwungs des Bauhauses vom Handwerklich-Romantischen zum Konstruktiv-Ingenieurhaften. So schrieb Walter Gro-

37 Horst W.J. Rittel: »Zur Planungskrise: Systemanalyse der »ersten und zweiten Generation« (On the Planning Crisis: Systems Analysis of the »First and Second Generations«), in: Horst W.J. Rittel: *Thinking Design. Transdisziplinäre Konzepte für Planer und Entwerfer*, neu hg. v. Wolf D. Reuter, Wolfgang Jonas, Basel 2013, S. 39–57, hier S. 43.

38 Robert Preusser: »Visual Education for Science and Engineering Students«, in: Gyorgy Kepes (Hg.): *Education of Vision*, New York 1965, S. 208–219, hier S. 219.

39 Frei Otto: »Die Entstehung der Formen. Im Gespräch mit Walter Siegfried«, in: *Du. Die Zeitschrift der Kultur* (1985) 45, S. 104–106, hier S. 106.

40 Frei Otto: »Das Zeltdach. Subjektive Anmerkungen zum Olympiastadion (1972)«, in: Berthold Burkhardt (Hg.): *Frei Otto. Schriften und Reden, 1951–1983*, Braunschweig/Wiesbaden 1984, S. 98–105, hier S. 101.

pius 1925 über die »neue Bau-Gesinnung«: »Ich-Überwindung muß der Gestaltung vorausgehen, damit das Produkt *mehr als persönliche Geltung* gewinnt.«⁴¹ Diesem nietzscheanischen Gedanken folgte auch Otto, dessen Konstruktionen auf die Veranschaulichung des Kraftflusses im Sinne einer überindividuellen Gestaltungssprache abzielten.

Ein ähnliches Konzept der Selbstorganisation, in dem der Architekt zum menschlichen Entwurfsmedium wird, beschworen auch Greg Lynn, Michael Hensel und Achim Menges, und zwar in der Überzeugung, dass die digitalen Formerscheinungen durch ein ebenso plausibles Prinzip wie natürliche Strukturen zu begründen seien. Analog zu Otto beschrieben sie die digitale Form als eine Struktur, die aus den Parametern ihrer Einflussfaktoren resultiert. Der Architekt Patrik Schumacher erklärte daher Otto auch zum »einzigen wahren Vorläufer des Parametrismus«: »Frei Ottos physische Modelle selbstorganisierter Formfindung sind deshalb so überzeugend, weil sie eine Vielzahl von Komponenten [...] in ein simultan organisiertes Kräftefeld integrieren. Jede Veränderung des parametrischen Profils von einem der Elemente [...] führt bei allen anderen Elementen des Systems zu regelhaften Reaktionen.«⁴²

Re-Inthronisierung des Architekten

Auf den ersten Blick scheint es, als ob die traditionelle Rolle des Architekten als Demiurg, als Weltschöpfer und oberste Gestaltungsinstanz in diesen Konzepten architektonischer ›Geburtshelfertätigkeit‹ überwunden sei. In der Tat ist der Architekt in digitalen Arrangements weniger Form- als Prozessschöpfer, wobei sich letztere Rolle als weitaus wirkungsmächtiger erweist als zunächst angenommen. Fast drei Jahrzehnte lang wurde das vermeintliche Verschwinden des Architekten diskutiert, der im Zuge computerbasierter Modellierung die Kontrolle über die Gestaltung der Form verloren hätte. Während die digital experimentierenden Gestalter den ›Tod des Architekten‹ als längst überfälligen Akt der Modernisierung feierten, beschworen die Kritiker ihn als Ausdruck architektonischen Niedergangs.⁴³ In dem Moment, in dem der Gestalter jedoch zunehmend zum Programmierer seines Entwurfes wurde (und nicht nur zum Anwender von Programmen), kehrte das Bild des Architekten als zentrale Kontrollinstanz in die Debatten zurück. So zeichnete der Theoretiker Mario Carpo in seinem Essay *The Alphabet and the Algorithm* von 2011 ein zukünftiges Szenario, wonach der programmierende Architekt die totale Kontrolle über generische Umgebungen auf allen Maßstabsebenen erlangen würde – »von der Nanotechnologie bis zu globalen Territorien«.⁴⁴

In dieser Perspektive erscheint der Architekt nicht nur als Wissenschaftler, der die Prozesse des ›Lebens‹ an sich selbst erzeugenden Formen studiert, sondern auch als Initiator, Entwerfer und Steuerer dieser Prozesse. In dieser Funktion spielt er eine neue, allmächtige Rolle im Modellierungsprozess, weshalb ›heroische Bescheidenheit‹ oder ›devote Technikgläubigkeit‹ als mögliche Motive für seinen Rückzug als unmittelbarer Formgeber ausscheiden. Seine Absage an die aktive Gestaltung erlaubt ihm vielmehr, einen scheinbar lebendigen, eigenständigen und intelligenten Prozess aus gottähnlicher Schöpferperspektive zu planen, zu steuern und zu kontrollieren. Am Ende bleibt er die ordnende Kraft, nach deren Wirken die Formentwicklung abläuft.

Dieses Bild des Architekten als oberster Lenker intelligenter Prozesse setzte zuletzt ein Forschungsprojekt am »Media Lab« des MIT in Szene. Im Jahr 2013 entstand unter der Leitung der Architektin Neri

41 Walter Gropius: »Die neue Bau-Gesinnung«, in: *Innen-Dekoration* 36 (1925) 4, S. 134–137, hier S. 137.

42 Patrik Schumacher: »Parametrismus. Der neue International Style«, in: *Archplus* (2009) 195, S. 106–113, hier S. 111, Anm. 20, und S. 112.

43 Vgl. Peter Eisenman: »Postfunktionalismus«, in: ders.: *Aura und Exzess. Zur Überwindung der Metaphysik der Architektur*, Wien 1995, S. 35–41, hier S. 39; Jan Pieper: »Baugeschichte und Architekturlehre. Anmerkungen zu einer schwierigen Beziehung«, in: *Bauwelt* (2005) 40/41, S. 12–19, hier S. 18.

44 Mario Carpo: *Alphabet und Algorithmus*, hg. v. Jörg H. Gleiter, Bielefeld 2012, S. 144 (engl. Originalausg.: Cambridge/MA 2011).

Oxman der *Silk-Pavillon* (Abb. 11). Das Projekt ging der Frage nach, wie sich digitale und biologische Fabrikationsmethoden verschränken lassen. Zu diesem Zweck wurden Seidenraupen als natürliche Materialproduzenten im Fertigungsprozess eingesetzt. Zusammen mit Studierenden untersuchte Oxman zunächst die Spinnmuster und die möglichen Einflussnahmen auf die Aktivitäten der Raupe. Als Stützkonstruktion für den kuppelförmigen Pavillon dienten achteckige Aluminiumrahmen, die von einem CNC-Roboter mit einem groben Seidengitter bespannt wurden. Anschließend wurden 6500 Seidenspinnerraupen auf das Gerüst verteilt und mit gezielt eingesetztem Licht und Wärme über die Struktur geleitet, die sie dann mit Seidengarn überspannten.

Vordergründig könnte man annehmen, dass die Raupen den Architekten als Modellbildner nun endgültig ersetzt hätten. Hinter der biointegrierten Materialisierung verbirgt sich jedoch weniger eine Schwächung als eine Stärkung seiner Position. Der Einsatz der Tiere als lebendige 3D-Drucker lässt sich nicht als Indiz für die Suspendierung von Autorschaft verstehen, sondern im Gegenteil als Beweis für die Herrschafts-

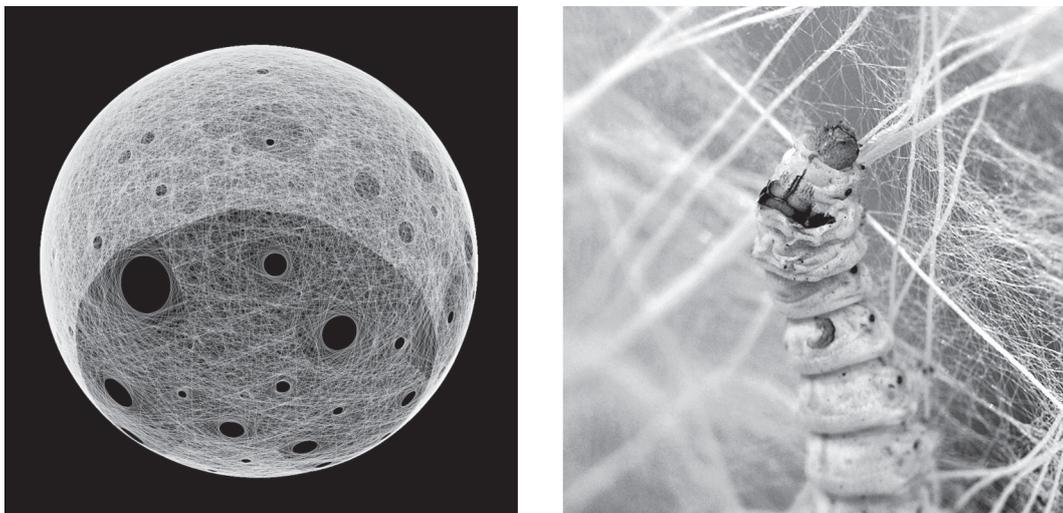


Abb. 11: Neri Oxman, *Silk Pavilion*, Installation im MIT, Media Lab, Cambridge/MA, 2013, Rendering und Fotografie

sicherung des Architekten, die auf die grundsätzliche Beherrschung und Beherrschbarkeit der lebenden Natur setzt. Unter diesem Blickwinkel wird der Architekt als wirksame, modellierende Instanz im computerbasierten Entwurf weniger in Frage gestellt als vielmehr bestätigt. In der Modellierung komplexer lebender und nicht-lebender Systeme und Prozesse scheint jenes Bild des Architekten aufs Neue auf, das ihn als Ikone der Naturbeherrschung und Lenker des Kosmos in Szene setzt.

Simulationsmodelle

Gabriele Gramelsberger

1. Einleitung

Mit der Entwicklung elektronischer Computer in den 1940er Jahren und höheren Programmiersprachen in den 1950er Jahren hält ein neuer Modelltyp Einzug in die Wissenschaften: Simulationsmodelle. Bekannteste Vertreter sind wohl Klima- und Wettermodelle, die mittlerweile Teil der Alltagskultur geworden sind.¹ Kaum eine Natur- oder Technikwissenschaft kommt heute noch ohne Simulationsmodelle aus und neben der traditionellen Einteilung in Theorie und Empirie fügt sich die Simulation als ›dritte Methode‹ im Rahmen von *Computational Departments* in die Wissenschaftslandschaft ein. Dabei ist der Begriff des Simulierens durchaus nicht eindeutig definiert. In einem weiten Sinne kann er im wissenschaftlichen Kontext für jegliche Form des Nachahmens und Imitierens verwendet werden: ein Crashtest im Labor simuliert einen Autounfall, ein Schiffsmodell im Strömungskanal bildet maßstabsgerecht ein Containerschiff nach und ein Ball-Stick-Modell imitiert ein Molekül. Dennoch hat sich im wissenschaftlichen Kontext der Begriff des Simulierens auf die Computersimulation zentriert und in unterschiedliche Subkategorien ausdifferenziert:

- deterministische Simulationen basierend auf Differentialgleichungen
- stochastische Simulationen basierend auf stochastischen Differentialgleichungen oder Zufallsläuferteilungsmethoden wie der Monte-Carlo-Simulation
- ereignisbasierte Simulationen, in denen bestimmte Ereignisse andere Ereignisse auslösen
- sogenannte *Soft Computing*-Methoden wie Agentenbasierte Simulationen, Genetische Programmierung, Evolutionäre Algorithmen oder Neuronale Netze.

Im vorliegenden Zusammenhang soll der Begriff des Simulierens jedoch einzig auf deterministische Simulationen bezogen werden. Diese Simulationsart ist nicht nur die weitest verbreitete in den Natur- oder Technikwissenschaften, sie ist auch die älteste und damit klassische Form der Simulation.

¹ Vgl. beispielsweise Harald Welzer/Claus Leggewie: *Das Ende der Welt, wie wir sie kannten. Klima, Zukunft und die Chancen der Demokratie*, Frankfurt a. M. 2009.

2. Historischer Hintergrund der Simulation

Die Geschichte der deterministischen Simulation ist die des Calculus von Isaac Newton und Gottfried Wilhelm Leibniz, des Funktionsbegriffs von Leonhard Euler sowie des Versuchs, die in der Natur beobachteten Bewegungen und Veränderungen mathematisch fassbar zu machen.² Die Vorstellung – von den Pythagoreern bis Galileo Galilei –, dass das Buch der Natur in der Sprache der Mathematik geschrieben sei, hatte zwar den Vorteil, den *Mathematical Way in the Scientific Revolution* zu beschleunigen.³ Doch zu dem Preis, dass unter der Sprache der Natur die der statischen Euklidischen Geometrie verstanden wurde.⁴ Die Anstrengungen der frühen Neuzeit, diese statische Beschreibungssprache zu überwinden, waren langwierig und mühsam. Sie erforderten einerseits die analytische Darstellung der Geometrie mit algebraischen Zeichen, wie sie von René Descartes 1637 in seiner *Geometrie* erstmals eingeführt wurde, andererseits die arithmetische Vorstellung, dass sich die geometrische Linie in eine reine Wertfolge von Zahlen auflösen lässt.⁵ Schließlich verdichteten sich die Anstrengungen – wie dies Ernst Cassirer treffend beschrieben hat⁶ – in der Symbolik des *Calculus*, insofern Newtons Fluxion (\dot{x}) und Leibniz' Differential (dy/dx) eine neue Art geometrischer Objekte indizierten, die man sich als ›in Bewegung‹ vorstellen muss.⁷

Doch wie umgehen mit diesen neuen Objekten? Als bewegliche, mathematische Objekte bedürfen sie Rechenvorschriften, die mit infinitesimalen Größen operieren. Leibniz denkt sein Differential von der Tangentenbestimmung zunehmend kleinerer Kurvenabschnitte her, Newton von der Physik als fluente Größen. Beide formulieren Rechenregeln, die den Umgang mit Bewegungen und Veränderungen ermöglichen. Doch obwohl Leibniz den Begriff der Funktion 1673 in die Mathematik einführte und Johann Bernoulli ihn 1718 formal definierte, gelingt es erst Leonhard Euler und Joseph-Louis Lagrange, den Funktionsbegriff Mitte des 18. Jahrhunderts als analytischen Grundbegriff zu etablieren und für die Differentialrechnung nutzbar zu machen. Für Euler ist »eine Function einer veränderlichen Zahlengröße [...] ein analytischer Ausdruck, der auf irgend eine Weise aus der veränderlichen Zahlgröße und aus eigentlichen Zahlen oder aus constanten Zahlengrößen zusammengesetzt ist.«⁸ Indem Euler die Verhältnisse der Differentiale (Quotienten) als Funktionen notiert, kann er den Begriff des Differentials und des Unendlichkleinen durch den Funktionsbegriff ersetzen. Durch diese Algebraisierung der Infinitesimalrechnung verändert sich einerseits das Rechnen damit, da nun mit Funktionen und ihren Ableitungen gerechnet wird. Andererseits erweitert sich dadurch das Anwendungsspektrum, insofern die Infinitesimalrechnung zum flexibel einsetzbaren Instrument veränderlicher Größen wird, wobei Größen beliebige Objekte sein können, die sich vermindern oder vermehren. Als ein solches Instrument ist die Differentialrechnung auf alle Prozesse der Verminderung oder Vermehrung anwendbar, seien diese geometrisch, physikalisch oder ökonomisch.

2 Herman H. Goldstine: *History of the Calculus of Variations from the Seventeenth Through the Nineteenth Century*, New York 1980.

3 Peter Dear: *Disciplines & Experience. The Mathematical Way in the Scientific Revolution*, Chicago 1995.

4 Beispielsweise Galileo Galilei: *Il Saggiatore* (1623), Padua 2005.

5 René Descartes: *Geometrie* (1637), Darmstadt 1981; Gabriele Gramelsberger: »Schrift auf den Punkt gebracht – Extrapolation, Rekursion, Simulation«, in: Eva Cancik-Kirschbaum/Sybille Krämer/Rainer Totzke (Hg.): *Schriftbildlichkeit. Wahrnehmbarkeit, Materialität und Operativität von Notationen*, Berlin 2012, S. 389–400.

6 »Er [d.i. der Kalkül] hatte sich bereits auf den verschiedenen Gebieten – in der Begründung der Dynamik durch Galilei, in der Lehre von den Maxima und Minima bei Fermat, in der Theorie der unendlichen Reihen, in dem sog. ›umgekehrten Tangentenproblem‹ usf. – bestätigt, ehe er allgemein erkannt und allgemein fixiert war. Newtons Zeichen \dot{x} und Leibniz' Zeichen: dy/dx leisten zunächst nichts anderes, als daß sie diese Fixierung vollziehen: sie bezeichnen einen gemeinsamen Richtpunkt für Untersuchungen, die zuvor auf getrennten Wegen verliefen.« Ernst Cassirer: *Philosophie der Symbolischen Formen: Phänomenologie der Erkenntnis* (1929), Darmstadt 1990, hier S. 468 und S. 469.

7 Niccolò Guicciardini: »Newtons Methode und Leibniz' Kalkül«, in: Hans Niels Jahnke (Hg.): *Geschichte der Analysis*, Heidelberg/Berlin 1999, S. 89–130, hier S. 102; Gottfried W. Leibniz: »Nova Methodus Pro Maximis Et Minimis«, in: *Acta eruditorum*, Leipzig 1684; Isaac Newton: *De methodis serierum et fluxionum* (1671), *The method of fluxions and infinite series: with its application to the geometry of curve-lines*, London 1736.

8 Leonhard Euler: *Introductio in analysin infinitorum* (1748), Berlin 1983, S. 4.

Damit geht auf Euler die erste moderne Differentialgleichung der Mathematik zurück.⁹ In seinen *Principes généraux du mouvement des fluides* von 1755 formuliert er die grundlegende Bewegungsgleichung für idealisierte Strömungsprozesse.¹⁰ Basierend auf Newtons zweitem Axiom $F = dp/dt$, das den Einfluss von Kräften (F) auf die zeitliche Veränderung (dt) von Impulsen (dp als Produkt von Masse m und Geschwindigkeit v) beschreibt, formuliert Euler die Impulsgleichung eines reibungsfreien Fluids. Indem die Impulsgleichung um die Kontinuitätsgleichung, die Energiegleichung und die Zustandsgleichung erweitert wird, entsteht ein mathematisches Modell zur Beschreibung des Verhaltens idealer Gase in Form eines partiellen Differentialgleichungssystems. Fügt man noch die innere Reibung eines Fluids hinzu, wie dies Claude M. Navier und unabhängig von ihm George G. Stokes Mitte des 19. Jahrhunderts taten, erhält man die Navier-Stokes-Gleichungen.¹¹ Mit diesen Gleichungen lässt sich die Dynamik von Strömungen realistischer beschreiben. »These equations are applicable to the determination of the motion of water pipes and canals, to the calculation of the effect of friction on the motions of tides and waves, and such questions.«¹² Allerdings lassen sich mit den Navier-Stokes-Gleichungen solche Anwendungsfälle nur beschreiben, algebraisch lösbar sind diese Gleichungen aufgrund ihrer Komplexität (Nichtlinearität) nicht. Das heißt, man kennt die exakte Lösung nicht. Entweder vereinfacht man das Gleichungssystem stark und gelangt wieder zu den einfacheren Euler-Gleichungen für idealisierte Fluide oder man »simuliert« die exakte, aber unbekannte Lösung, indem man die Gleichungen numerisch für ein Raum-Zeitgitter näherungsweise berechnet. Eben dies meint die Rede vom Simulieren im Kontext der klassischen, deterministischen Simulationen.

3. Simulationsmodelle

Simulieren in diesem Sinne verstanden ist Imitation. Die numerische, approximative Berechnung imitiert die unbekannte, algebraische Lösung, die eine allgemeine Lösung für alle Raum- und Zeitpunkte wäre. Da die numerische Imitation nie allgemein sein kann, sondern immer nur für einige Raum- und Zeitpunkte berechnet ist, ist sie ein Exemplum der unbekanntenen, algebraischen Lösung. Es bedarf vieler, einzelner numerischer Berechnungen, um sich ein vages Bild des Unbekannten zu verschaffen. In diesem Sinne ist die Simulation der Messung und dem Experiment als Methode ähnlich, auch wenn sie keine Empirie erforscht, sondern den unendlichen Lösungsraum eines mathematischen Modells. Doch dies ist eine rechenintensive Herausforderung. Die Abhängigkeit von der zur Verfügung stehenden Rechenkraft kennzeichnet die Simulationswissenschaften ebenso wie die Approximativität ihrer Resultate. Denn die Annäherung (Approximation) ist nie perfekt.¹³ Auch wenn konkrete Zahlenwerte am Ende jeder Simulation stehen, ist der Aussagewert dieser Resultate als angenäherte Imitation mit Unsicherheiten behaftet; eine vages Bild, das den Verlauf einiger, möglicher Trajektorien durch den unendlichen Lösungsraum eines mathematischen Modells beschreibt.

9 Eine Differentialgleichung ist eine Gleichung für eine gesuchte Funktion von einer oder mehreren Variablen, in der auch Ableitungen dieser Funktion vorkommen können. Unterschieden werden gewöhnliche Differentialgleichungen (gesuchte Funktion hängt nur von einer Variablen ab) und partielle Differentialgleichungen (gesuchte Funktion hängt von mehreren Variablen ab und es treten partielle Ableitungen nach mehr als einer Variable auf).

10 Leonhard Euler: *Principes généraux du mouvement des fluides* (1755), in: ders.: *Opera omnia*, Reihe II, Bd. 12, Basel 1954, S. 54–91.

11 Claude M. Navier: »Memoire sur les lois du mouvement des fluides«, in: *Mémoires de l'Académie des Sciences* 6 (1822), S. 389–440; George G. Stokes: »On the theories of the internal friction of fluids in motion« (1845), in: ders.: *Mathematical and Physical Papers*, Bd. 1, Cambridge 1880, S. 75–115.

12 Stokes: »Internal friction of fluids in motion« (Anm. 11), S. 93.

13 Das Problem liegt einerseits in der Diskretisierung, andererseits in der Nichtlinearität komplexer Gleichungssysteme. Beispielsweise liegt die diskretisierte Annäherung an das Infinitesimale in aktuellen Klimamodellen bei 60 km, in aktuellen Wettermodellen bei etwa 6 km Gitterabstand zwischen den Berechnungspunkten. Sowohl Klima- wie Wettermodelle sind nichtlineare Modelle und insbesondere bei Wettermodellen führt die Nichtlinearität bei leicht variierenden Anfangsbedingungen schnell ins Chaos. Ob die berechneten Trajektorien tatsächlich einem prognostizierten Wetterverlauf entsprechen, ist schwer beurteilbar. Daher gilt das Wetter über einen längeren Zeitraum als prinzipiell nicht vorhersagbar. Edward N. Lorenz: »Deterministic Nonperiodic Flow«, in: *Journal of the Atmospheric Sciences* 20 (1963) 2, S. 130–141.

Dieses vage Bild erfordert im Unterschied zu mathematischen Gleichungen eine Konkretisierung. Kann die Algebra im Allgemeinen schwelgen, so benötigt die Numerik konkrete Anweisungen und Zahlwerte, um Berechnungen auszuführen. Diese konkreten Anweisungen (Rechenvorschriften) und Zahlwerte (Parameterwerte, Konstanten) liefert das Simulationsmodell. Als einfache Rechenmodelle gehen sie bis ins 18. Jahrhundert und weiter zurück. Bereits Leibniz beschwerte sich über die Mühseligkeit des ›Simulierens‹: »For it is unworthy of excellent men to lose hours like slaves in the labour of calculation which could safely be relegated to anyone else if machines were used.«¹⁴ Von daher wundert es nicht, dass viel Mühe in die Entwicklung von Rechnern investiert wurde, die jedoch bis Anfang des 20. Jahrhunderts rein mechanische Rechenhilfen waren. Der Begriff des ›Computers‹ war daher menschlichen Rechnern vorbehalten, die arbeitsteilig aufwendige Rechenprojekte händisch durchführten: für die Berechnung der Gezeiten, für astronomische Almanache oder für Versicherungen.¹⁵

Insbesondere in der Meteorologie finden sich frühe Versuche, erste Wettermodelle zu konzipieren und Wetterprognosen zu berechnen. Obwohl die theoretischen Grundlagen für Simulationsmodelle des Wetters mit den hydrodynamischen Navier-Stokes-Gleichungen sowie den Hauptsätzen der Thermodynamik Mitte des 19. Jahrhunderts gegeben waren – Vilhelm Bjerknes formulierte 1904 ein vollständiges Modell basierend auf den sogenannten ›primitiven‹ Grundgleichungen der Strömungsdynamik¹⁶ – lag es außerhalb der Reichweite menschlicher Computer, ein derart komplexes Wettermodell zu berechnen.¹⁷ Man musste sich mit stark vereinfachten Rechenmodellen begnügen. Beispielsweise schlug Heinrich Hertz 1884 ein einfaches thermodynamisches Modell und eine graphische Berechnungsmethode zur Bestimmung der Zustandsänderungen feuchter Luft vor und Anton Oberbeck, »for the first time, integrated the equations of motion for fluids under conditions approximating those of the atmosphere.«¹⁸

Diese Rechenmodelle per Hand zu berechnen, bedeutete auch, nur wenige Berechnungen für ein ganz spezifisches Problem machen zu können, wie beispielsweise die Berechnung der Bewegung der feuchten Luft für ein kleines Gebiet. Die Situation änderte sich erst in den 1940er Jahren, als elektrische Computer gebaut wurden. Eines der ersten computerbasierten Simulationsmodelle überhaupt war ein einfaches Wettermodell. Es wurde unter der Leitung von Jules Charney und John von Neumann Ende der 1940er Jahre entwickelt und 1950 auf einem der ersten Computer berechnet, dem zwischen 1942 und 1946 gebauten Electronic Numerical Integrator and Computer (ENIAC). Doch auch wenn ENIAC 5.000 Additionen pro Sekunde durchführen konnte, was ihm den Ruf eines ›Elektronengehirns‹ einbrachte – ein menschlicher Computer brachte es auf etwa auf 100 Berechnungen pro Stunde –, war dieses erste, computerbasierte Wettermodell ein sehr einfaches.¹⁹ Dennoch behauptete John von Neumann, »daß das

14 Gottfried W. Leibniz: *Machina arithmetica in qua non additio tantum et subtractio sed et multiplicatio nullo, divisio vero paene nullo animi labore peragantur* (1685), ins Englische übersetzt und teilweise nachgedruckt in: Herman H. Goldstine: *The Computer from Pascal to von Neumann*, Princeton 1993, hier S. 8.

15 David A. Grier: *When Computers were Human*, Princeton 2005.

16 Vilhelm Bjerknes: »Das Problem der Wettervorhersage, betrachtet von Standpunkt der Mechanik und Physik«, in: *Meteorologische Zeitschrift* 21 (1904) 1, S. 1–7.

17 Anfang der 1920 Jahre versuchte Lewis Fry Richardson ein primitives Gleichungsmodell des Wetters per Hand in wochenlanger Arbeit für eine einfache Vorhersage der Luftdruckveränderung für ein kleines Gebiet zu berechnen und scheiterte. Lewis Fry Richardson: *Weather Prediction by Numerical Process*, Cambridge 1922.

18 Cleveland Abbe: *Preparatory studies for deductive methods in storm and weather predictions*, Washington, D.C. 1890, S. 9; Heinrich Hertz: »Graphische Methode zur Bestimmung der adiabatischen Zustandsänderungen feuchter Luft«, in: *Meteorologische Zeitschrift* 1 (1884) 11/12, S. 412–431; Anton Oberbeck: »Ueber die Bewegungserscheinungen der Atmosphäre«, in: *Sitzungsberichte der Königlich Preussischen Akademie der Wissenschaften zu Berlin* 14 (1888), S. 383–395 und S. 1129–1138.

19 Dieses erste Wettermodell war ein simples barotropes Modell, das die Luftdruckveränderung in einer Höhe von 5.000 Metern über den USA berechnete. In einem barotropen Modell gibt es keine Feuchte, es ist also ein rein hydrodynamisches Modell. Zudem ist der Wind als geostrophischer Wind idealisiert, das heißt, die Isobaren (Linien gleichen Luftdrucks) werden als Geraden gesehen und laufen parallel zu den Isothermen (Linien gleicher Temperatur). In einem solchen linearen Modell gibt es keine Turbulenzen, doch Wetter ist ein reines Turbulenzphänomen. Nichtsdestotrotz wurde das Modell für ein 15 x 18 Gitter berechnet und ENIAC musste dazu über 200.000 Rechenoperationen ausführen. Jule G. Charney/Ragnar Fjørtoft/John von Neumann: »Numerical Integration of the Barotropic Vorticity Equation«, in: *Tellus* 2 (1950), S. 237–254; Kristine C. Harper: *Weather by the Numbers. The Genesis of Modern Meteorology*, Cambridge 2008.

1-Lagen-Modell in der Regel ungefähr so gut ist wie ein erfahrener ›subjektiver‹ Wettersachverständiger, [...] während das 3-Lagen-Modell wesentlich besser ist.«²⁰

Doch auch Charneys und von Neumanns barotropes Simulationsmodell wurde nur für vier 24-Stunden- und zwei 12-Stunden-Berechnungen der Luftdruckveränderungen für ein 15 x 18 Gitter mit einem Gitterabstand von 736 km berechnet. Diese Rechnungen – und 1956 sollte Norman Phillips mit einem ebenso einfachen, ersten computerbasierten Klimamodell folgen²¹ – waren zwar im mathematischen Sinne numerische Simulationen von Differentialgleichungen, aber für Simulationen im heutigen Sinne fehlte noch etwas Entscheidendes. Deshalb sprachen sowohl Charney als auch Phillips nur von ›numerical integrations‹ oder ›numerical experiments‹.

4. Von numerischen Experimenten zum Simulieren

Der Begriff ›Simulation‹ setzt sich in den Titeln und Untertiteln naturwissenschaftlicher Artikel erst in den 1960er Jahren durch. Auch wenn eine detaillierte Verbreitungsgeschichte des Simulationsbegriffs bislang fehlt, so erfolgt der Sprachübergang in der Begriffsverwendung vom ›Rechnen‹ zum ›Simulieren‹ in der Fachliteratur erst zu einem Zeitpunkt, als Simulationsmodelle nicht mehr als Rechenmodelle für einige wenige Berechnungen dienen, sondern als ›in-silico‹ Experimentalsysteme.²² Ein markantes Beispiel für den Übergang zum Simulieren ist ein Klimamodell der Universität von Kalifornien in Los Angeles (UCLA), das Anfang der 1960er Jahre von Yale Mintz und Akio Arakawa entwickelt wurde. Das Mintz-Arakawa-Modell war als globales 2-Ebenen-Modell, basierend auf den hydro- wie thermodynamischen Gleichungen mit einer realistischen Land-Ozean-Verteilung, das ambitionierteste Klimamodell seiner Zeit. Was die numerischen Experimente von Mintz und Arakawa so besonders machte, war dass sie mit ihrem Modell ›spielten‹. Sie veränderten willkürlich die Randbedingungen und untersuchten, wie sich das Modell verhält, indem sie eine Vielzahl numerischer Computerexperimente durchführten. Nicht zufällig hieß der Untertitel ihrer entsprechenden Publikation *An experiment in climate simulation*.²³ Ob hier der Begriff Simulation tatsächlich zum ersten Mal in der meteorologischen Literatur auftritt, steht zu klären, aber diese Art der Modellverwendung zeigt den Übergang von der Jahrhunderte alten Rechen-tradition zur Simulation als Computerexperiment.

Die unabdingbaren technischen Voraussetzungen für diesen Übergang waren leistungsstarke Computer und höhere Programmiersprachen. Das Mintz-Arakawa-Modell war in *Formula Transformator* (FORTRAN) geschrieben und wurde auf einem IBM 7090 Computer berechnet, der immerhin schon 229.000 Additionen pro Sekunde ausführen konnte – also fast fünfzig Mal schneller als ENIAC war.²⁴ Der IBM 7090 Computer war das Nachfolgemodell der IBM 709 und 704 Computer; und letzterer war der erste Computer, der 1957 mit der ersten Programmiersprache, eben FORTRAN, ausgeliefert worden war.²⁵

20 John von Neumann: »Entwicklung und Ausnutzung neuerer mathematischer Maschinen« (1954), in: ders.: *Collected Works*, Bd. 5: *Design of Computers, Theory of Automata and Numerical Analysis*, Oxford 1963, S. 248–268, hier S. 266. Ein 1-Lagen-Modell berechnet das Wetter nur für eine horizontale Ebene, ein 3-Lagen-Modell für drei horizontale Ebenen.

21 Norman Phillips: »The general circulation of the atmosphere: A numerical experiment«, in: *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society* 82 (1956), S. 132–164.

22 ›In-silico‹ bezieht sich auf die Silizium-basierte Computertechnologie und der Begriff Experimentalsysteme auf Hans-Jörg Rheinbergers Konzept wissenschaftlicher Experimentierumgebungen. Hans-Jörg Rheinberger: *Experimentalsysteme und epistemische Dinge. Eine Geschichte der Proteinsynthese im Reagenzglas*, Göttingen 2002; Gabriele Gramelsberger: *Computerexperimente. Zum Wandel der Wissenschaft im Zeitalter des Computers*, Bielefeld 2010.

23 Yale Mintz: »Very long-term global integration of the primitive equations of atmospheric motion: An experiment in climate simulation«, in: *WMO Technical Notes* 66 (1965), S. 141–167.

24 Eine historische Randnotiz: Der IBM 7090 Computer der Universität von Kalifornien in Los Angeles (UCLA) war einer der vier Rechner des ARPANet, also des Vorläufers des heutigen Internets.

25 Obwohl damals auch andere Programmiersprachen entwickelt wurden, beispielsweise MATH-MATIC von Grace Hopper für UNIVAC, setzte sich FORTRAN in den Natur- und Ingenieurwissenschaften durch und wird bis heute für zahlreiche Simulationsmodelle verwendet. Bruce Rosenblatt: »The Successors to FORTRAN – Why Does FORTRAN Survive?«, in: *IEEE Annals of the History of Computing* 6 (1984) 1, S. 39–40.

FORTRAN wurde von John Backus entwickelt, mit dem Ziel »to ease the programmer's job. [...] Once asked, the answer to this question had to be: Let him use mathematical notations.«²⁶ Die Programmiersprache erlaubte es, die bis dahin per Hand codierten, maschinenauglichen Befehle mathematischer Berechnungen bequem in den gewohnten mathematischen Notationen darzustellen. Und diese Bequemlichkeit, gepaart mit immer schnelleren Computern, zahlte sich aus. Mit Vannevar Bush gesprochen: »There is a great deal more arithmetic and better arithmetic in the world than there used to be.«²⁷

5. Epistemische Kultur des Prospektiven

Heute ist ein Großteil des mathematisierten Wissens der Natur- und Technikwissenschaften in den Algorithmen und Programmen der Simulationsmodelle notiert. Da es sich bei diesen Codierungen wie bei den Differentialgleichungen um ›operative Schriften‹ handelt, beschreiben sie nicht nur ›Etwas‹, sondern führen es auch aus.²⁸ Bereits 1904 bemerkte Vilhelm Bjerknes für sein konzeptuelles Simulationsmodell des Wetters: »Wenn es sich so verhält, wie jeder naturwissenschaftlich denkende Mann glaubt, daß sich die späteren atmosphärischen Zustände gesetzmäßig aus den vorhergehenden entwickeln, so erkennt man, daß die notwendigen und hinreichenden Bedingungen für eine rationelle Lösung des Prognoseproblems der Meteorologie die folgenden sind: 1. Man muß mit hinreichender Genauigkeit den Zustand der Atmosphäre zu einer gewissen Zeit kennen. 2. Man muß mit hinreichender Genauigkeit die Gesetze kennen, nach denen sich der eine atmosphärische Zustand aus dem anderen entwickelt.«²⁹ Oder in den Worten von Henri Poincaré: »Wir [Mathematiker] sind daran gewöhnt zu extrapolieren; das ist ein Mittel, die Zukunft aus der Vergangenheit und aus der Gegenwart abzuleiten.«³⁰

Mit den Simulationsmodellen eröffnet sich ab den 1960er Jahren – und verstärkt ab den 1990er Jahren – eine epistemische Kultur des Prospektiven, die seit der antiken Prophetie ihresgleichen sucht.³¹ Doch das Prospektive muss nicht immer als ›Voraussicht‹ oder Prospektion zur rationalen Erkundung von Zukünften verstanden werden.³² Es gibt noch eine weitere Interpretation des Prospektiven als ›Aussicht‹ im Sinne von ›der Möglichkeit nach‹, also der Alteration. Prospektion wie Alteration sind die ontologisch differenten Einsatzbereiche der Simulation, wobei die Alteration die Lebenswelt mit immer neuen, zuvor nie dagewesenen Entitäten anreichert: neuen Molekülen, neuen Materialien und sogar neuen Mikroorganismen. Zwar lassen sich diese neuen Entitäten auch rein experimentell in den Laboren synthetisieren, doch die Simulation wird der Synthese im Labor immer häufiger vorangestellt. Der Grund ist einfach: Komplexe Moleküle wie beispielsweise das Molekül des Hochtemperatursupraleiters YBa₂Cu₃O_{7-x} würden selbst unter einschränkenden Vorgaben den experimentellen Durchlauf von 1012 präparativen Ansätzen

26 John Backus: »Programming in America in the 1950s. Some Personal Impressions«, in: N. Metropolis/J. Howlett/Gian-Carlo Rotta (Hg.): *A History of Computing in the Twentieth Century*, New York 1980, S. 125–136, hier S. 131. Die Automatisierung und Mechanisierung der Programmierung hatte mit Compilern – Programmen, die die Instruktionsbefehle in Maschinencodes übersetzen – Mitte der 1950er Jahre begonnen. So entwickelten Halcomb Laning und Neal Zierler 1954 am Massachusetts Institute for Technology den ersten algebraischen Compiler für WHIRLWIND.

27 Vannevar Bush: »Instrumental Analysis«, in: *Bulletin of the American Mathematical Society* 42 (1936), S. 649–669, hier S. 652. Vannevar Bush hatte am MIT Boston zwischen 1928 und 1932 einen der größten Analogcomputer, den Differential Analyzer, zur Berechnung einfacher Differentialgleichungen gebaut.

28 Sybille Krämer: *Symbolische Maschinen. Die Geschichte der Formalisierung in historischem Abriss*, Darmstadt 1988; Gabriele Gramelsberger: »Inter textualität und Projektionspotenzial von Klimamodellen«, in: Daniel Weidner/Stefan Willer (Hg.): *Prophetie und Prognostik: Verfügungen über Zukunft in Wissenschaften, Religionen und Künsten*, Stuttgart 2013, S. 209–225.

29 Bjerknes: »Das Problem der Wettervorhersage« (Anm. 16), hier S. 1.

30 Henri Poincaré: *Wissenschaft und Methode* (1908), Leipzig 1914, S. 17.

31 Weidner/Willer (Hg.): *Prophetie und Prognostik* (Anm. 28).

32 Diese Art des Prospektiven – Prognose, Projektion, Prospektion, Prädiktion oder Vorhersage genannt – ist mathematisch gesehen eine numerische Extrapolation des Zustandes eines Systems in der Zeit. Ob die Extrapolation dabei in die Zukunft oder Vergangenheit führt, ist mathematisch gesehen (nahezu) unerheblich. Paleoklima wäre ein Beispiel für letzteres, auch Retrospektion, Hindcast, Backtesting oder eben Rückschau in der wissenschaftlichen Literatur genannt.

im Labor erfordern.³³ Unter heutigen Bedingungen automatisierter Hochdurchsatzverfahren mit etwa 105 Proben pro Tag würde dies immer noch weit über 27.000 Jahre experimentelle Forschung erfordern. »Dies erklärt zwanglos, dass [rein empirisch] neu entdeckte Verbindungen und unkonventionelle Strukturen häufig als ›zufällig‹ oder ›überraschend‹ wahrgenommen werden, was ja nichts anderes bedeutet, als dass man sie (noch) nicht schlüssig in einen [theoretischen Vorhersage-] Kontext einordnen kann.«³⁴ Vor diesem Hintergrund und angesichts des Umstandes, dass Simulationsmodelle die einzigen Modelle sind, die nicht nur Zeitlichkeit beschreiben, sondern in der Zeit ausgeführt werden,³⁵ ist dafür zu plädieren, ›Simulationsmodelle‹ als eigenständige Modellklasse zu berücksichtigen, statt sie, wie in der wissenschaftsphilosophischen Literatur üblich, unter mathematische Modelle zu subsummieren.³⁶ Simulationsmodelle sind mehr als die zugrundeliegenden mathematischen Modelle, da erst die Konkretisierung und Performanz der Simulation die inhärenten ontologischen Möglichkeiten entfaltet. Nur deshalb ist die epistemische Kultur des Prospektiven denkbar, ob als Prospektion oder Alteration. Beide Ausprägungen gehen dabei über unsere originären Wahrnehmungsmöglichkeiten hinaus. Simulationsmodelle eröffnen als operative Schriften daher nicht nur Einblicke in neue Welten, sondern sie schreiben sie über entsprechende computergesteuerte Technologien wie CNC-Maschinen oder 3D-Drucker – im wortwörtlichen Sinne – in die Welt ein.

33 Das Beispiel des Hochtemperaturleiters ist dem Artikel von Martin Jansen entnommen. Martin Jansen: »Ein Konzept zur Syntheseplanung in der Festkörperchemie«, in: *Angewandte Chemie* 114 (2002), S. 3896–3917, hier S. 3912. »Sich ausschließlich auf die Anwendung von Hochdurchsatz-Methoden zu verlassen, ist offensichtlich nicht der effizienteste Ansatz für die Exploration stofflicher Systeme. Der jeweils abzuarbeitende Parameterraum muss sinnvoll eingeschränkt werden. Dies kann auf der Basis von Intuition und Erfahrung erfolgen oder mit Hilfe theoretischer Methoden vorgenommen werden.« Ebd., S. 3912.

34 Ebd.

35 »I maintain that the most significant feature of a simulation is that it allows scientists to imitate one process by another process [...] carried out by a computer.« Stephan Hartmann: »The World as a Process«, in: Rainer Hegselmann/Ulrich Müller/Klaus Troitzsch (Hg.): *Modelling and Simulation in the Social Sciences from the Philosophy of Science Point of View*, Dordrecht 1996, S. 77–100, hier S. 77.

36 Stanford Encyclopedia of Philosophy: *Models in Science*, Februar 2006, URL: <http://plato.stanford.edu/entries/models-science/>.

Klimatologie als Anthropologie. Modellierung von Natur im späten 18. Jahrhundert

Hanna Hamel

Klimamodelle sind kulturelle Modelle von und für Natur. Sie sind damit auch Modelle für das menschliche Selbstverständnis, das sich in einem Verhältnis zu ›Natur‹ entwirft.¹ Die kulturbeeinflussende, wenn nicht sogar determinierende Kraft des Klimas als – zunächst – regional stabiler Umwelteinfluss ist seit der Antike Gegenstand naturphilosophischer Überlegungen. Während die Aufmerksamkeit der Hippokrates zugeschriebenen Schrift *Περὶ ἀέρων ὑδάτων τόπων* (*Über die Umwelt*)² noch in erster Linie dem Verhältnis zwischen spezifischen Krankheiten und lokalen Natureinflüssen gilt, verhilft bereits Aristoteles dem klimattheoretischen Erklärungsmuster zu einer »wirkungsmächtigen Vereinfachung«³: Er teilt die Erde in drei Zonen ein, die warme, die kalte und die gemäßigte, denen er einen je eigenen Typus von Bevölkerung mit jeweils angemessener Staatsform zuschreibt. Das Argumentationsziel einer »politische[n] und kulturelle[n] Hegemonie«⁴ des klimatisch gemäßigten Griechenland ist dabei augenfällig. So sehr sich die Klimatheorie in ihrem historischen Ausgangspunkt⁵ zur Unterstützung vereinfachender und deterministischer Positionen zu eignen scheint, so komplex verläuft ihre Wiederaufnahme bzw. ihre philosophische und anthropologische Weiterentwicklung im 18. Jahrhundert.⁶ Klima wird von einem lokal-statischen zu einem zeitlich-dynamischen Prinzip.⁷ Der Widerspruch zwischen dem Bemühen um ein stabiles Erklärungsmuster regionalspezifischer Natureinflüsse mit erwartbarem, prägenden Effekt auf den Menschen und der Vorstellung des Klimas als eines nur noch »akzidentiell[en]«⁸ Faktors für die Lebensformen des weitgehend freien Kulturwesens Mensch tritt dabei deutlich hervor. Es handelt sich um einen grundlegenden Widerspruch im Klimabegriff selbst: Einerseits soll ›Klima‹ die kontingenten Wetterphänomene wie auch die physischen und kulturellen Unterschiede zwischen den Bevölkerungs-

1 Vgl. zu Natur als »Relationsbegriff« und dessen Geschichte: Hartmut Böhme: »Natürlich/Natur«, in: Karlheinz Barck u. a. (Hg.): *Ästhetische Grundbegriffe. Historisches Wörterbuch in sieben Bänden*, Bd. 7, Stuttgart/Weimar 2002/2010, S. 432–498, hier S. 433.

2 Hippokrates: *Über die Umwelt*, hg. u. übers. v. Hans Diller, Berlin 1970.

3 Wolfgang Proß: »Kommentar«, in: Johann Gottfried Herder: *Werke*, Bd. III/2: *Ideen zur Philosophie der Geschichte der Menschheit*, hg. v. Wolfgang Proß, München/Wien 2002, S. 399.

4 Ebd., S. 400.

5 Vgl. dazu Darstellungen der Geschichte der Klimatheorie, z. B. Lucian Boia: *L'homme face au climat. L'imaginaire de la pluie et du beau temps*, Paris 2004 und James Rodger Fleming: *Historical Perspectives on Climate Change*, New York/Oxford 1998.

6 Zur Renaissance der antiken Klimatheorie in Frankreich und Deutschland im 18. Jahrhundert vgl. Gonthier-Louis Fink: »Von Winckelmann bis Herder. Die deutsche Klimatheorie in europäischer Perspektive«, in: Gerhard Sauder (Hg.): *Johann Gottfried Herder 1744–1803*, Hamburg 1987, S. 156–176.

7 Vgl. dazu: Eva Horn: *Zukunft als Katastrophe*, Frankfurt a. M. 2014, S. 110–180, insbes. S. 119 ff.; dies.: »Klimatologie um 1800. Zur Ideengeschichte des Anthropozän«, in: *Zeitschrift für Kulturwissenschaften* (2016) 1, S. 87–102.

8 Proß: »Kommentar« (Anm. 3), S. 407.

gruppen hin auf einen stabilen bzw. stereotypen Rahmen des Erwartbaren ordnen. Andererseits muss im Kontext eines aufklärerischen Vernunft- und Kulturkonzepts der determinierende Einfluss äußerer Natur zumindest so weit beschränkt – und damit umgeschrieben – werden, dass zugleich die Möglichkeit menschlicher Freiheit und Gleichheit behauptet werden kann. Klimatische Natur erweist sich – nicht nur als theoretisches Konzept, wie der ökologische Diskurs uns heute zeigt – als kulturell formbar. Umgekehrt lassen sich kulturelle Formen nicht mehr allein aus einem vorgängigen klimatischen Einfluss bzw. einer stabilen Naturanlage erklären. Ausgehend von dieser inneren Spannung entwickelt auch Johann Gottfried Herder ein Konzept von Klima, dem er im 1785 publizierten zweiten Teil seines Hauptwerks *Ideen zur Philosophie der Geschichte der Menschheit* ein eigenes Buch widmet. Klima ist hier nicht eine Naturerscheinung unter anderen, sondern steht, wie im Folgenden zu zeigen sein wird, seinerseits modellhaft für Herders gesamtes Verständnis des Mensch-Natur-Verhältnisses. Es unterscheidet sich grundsätzlich von demjenigen seines ehemaligen Lehrers und späteren Antipoden Immanuel Kant. Im Folgenden wird daher Herders wechselseitiger Entwurf von Mensch und Natur in ein Verhältnis zur Klimakonzeption Kants gesetzt, wie dieser sie im Kontext seiner naturphilosophischen Überlegungen entwickelt. Dabei wird es nicht darum gehen, eine der beiden Positionen gegen die andere auszuspielen,⁹ sondern darum, die Denk- und Darstellbarkeit klimatischer Natur – noch vor ihrer Repräsentation in Diagrammen oder dem Versuch der Klimaprognose¹⁰ – auf den Grundlagen von zwei verschiedenen theoretischen Positionen zu rekonstruieren. Ein Hauptaugenmerk gilt der Frage, ob und inwiefern bei der Darstellung klimatischer Natur für beide Autoren Modelle eine Rolle spielen, und zwar in zwei Hinsichten: Erstens gilt die Aufmerksamkeit der Verwendung von Modellen, die rückwirkend als solche identifiziert werden können, von den Autoren aber nicht unbedingt als »Modell« bezeichnet wurden; zweitens der Verbindung zwischen den Darstellungsweisen klimatischer Natur in den Texten und ihrer Reflexion auf den Einsatz von Modellen, die sowohl bei Kant als auch bei Herder in der expliziten Beschäftigung mit der Funktion der Analogie zu finden ist.

Kant: Natur auf Distanz

Kant räumt dem Klima in seiner Philosophie nur einen randständigen Platz ein. Es ist Thema in seinen »auf Weltkenntnis abzweckenden«¹¹ Vorlesungen zur Physischen Geographie, die Herder bekanntermaßen verfolgt hat,¹² wie auch in den kurzen Texten »Bestimmung des Begriffs einer Menschenrasse« (1785) und »Über den Gebrauch teleologischer Prinzipien in der Philosophie« (1788). In den Ausführungen Kants zum Klima wird sein Interesse an der Einteilung der Erde in Zonen und damit der implizite Bezug auf klimattheoretische Vorgängerentwürfe wie diejenigen von Aristoteles, Hippokrates und

9 Hans Adler fasst den Grundwiderspruch der Positionen schlicht als eine »Unverträglichkeit der Axiome«: »Was für Herder das A Priori ist, ist für Kant ein A Posteriori. Was für Kant das A Priori ist, ist für Herder ein Reflexionsprodukt, das mit der Realität der Welt und des Menschen nichts zu tun hat.« (Hans Adler: »Metaschema und Aisthesis. Herders Gegenentwurf zu Kant«, in: Ulrich Gaier/Ralf Simon (Hg.): *Zwischen Bild und Begriff. Kant und Herder zum Schema*, München 2010, S. 119–154, hier S. 123 f.) Dennoch erscheint es lohnenswert, zur wechselseitigen Erhellung beide Positionen oder Perspektiven mit ihren jeweiligen Stärken und Schwächen gegeneinanderzuhalten.

10 Vgl. zur Repräsentation des Klimas und seiner Entwicklung in Modellen bis heute u. a.: Gabriele Gramelsberger: »Generating Evidence in Simulation Runs: Interlinking With Models for Predicting Weather and Climate Change«, in: *Simulation & Gaming* 42 (2011) 2, S. 212–224; dies.: »What do numerical (climate) models really represent?«, in: *Studies of History and Philosophy of Science* 42 (2011), S. 296–302, sowie den Beitrag der Autorin in dieser Ausgabe. Im Folgenden wird es nicht um die Schwierigkeiten spezifischer naturwissenschaftlicher Modellierungsvorgänge gehen, sondern um zwei geradezu archetypische Weisen des Einsatzes und der Reflexion von Modellen im 18. Jahrhundert, also noch vor dem Beginn einer wissenschaftstheoretischen Debatte um Bedeutung und Funktion des Modells (vgl. zur Begriffs- und Problemgeschichte des Modells Stephan Hartmann: »Modell«, in: Hans-Jörg Sandkühler (Hg.): *Enzyklopädie Philosophie*, Bd. 2, Hamburg 2010, S. 1627–1632).

11 Immanuel Kant: *Anthropologie in pragmatischer Hinsicht*, in: *Werkausgabe*, Bd. XII: *Schriften zur Anthropologie, Geschichtsphilosophie, Politik und Pädagogik* 2, hg. v. Wilhelm Weischedel, Frankfurt a. M. 2013, S. 397–690, hier S. 402.

12 Vgl. Hans Dietrich Irmscher: »Die geschichtsphilosophische Kontroverse zwischen Kant und Herder«, in: Bernhard Gajek (Hg.): *Hamann – Kant – Herder. Acta des vierten Internationalen Hamann-Kolloquiums im Herder-Institut zu Marburg/Lahn 1985*, Frankfurt a. M. 1987, S. 111–192, hier S. 116 f.

Montesquieu deutlich,¹³ wobei es sich hierbei zugleich auch um den Stand der »zeitgenössischen geographischen Wissenschaften«¹⁴ handelt. Dass dabei manche Positionen aus den erst postum publizierten Vorlesungen nicht recht zum Anspruch der kritischen Philosophie passen wollen, erscheint wenig erstaunlich.¹⁵ Interessanter sind hingegen die späteren klimatheoretischen Überlegungen aus der Zeit der *Kritiken*: In »Über den Gebrauch teleologischer Prinzipien« verteidigt Kant seinen Begriff der »Rasse«, den er in »Bestimmung des Begriffs einer Menschenrasse« aufgestellt hat, gegen die Kritik Georg Forsters. Anders als Forster führt Kant die vier von ihm beschriebenen »Rassen« nicht auf zwei unterschiedliche Ursprungsstämme, sondern auf eine »im ersten Menschenpaare als vereinigt angenommen[e]« Anlage zurück.¹⁶ Die Rassenunterschiede hätten sich in der »ältesten Zeit«¹⁷ aus einem gemeinsamen »Stamme«¹⁸ gebildet, der »die ganze ursprüngliche Anlage für alle künftigen Abartungen ungeschieden [...] zu allen Klimaten (in Potentia)« in sich getragen hat, so »daß sich derjenige Keim, der sie demjenigen Erdstriche, in welchem sie oder ihre frühe[n] Nachkommen geraten würden, angemessen machen würde.«¹⁹ Diese gemeinsame Anlage und die Ausbildung von Rassen folgt dem Prinzip der Zweckmäßigkeit, weil sie die Anpassung an gegebene Klimata erlaubt. Nachdem eine Rasse einmal in einem Himmelsstrich heimisch geworden ist, sei keine erneute grundlegende Anpassung an andere klimatische Zonen mehr vorgesehen. Zwar »verstattet« die Natur auch »Zusammenschmelzungen« der Rassen, »weil dadurch das Geschöpf für mehrere Klimate tauglich wird«, allerdings ohne dabei »neue Formen dieser Art« (gemeint sind Rassen) hervorzubringen.²⁰ Kants Idee besteht darin, »die größte Mannigfaltigkeit in der Zeugung mit der größten Einheit der Abstammung von der Vernunft« zu vereinigen.²¹ Innerhalb einer zweckmäßigen Natur war die epigenetische Möglichkeit zur Ausprägung aller vier Rassen grundsätzlich vorhanden. Die Rassenbildung ist nicht von äußeren, im wesentlichen auf »Luftinflüsse«²² zurückgeführten klimatischen Einwirkungen verursacht, diese kehren nur die gegebenen, zweckmäßigen Eigenschaften des Menschen hervor. Stabilität gewinnt Klima als Erklärungsprinzip für die Unterschiede im physischen Erscheinungsbild der Menschen durch seine lokale Statik – darüber hinaus geht es bei Kant mit der hierarchischen Beurteilung historisch weitgehend gleichbleibender, stereotyper Rassen einher. Die Bedeutung des Klimas wird dabei deutlich zurückgenommen, weil seine nachhaltige Wirkung sich nicht stetig im zeitlichen Verlauf aktualisiert, sondern nur in einem vergangenen Ereignis äußert. Klima wird bei Kant damit einerseits räumlich als lokalisierbares, äußerliches Phänomen, andererseits historisch als lang vergangener Einflussfaktor distanziert. Kaum zu bestreitende, im weitesten Sinne »klimatische« Natureinflüsse wie das leicht zu beobachtende Bräunen der Haut durch die Sonneneinstrahlung werden von Kant als Oberflächenphänomene abgetan. Sie behinderten nur das Vordringen der Erkenntnis zu den grundsätzlichen (»angeborenen«) Strukturen: Es handle sich um eine »zufällige [...] Schminke« der Sonne, von der man abstrahieren müsse, wenn man die Rassen identifizieren möchte.²³ Die klaren Grenzen wie auch die Einheit in der Abstammung folgen einem ökonomischen Gebot in der Hypothesenbildung: Sie haben den »Vorzug der Ersparnis verschiedener

13 Vgl. Stephan Günzel: »Geographie der Aufklärung. Klimapolitik von Montesquieu zu Kant. Teil 2«, in: *Aufklärung und Kritik* 23 (2005) 1, S. 25–47, hier S. 28.

14 Falk Wunderlich: »Klima«, in: Marcus Willaschek u. a. (Hg.): *Kant Lexikon*, Bd. 2, Berlin/Boston 2015, S. 1253.

15 Günzel: »Geographie der Aufklärung« (Anm. 13), S. 31. Günzel verweist hier unter anderem auf die Übernahme einer Ideologie der gemäßigten Zone in den Vorlesungen Kants.

16 Immanuel Kant: »Über den Gebrauch teleologischer Prinzipien in der Philosophie«, in: *Werkausgabe*, Bd. IX, hg. v. Wilhelm Weischedel, Frankfurt a. M. 1991, S. 139–170, hier S. 156.

17 Immanuel Kant: »Bestimmung des Begriffs einer Menschenrasse«, in: *Werkausgabe*, Bd. XI: *Schriften zur Anthropologie, Geschichtsphilosophie, Politik und Pädagogik* 1, hg. v. Wilhelm Weischedel, Frankfurt a. M. 1977, S. 65–82, hier S. 82.

18 Kant: »Über den Gebrauch teleologischer Prinzipien« (Anm. 16), S. 147.

19 Ebd., S. 156.

20 Ebd., S. 148.

21 Ebd., S. 145.

22 Ebd., S. 161.

23 Ebd., S. 155.

Lokalschöpfungen«. ²⁴ Die Form des theoretischen Erklärungsversuchs entspricht damit dem gestaltenden Prinzip einer Natur, die selbst »nicht verschwenderisch« ²⁵ ist – oder umgekehrt: Natur ist nur im Hinblick auf die von Kant formulierten Erkenntnisprinzipien darstellbar. Und das heißt letztlich, dass sie nur in einem teleologischen Gesamtzusammenhang begriffen werden kann, der die vielfältigen Varianten der Empirie auf überschaubare, stabile Grundstrukturen zurückführt. Anschaulich wird das auch in einem Beispiel, das Kant am Beginn von »Idee zu einer allgemeinen Geschichte in weltbürgerlicher Absicht« gibt, in dem es ihm um die Darstellung einer »stetig fortgehenden obgleich langsamen Entwicklung der ursprünglichen Anlagen« der »Gattung Mensch« geht, trotz der Regellosigkeit, die sich an der Individualität einzelner Biografien scheinbar zeigt: ²⁶

So scheinen die Ehen, die daher kommenden Geburten, und das Sterben, da der freie Wille der Menschen auf sie so großen Einfluß hat, keiner Regel unterworfen zu sein, nach welcher man die Zahl derselben zum voraus durch Rechnung bestimmen könne; und doch beweisen die jährlichen Tafeln derselben in großen Ländern, daß sie eben so wohl nach beständigen Naturgesetzen geschehen, als die so unbeständigen Witterungen, deren Eräugnis man einzeln nicht vorher bestimmen kann, die aber im ganzen nicht ermangeln, den Wachstum der Pflanzen, den Lauf der Ströme, und andere Naturanstalten in einem gleichförmigen ununterbrochenen Gange zu erhalten. ²⁷

In diesem Zitat verspricht die »Tafel« – die in den *Kritiken* auch zur schematischen Übersicht über die menschlichen Vermögen oder die Kategorien eingesetzt wird – Überblick über die Vielfalt unübersichtlicher und überraschender sozialer und natürlicher Ereignisse. Diese erweisen sich für Kant in ihrer Summe als gesetzmäßig und lassen sich als langfristig zweckmäßig betrachten. Menschliche Beziehungen, Leben und Sterben sind auf lange Sicht ebenso stabil und fruchtbringend wie die scheinbar unbeständigen Witterungen.

Neben dem Bezug auf modellhafte Tafeln, also auf die visualisierenden Anordnungen von Einzelereignissen bzw. Begriffen in einem überschaubaren Verhältnis zueinander, gibt es im Werk Kants auch Passagen, die explizit als grundlegendes, theoretisches »Modelldenken« gedeutet wurden ²⁸ – und die ihrerseits in einem engen Verhältnis zu seiner Naturphilosophie stehen. ²⁹ In der *Kritik der reinen Vernunft* erläutert Kant das »transzendente Schema« als vermittelndes Verfahren der Einbildungskraft zwischen Begriff (Verstandesbegriff) und Bild (Erscheinung), dem er in der *Kritik der Urteilskraft* den Vorgang der »symbolischen Hypotypose« zur Seite stellt – die *analogisierende* »Unterlegung« eines Begriffs, »dem keine sinnliche Anschauung angemessen sein kann«, mit einer sinnlichen Anschauung. ³⁰ Die Begriffe, denen keine Anschauung entsprechen kann, sind Vernunftbegriffe. Die Darstellung trotz fehlender anschaulicher Entsprechung, die in dem der Rhetorik entstammenden Begriff der Hypotypose gefasst werden soll, funktioniert »vermitteltst einer Analogie (zu welcher man sich auch empirischer Anschauungen bedient), in welcher die Urteilskraft ein doppeltes Geschäft verrichtet, erstlich den Begriff auf den Gegenstand einer

24 Ebd., S. 151.

25 Immanuel Kant: »Idee zu einer allgemeinen Geschichte in weltbürgerlicher Absicht«, in: *Werkausgabe*, Bd. XI (Anm. 17), S. 33–50, hier S. 36.

26 Ebd., S. 33.

27 Ebd., S. 33 f.

28 Vgl. Friedrich Kaulbach: »Schema, Bild und Modell nach den Voraussetzungen des Kantischen Denkens«, in: Gerold Prauss (Hg.): *Kant. Zur Deutung seiner Theorie von Erkennen und Handeln*, Köln 1973, S. 105–129. Auch im *Historischen Wörterbuch für Philosophie* betont Kaulbach, dass bei Kant im Begriff »Symbol« schon »dasjenige Prinzip angesprochen« sei, was auch im naturwissenschaftlichen Kontext unter »Modell« verstanden werde, vgl.: »Modell«, in: Joachim Ritter/Karlfried Gründer/Gottfried Gabriel (Hg.): *Historisches Wörterbuch der Philosophie*, Bd. 6, Basel/Stuttgart 1984, Sp. 45–47, hier Sp. 46.

29 Vgl. zu Schema und Hypotypose in Hinblick auf die Darstellung von Natur Michael Bies: *Im Grunde ein Bild. Die Darstellung der Naturforschung bei Kant, Goethe und Alexander von Humboldt*, Göttingen 2012, S. 35–121.

30 Immanuel Kant: *Kritik der Urteilskraft*, in: *Werkausgabe*, Bd. X, hg. v. Wilhelm Weischedel, Frankfurt a. M. 1974, hier B 255. (Im Folgenden zitiert als KU mit Angabe der Auflage und der originalen Paginierung.)

sinnlichen Anschauung, und dann zweitens die bloße *Regel der Reflexion* über jene Anschauung auf einen ganz andern Gegenstand, von dem der erstere nur das Symbol ist, anzuwenden.«³¹

Das lässt sich anhand der von Kant gewählten Beispiele illustrieren: Er verbindet den Gegenstand des »monarchischen Staat[es]« symbolisch mit einem »beseelten Körper«, den »despotischen Staat« hingegen mit einer »Handmühle« – durch die »indirekte Darstellung« veranschaulicht die Funktionsweise von Organismus bzw. Handmühle die Funktionsweise der beiden Staatsformen. Rodolphe Gasché beschreibt diese symbolische »Übertragung« von »Formen bestimmter Reflexion« als »ohne Diskursivität bedeutungsvoll«; sie sei ohne »Erkenntnis«. ³² Kant selbst geht mit dem Begriff zwar vorsichtig um, wenn er zur Disposition stellt, ob »eine bloße Vorstellungsart schon Erkenntnis« genannt werden darf, spricht aber trotzdem von »symbolischer« Erkenntnis. ³³ Die symbolische Erkenntnis leistet – und das führt zu einem wesentlichen Gedanken für die Vermittlung und wechselseitige Bestimmung von Subjekt und »freier Natur«³⁴ bei Kant – die für die *Kritik der Urteilskraft* zentrale Zusammenführung von Natur und Freiheit. ³⁵ Kant nutzt das analogische Verfahren, um das (Natur-)Schöne zum »Symbol des Sittlichguten«³⁶ zu erklären und damit die Selbstgesetzgebung der Vernunft und schließlich die positive Entsprechung der »innern Möglichkeit im Subjekt« mit »der äußern Möglichkeit einer damit übereinstimmenden Natur« im System der *Kritiken* zu behaupten. ³⁷ Nicht die determinierte, restlos erklärbare, sondern die zweckmäßig organisierte Natur kann modellhaft auf die subjektiven Vermögen bezogen werden. So erst können bei Kant, wie Gasché mit Hinweis auf die Übersetzung von »Hypotypose« als »Tableau« erläutert, »Sinnlichkeit, Verstand und Vernunft miteinander in Beziehung« gebracht und »das Leben des Gemüts wie in einem Tableau als einheitliche Gesamtansicht dar[ge]stellt« werden. ³⁸ Das Subjekt erfährt sich selbst nur dann ohne Widerspruch als frei, wenn auch die Natur frei ist. Friedrich Kaulbach fasst Kants Gedanken zusammen: »Die Vernunft lässt die Natur frei, die der Verstand gefesselt hat; aber nur deshalb, um selbst frei für die eigene Ganzheit und Einheit, für das ›System‹ zu sein. Indem sie dem ›System‹ der Natur, welches den Charakter der organischen Ganzheit hat, das Wort spricht, stellt sie sich selbst in ihrem eigenen Vernunftsystem, in ihrem Zusammenhang und ihrer Freiheit vom Zufall her.«³⁹ Als einen wesentlichen Aspekt dieser Freiheit deutet Kaulbach die Möglichkeit des Modellentwerfens selbst, bei dem nicht »Fesselung« und »Fügsamkeit« der Natur erwartet, sondern nur auf das »Entgegenkommen von Seiten der Natur« gehofft werden kann. ⁴⁰ Die Schwierigkeit der Vorstellung einer entgegenkommenden Natur ist allerdings, dass Natur überhaupt nicht außerhalb von kulturellen Modellen zugänglich ist – sie ist immer schon »selber Bild«⁴¹. Das Entgegenkommen der Natur ist damit ein Entgegenkommen bestimmter Bilder von Natur, die ihrerseits kulturell verfasst und auf ein bestimmtes Repertoire begrenzt sind. Wie Horst Bredekamp anhand von Modellen in der Kunst erläutert, können diese, neben ihrem anleitenden und ermutigenden Verhältnis, auch in »Konkurrenz gegenüber dem zu Realisierenden« treten, oder sogar

31 KU B 256, Hervorheb. d. Verf.

32 Rodolphe Gasché: »Überlegungen zum Begriff der Hypotypose bei Kant«, in: Christiaan L. Hart Nibbrig (Hg.): *Was heißt ›Darstellen‹?*, Frankfurt a. M. 1996, S. 152–174, hier S. 167.

33 KU B 257.

34 Kaulbach: »Schema, Bild, Begriff« (Anm. 28), S. 119.

35 Vgl. dazu ausführlich: Birgit Recki: *Ästhetik der Sitten. Die Affinität von ästhetischem Gefühl und praktischer Vernunft bei Kant*, Frankfurt a. M. 2001, bes. S. 155–177. Recki expliziert das »Schöne als Symbol des Sittlichguten« hier wie folgt: »Die Analogie der ästhetischen mit den moralischen Urteilen und der Symbolcharakter des Schönen bedeuten daher nichts anderes, als daß wir durch die Art, wie es uns in einem reflexiven Gefühl die Freiheit und Zweckmäßigkeit im Spiel unserer besten Kräfte bewußt werden läßt, an jene Freiheit als das Vermögen, Zwecke zu setzen, gleichsam erinnert werden, die wir in unseren Eigenschaften als handelnde und damit als autonome Wesen in Anspruch nehmen müssen.« (Ebd., S. 171 f.)

36 KU B 258.

37 Ebd.

38 Gasché: »Überlegungen zum Begriff der Hypotypose« (Anm. 32), S. 159 und S. 163.

39 Kaulbach: »Schema, Bild und Modell« (Anm. 28), S. 119.

40 Ebd., S. 125 f.

41 Theodor W. Adorno: *Ästhetische Theorie*, in: *Gesammelte Schriften in 20 Bänden*, Bd. 7, hg. v. Rolf Tiedemann u. Gretel Adorno, Frankfurt a. M. 2003, S. 105.

die »Denk- und Konstruktionspotentiale« für das zu Schaffende ihrerseits auf negative Weise *fesseln*.⁴² Das geschieht auch, sobald modellhaft gewordene »Bilder« die Naturerfahrung prägen, ohne dabei noch als Vorbilder wahrgenommen zu werden.⁴³ Wenn Kant das Erhabene der »himmelansteigende[n] Gebirgsmassen, tiefe[n] Schlünde und darin tobende[n] Gewässer«⁴⁴ beschreibt, dann greift er dafür genau auf solche vermittelten Bilder oder Darstellungen zurück, die er aus Reiseberichten gewonnen und für sein Motiv als einschlägig empfunden hat.⁴⁵ Dass Kant, der »aus Königsberg nie hinausgekommen«⁴⁶ ist, passionierter Leser von Reiseberichten gewesen sein muss, gesteht er selbst – indirekt – in der Einleitung zu seiner *Anthropologie* und in einer Fußnote. Dort heißt es: »Zu den Mitteln der Erweiterung der Anthropologie im Umfange gehört das Reisen; sei es auch nur das Lesen der Reisebeschreibungen.« Und in der Fußnote:

*Eine große Stadt, der Mittelpunkt eines Reichs, in welchem sich die Landescollegia der Regierung derselben befinden, die eine Universität (zur Kultur der Wissenschaften) und dabei noch die Lage zum Seehandel hat, welche durch Flüsse aus dem Inneren des Landes sowohl, als auch mit angrenzenden entlegenen Ländern von verschiedenen Sprachen und Sitten, einen Verkehr begünstigt, – eine solche Stadt, wie etwa Königsberg am Pregelflusse, kann schon für einen schicklichen Platz zur Erweiterung sowohl der Menschenkenntnis als auch der Weltkenntnis genommen werden; wo diese, auch ohne zu reisen, erworben werden kann.*⁴⁷

Das Lesen der Reisebeschreibung wie auch das Passieren und Berichten der Reisenden ersetzt die Bewegung des Betrachters. Der Betrachter erfährt die isolierten Eindrücke in selbstvergewisserndem Bezug zu seiner eigenen stabilen und zentrierten Position, zu der alles andere eine gemessene Distanz hält oder auf Distanz gebracht wird: räumlich-visuell im Bild, im Tableau, in der Tafel, historisch in der lang vergangenen »alten Zeit«, in der der Mensch sich einmal akklimatisieren musste. Die weitergehende Auseinandersetzung mit einer klimatisch-durchdringenden Natur wird unterbunden von einer Naturästhetik der Distanz.

Herder: Ein Chaos von Ursachen

Im Gegensatz zu Kant war – zumindest der junge – Herder ein emphatischer Reisender.⁴⁸ Beredtes Zeugnis davon gibt das *Journal meiner Reise im Jahr 1769*. Hier wird nicht nur auf der ersten Seite die Reise gegen die »enge, zu fremde, zu unpassend[e]«⁴⁹ Existenz als Schullehrer mit ihrer bürgerlichen, »faule[n], oft

42 Horst Bredekamp: »Modelle der Kunst und der Evolution«, in: *Debatte* 2 (2005), S. 13–20, hier S. 16.

43 Eine solche Fesselung in Hinblick auf die Naturerfahrung beschreibt Adorno, wenn er festhält, wie die gemalte »lila Heide« auf die reale Landschaft abfährt. Das Ergebnis sei eine »Fratze« des Naturschönen. Kant schreibt zwar zu einem historisch völlig anderen Zeitpunkt als Adorno, nämlich demjenigen der beginnenden Entdeckung des landschaftlich Schönen; das ändert aber nichts am Charakter der Vermitteltheit der Erfahrung des Naturschönen und der Gefahr seiner stereotypen Reproduktion von Beginn an. Vgl. Adorno, *Ästhetische Theorie* (Anm. 38), S. 105. Zur »künstlichen« Darstellung der Natur in Form von »Allgemeinplätze[n]« in der *Kritik der Urteilskraft* vgl. auch Bies, *Im Grunde ein Bild* (Anm. 29), S. 110 ff., hier S. 113.

44 KU B 118.

45 Vgl. Gernot Böhme: *Kants Kritik der Urteilskraft in neuer Sicht*, Frankfurt a. M. 1999, bes. S. 83–107. Beim Erhabenen handelt es sich zwar um eine anderes Naturverhältnis des Subjekts als beim Schönen, aber auch hier dient das Naturbild modellhaft zur Selbstdarstellung: Das Subjekt erfährt im Erhabenen »die eigene Erhabenheit seiner Bestimmung, selbst über die Natur« (KU B 105).

46 Thomas Bernhard: *Immanuel Kant. Komödie*, in: Ders.: *Werke. Dramen* III, hg. v. Martin Huber u. Bernhard Judex, Berlin 2010, S. 67–172, hier S. 85.

47 Kant: *Anthropologie in pragmatischer Hinsicht* (Anm. 11), S. 400.

48 Herder ist aber auch Leser von Reiseberichten, wie die genannten und ungenannten Quellen der *Ideen zur Philosophie der Geschichte der Menschheit* zeigen. Im 7. Buch wünscht Herder sich explizit einen »eigne[n] Reisende[n], der ohne Vorurteile und Übertreibungen für den Geist des Klima reiset« (Johann Gottfried Herder: *Ideen zur Philosophie der Geschichte der Menschheit*, in: *Werke*, Bd. III/1, hg. v. Wolfgang Proß, München/Wien 2002, S. 245).

49 Johann Gottfried Herder: »Journal meiner Reise im Jahre 1769«, in: *Werke*, Bd. I: *Herder und der Sturm und Drang. 1764–1774*, hg. v. Wolfgang Proß, München/Wien 2003, S. 355–473, hier S. 358.

ekle[n] Ruhe«⁵⁰ ins Feld geführt, sondern mit der Beschreibung der Schiffsreise gleich zu Beginn auch ein geradezu ekstatisches Denken der Analogie präsentiert.⁵¹ Herder hält im Kontext der Beschreibung seiner Schiffsreise fest:

*Wasser ist eine schwerere Luft: Wellen und Ströme sind seine Winde: die Fische seine Bewohner; der Wassergrund ist eine neue Erde! [...] Die Fische, die oben hinauffahren, sind nur Vögel; ihre Floßfedern nur Flügel: ihr Schwimmen, Fliegen oder Flattern.*⁵²

Und etwas weiter im Text:

*Wie sich Welle in Welle bricht: so fließen die Luftundulationen und Schälle in einander. Die Sinnlichkeit der Wasserwelt verhält sich also wie das Wasser zur Luft in Hören und Sehen! Ei wie Geruch, Geschmack und Gefühl? – Wie die Welle das Schiff umschließt: so die Luft den sich bewegenden Erdball: dieser hat zum eignen Schwunge seine Form, wie das unvollkommene Schiff zum Winde!*⁵³

Was hier noch nach ungestüm exaltierter Metaphorik klingt, kommt im Hauptwerk, den *Ideen zur Philosophie der Geschichte der Menschheit*, zumindest oberflächlich ein wenig zur Ruhe. Die analogisierende methodisch-unmethodische Vorgehensweise wie auch das Konzept einer »Selbstbildungsgeschichte«⁵⁴ der Menschheit scheint im *Journal* aber schon angelegt zu sein. Im Gegensatz zur Perspektive an Bord des Schiffes, die Herders Eindrücke und Gedanken mit den Wellen hin- und herreißt, beginnen die *Ideen* mit einer Fokussierungsbewegung, einem Blick »[v]om Himmel«⁵⁵, »der gleichsam aus der endlosen Weite des Weltraums heraus sich an die Erde und ihre Bewohner herantastet«.⁵⁶ Der Mensch und seine Geschichte werden auf dem »mittleren Planeten«⁵⁷ Erde lokalisiert. Ganz ähnlich wie Kants Subjekt, das sich nach der »kopernikanischen Wende« erkenntnistheoretisch zentriert wiederfindet,⁵⁸ steht der Mensch auch bei Herder zunächst »in der Mitte«: Er ist ein »Mittelgeschöpf« unter den Tieren der Erde,⁵⁹ was ihn auszeichnet, ist der »mittlere Sinn« des Gehörs, der es ihm erlaubt, Sprache zu entwickeln und auf sie zu hören.⁶⁰ Diese Mittelstellung ist aber – anders als bei Kant – auch als physische Durchdringung zu begreifen, die Herder anhand einer organischen Wechselbeziehung illustriert:

Und da der Mensch keine unabhängige Substanz ist, sondern mit allen Elementen der Natur in Verbindung stehet; er lebt vom Hauch der Luft, wie von den verschiedensten Kindern der Erde, den Speisen und Getränken: er verarbeitet Feuer, wie er das Licht einsaugt und die Luft verpestet: wachend und

50 Ebd.

51 Vgl. dazu Hans Dietrich Irmscher: »Beobachtungen zur Funktion der Analogie im Denken Herders«, in: *Deutsche Vierteljahrsschrift für Literaturwissenschaft und Geistesgeschichte* 55 (1981) 1, S. 64–97, hier S. 66.

52 Herder: »Journal meiner Reise im Jahre 1769« (Anm. 49), S. 362.

53 Ebd., S. 365.

54 Rainer Wisbert: »Journal meiner Reise«, in: Stefan Greif/Marion Heinz/Heinrich Clairmont (Hg.): *Herder Handbuch*, Paderborn 2016, S. 605–609, hier S. 606.

55 Herder: *Ideen* (Anm. 48), S. 17.

56 Wolfgang Proß: »Ideen zur Philosophie der Geschichte der Menschheit«, in: Greif/Heinz/Clairmont: *Herder Handbuch* (Anm. 54), S. 171–216, hier S. 171.

57 Herder: *Ideen* (Anm. 48), S. 20.

58 Vgl. zur im historischen Kontext gebräuchlichen Metapher der »kopernikanischen Wende«, die auch Herder verwendet hat: Hans Adler: »Metaschema und Aisthesis« (Anm. 9), S. 122 f.

59 Herder: *Ideen* (Anm. 48), S. 65.

60 Vgl. Johann Gottfried Herder: »Über den Ursprung der Sprache«, in: *Werke*, Bd. II: *Herder und die Anthropologie der Aufklärung*, hg. v. Wolfgang Proß, München/Wien 1987, S. 251–357.

*schlafend in Ruhe und in Bewegung trägt er zur Veränderung des Universum bei und sollte er von demselben nicht verändert werden?*⁶¹

Die Beziehung von Mensch und Umwelt ist eine Beziehung wechselseitiger Formung. Aus der Mittelstellung des Menschen leitet Herder gerade keine Superiorität, keine Erhabenheit des Gemüts ab; denn der menschliche Verstand sei eben ein »mittelmäßige[r] Erdenverstand«⁶². Der Mensch steht nicht im Zentrum, sondern *inmitten* der Schöpfung: »Wir sind nicht im Mittelpunkt sondern im Gedränge«⁶³, schreibt Herder. Durchdrungen wird das Gefüge von Mensch und Natur von »Kräften«, zu denen auch das Klima gehört: Das natürliche Klima findet seine Entsprechung in der menschlichen, auf Natur zurückwirkenden »Kraft«, die weder allein körperlich noch allein geistig, weder eindeutig mechanisch noch eindeutig biologisch bestimmbar ist.⁶⁴ Schließlich werden Naturkraft und organische Kraft im Begriff des Klimas von Herder sogar enggeführt und zur Deckung gebracht: »Wie auch das Klima wirke; jeder Mensch, jedes Tier, jede Pflanze hat ihr eignes Klima: denn alle äußern Einwirkungen nimmt jedes nach seiner Weise auf und verarbeitet sie organisch.«⁶⁵

Die Vermischung unterschiedlicher, sich disziplinär bereits auffächernder Erklärungsschemata und Phänomene ist sicher einerseits in einem »Defizit« in Herders »Ausbildung hinsichtlich des naturgeschichtlichen Materials« zu suchen.⁶⁶ Andererseits ist sie aber auch Ausdruck der von Herder bewusst und konsequent durchgeführten Zurückweisung disziplinärer Grenzen: Herders Anspruch auf die Darstellung des Ganzen, einem Begehren nach »Wissensintegration«⁶⁷, das mit dem Wissen um die Perspektivität jeder Erkenntnis ringt, äußert sich auch in der atemlosen Formulierung ungezählter Wissenschaftsdesiderata.⁶⁸ Die »Klimatologie aller menschlichen Denk- und Empfindungskräfte«⁶⁹ ist eines davon. Sie kann zwar nicht als ernst gemeinte disziplinäre Zusammenführung der Wissenschaften von der Natur und vom Menschen verstanden werden, zeigt aber umgekehrt, dass die Beschäftigung mit Klima keiner einzelnen der bislang entstandenen und entstehenden Disziplinen (beispielsweise der Geographie oder der »Aerologie«) zugeordnet werden kann. Klima durchdringt unterschiedliche Kulturen des Wissens und ist damit ein exemplarischer Gegenstand von Herders Arbeiten, genauso wie die Idee einer »Klimatologie« als Wissenschaft *menschlicher* Kräfte programmatisch für seine Zusammenführung von Natur- und Kulturgeschichte steht. Dabei wird Herder kein Vertreter eines aus der Antike herrührenden, groben und statischen Zonen-Klimamodells oder gar eines Klimadeterminismus. Stattdessen begreift er Klima auch in Form von modifizierbaren »Mikroklimata«, für die neben der »Schiefstellung der Erdachse« auch die »geophysikalische[] Beschaffenheit« und die »Höhe jedes Ortes über dem Meeresspiegel« eine Rolle spielt⁷⁰ – und schließlich als etwas, das der Mensch zugleich mitformen, »durch Kunst änder[n]«⁷¹ kann. Vom Klima geht, wie Herder entgegen klimadeterministischer Positionen behauptet, kein Zwang aus. In Anspielung auf die ursprüngliche Wortbedeutung von κλίμα (Neigung), mit der im »geozentrischen

61 Herder: *Ideen* (Anm. 48), S. 228.

62 Ebd., S. 22.

63 Ebd., S. 21.

64 Christoph Menke sieht darin eine Inkonsequenz in der Metaphorik, da Herder für die Beschreibung der dunklen Kraft zwar »Modelle und Metaphern aufbietet, die in beide Richtungen, die mechanische wie die biologische, weisen, die sich jedoch als gleichermaßen untauglich erweisen, um den dunklen Mechanismus der menschlichen Seele zu fassen; sie lassen sich nicht durchhalten.« (Christoph Menke: *Kraft. Ein Grundbegriff ästhetischer Anthropologie*, Frankfurt a. M. 2008, S. 54.)

65 Herder: *Ideen* (Anm. 48), S. 248.

66 Wolfgang Proß: »Nachwort«, in: Herder: *Ideen* (Anm. 48), S. 839–1041, hier S. 1028.

67 Hans Adler: »Wunschzettel der Aufklärung. Wissenschafts-Desiderate in Herders *Ideen*«, in: Regine Otto/John H. Zammito (Hg.): *Vom Selbstdenken. Aufklärung und Aufklärungskritik in Herders *Ideen* zur Philosophie der Geschichte der Menschheit. Beiträge zur Konferenz der International Herder Society Weimar 2000*, Heidelberg 2001, S. 99–104, hier S. 104.

68 Hans Adler hat sie gezählt, zumindest in den Büchern 1–9 der *Ideen*, in denen er allein 15 finden konnte. Vgl. ebd., S. 101.

69 Herder: *Ideen* (Anm. 48), S. 241.

70 Proß: »Ideen zur Philosophie der Geschichte der Menschheit« (Anm. 56), S. 186.

71 Herder: *Ideen* (Anm. 48), S. 232.

Weltbild [...] die Neigung des Himmelsgewölbes [...] zur Erdachse«⁷² bezeichnet wurde, formuliert Herder: »[D]as Klima zwinget nicht, sondern es neiget: es gibt die unmerkliche Disposition, die man bei eingewurzelten Völkern im ganzen Gemälde der Sitten und Lebensweisen zwar bemerken, aber sehr schwer, insonderheit abgetrennt, zeichnen kann.«⁷³ Hier wird die griechische Bedeutung von »Klima« wie auch die Vorstellung eines »Sittengemäldes« wörtlich genommen und führt so zurück zur und hinein in eine neue Verbildlichung, die aus dem alltäglichen Sprachgebrauch bereits verschwunden zu sein scheint. Die damit bewusst erzeugte Polysemie der einzelnen Begriffe zeigt deutlich, dass es Herder in seiner Beschreibung gerade nicht um Präzision und Begrenzung, sondern um Bedeutungserweiterung und Komplexitätssteigerung geht: Das Klima schlägt sich nicht in regional eingegrenzten, messbaren Witterungseinflüssen nieder, sondern erzeugt Neigungen, auf die Kulturen ihrerseits reagieren und die sie modellieren können. Die »Neigung« äußert sich wiederum nicht in einer distinkten, markanten Form, die nur noch abgebildet werden müsste, sie ist für den Menschen und dessen Kunst (die ihrerseits das Klima formt) schwer nachzuzeichnen.

Wenn die Welt nicht auf stabile zugrundeliegende Strukturen zurückgeführt, sondern nur als ein durcheinandergehendes, in wechselseitigem Einfluss stehendes Kräfte- und Formungsverhältnis erfahren werden kann, ist die Frage, wie im »Gedränge« überhaupt so etwas wie benennbare, distinkte Eindrücke entstehen. Herders Antwort ist eindeutig: durch die Sinne. Die Sinne, allen voran das Gehör, sind es, die den Menschen bilden und aus denen auch der Verstand erst hervorgeht: »Unser Verstand ist nur ein Verstand der Erde, aus Sinnlichkeiten, die uns hier umgeben, allmählich gebildet.«⁷⁴ Wie dieser Verstand gebildet wird, ist wiederum wesentlich abhängig von der Beschaffenheit der menschlichen Sinne, die nur *eine* Realisierung vielfältiger sinnlicher Rezeptionsmöglichkeiten sind. Dabei ist die menschliche Sinnlichkeit so beschaffen, dass sie die Erfahrungen und Eindrücke ordnen kann, wie Herder in »Vom Erkennen und Empfinden der menschlichen Seele« (1778) festhält:

Auch kann der Gegenstand für tausend andre Sinnen in tausend andern Medien ganz etwas anders, vollends in sich selbst ein Abgrund sein, von dem ich nichts wittre und ahnde; für mich ist er nur das, was mir der Sinn und sein Medium, jenes die Pforte, dies der Zeigefinger der Gottheit für unsre Seele, dargibt. Innig wissen wir außer uns nichts: ohne Sinne wäre uns das Weltgebäude ein zusammen geflochtner Knäuel dunkler Reize: der Schöpfer mußte scheiden, trennen, für und in uns buchstabieren.⁷⁵

Die Sinne – die Herder nicht nur als spezifisch menschliche, sondern auch als kulturell und individuell unterschiedene begreift – erlauben aber nicht nur die Rezeption der Welt, sondern ermöglichen darüber hinaus erst ihre sinnliche Wiedergabe, ihre Darstellung. Welche Form der Darstellung bevorzugt wird, hängt von einer individuellen Gewichtung unter den Sinnen ab, die einen Menschen zu entsprechenden Leistungen in einer Darstellungsform befähigt: Während die »drei größten epischen Dichter aller Welt, Homer, Ossian und Milton [...] blind«, aber dafür mit »tiefe[r] Innigkeit des Ohrs« gesegnet waren,⁷⁶ ist der größte Philosoph ein Geschöpf des Auges: »Wenn eine allgemeine philosophische Sprache je erfunden würde, wärs vielleicht von einem Taub- und Stummgeborenen, der gleichsam ganz Gesicht, ganz Zeichen der Abstraktion wäre.«⁷⁷

72 Franz Mauelshagen: »Ein neues Klima im 18. Jahrhundert«, in: *Zeitschrift für Kulturwissenschaften* 1 (2016), S. 39–57, hier S. 39.

73 Herder: *Ideen* (Anm. 48), S. 244 f.

74 Ebd., S. 23.

75 Johann Gottfried Herder: »Vom Erkennen und Empfinden der menschlichen Seele«, in: *Werke*, Bd. II (Anm. 60), S. 664–723, hier S. 682.

76 Ebd.

77 Ebd.

Diese vollständige Abstraktion ist aber gerade nicht im Sinne Herders, der an der vermittelnden Darstellung von menschlicher Natur und kultureller Subjektivität interessiert ist. Entsprechend liegt sein Fokus auch nicht allein auf demjenigen Sinn, der die größte Abstraktion befördert, sondern auch auf dem »mittleren Sinn« des Ohrs, der die Rede, den Klang, den Ton einlässt – und die literarische Darstellung ermöglicht, deren Autoren »wie Saiten« seien, »die Ein gewisser Klang des Weltalls regt, auf denen der Weltgeist mit Einem seiner Finger spielt.«⁷⁸ Herders Texte selbst scheinen einen Mittelweg zwischen Auge und Ohr, zwischen Wissenschaft und Literatur zu suchen. Diesen findet er in einer Rhetorik der Analogie. Was er in »Vom Erkennen und Empfinden« schreibt, hat auch noch für die *Ideen* Gültigkeit: »Was wir wissen, wissen wir nur aus Analogie«,⁷⁹ und: »Je mehr wir indes das große Schauspiel wirkender Kräfte in der Natur sinnend ansehen, desto weniger können wir umhin überall Ähnlichkeit mit uns zu fühlen, alles mit unsrer Empfindung zu beleben.«⁸⁰ In der analogisierenden Rede kann Herder nämlich nicht nur den »Sinn« der äußeren Welt und der inneren Empfindung ineinander übergehen lassen oder unterschiedliche Naturformen wie diejenigen des »Oxfordschen« und des »getiegt[en]« türkischen Schafs, die aufgrund von klimatischen Einflüssen so verschieden ausfallen, in Beziehung zueinander setzen.⁸¹ Er kann auch die zunächst zum inneren »Buchstabieren« getrennten Sinne – und ihre jeweiligen Darstellungsmodi – wieder zusammenführen. Exemplarisch tut er das im 7. Buch der *Ideen* über das Klima, an dessen Beginn er den Wunsch äußert, seine Ausführungen, den Text, in ein »Gemälde« zu verwandeln. Die Metapher des Gemäldes wird fortgeführt in einer Äußerung über die Rassen: »Kurz, weder vier oder fünf Racen, noch ausschließende Varietäten gibt es auf der Erde. Die Farben verlieren sich in einander: die Bildungen dienen dem genetischen Charakter; und im Ganzen wird zuletzt alles nur Schattierung eines und desselben großen Gemäldes, das sich durch alle Räume und Zeiten der Erde verbreitet.«⁸² Der Mensch malt sich also in der Beschreibung nicht nur ein Gemälde von der Welt, er ist auch in allen vielfältigen Schattierungen – und nicht in klar abzugrenzenden Farbtönen – Teil des Bildes. Natur ist selbst, wie es an anderer Stelle heißt, »bildende Künstlerin«⁸³, wiederum im doppelten Sinne, des Modellierens wie des Bildens, denn der Mensch bildet sich auch kulturell von seinem (klimatischen) Kontext her. Er ist ein »bildsamer Ton in der Hand des Klima«⁸⁴, wobei der »Ton« nicht allein Material eines Töpfers, sondern auch eine Klang- und eine Farbqualität ist, die sprachlich alle drei in einem Wort aufgerufen werden können. Die Beziehung von Mensch und Natur, exemplarisch in der klimatischen Wechselwirkung, ist eine Beziehung gegenseitigen Modellierens: des menschlichen Beschreibens auf der einen Seite, und der klimatischen »Bildung« und Modellierung des sinnlich Erfahrbaren auf der anderen Seite. Charakteristisch für dieses Modellieren ist, dass es nicht vollständig ausgeführt oder erfasst werden kann und daher in einem historisch ungeschlossenen Prozess bleibt: »Das folgende Jahrtausend mag es entscheiden, was unser Genius andern Klimaten, was andre Klimaten unserm Genius genutzt oder geschadet haben.«⁸⁵

Der Mangel an systematischer Konsequenz in Herders Beschreibung zum durchdringenden Wechselverhältnis von Mensch und Natur ist es auch, der Kant in seiner Rezension der *Ideen* in Rage versetzt. Er vermisst darin »bestimmte Begriffe«⁸⁶. Herders Philosophie ist für ihn schließlich nur schlechte dogmatische, noch dazu »metaphysische« Dichtung eines Schriftstellers, der aus »bloße[r] Verzweiflung« darum

78 Ebd., S. 679.

79 Ebd., S. 665.

80 Ebd., S. 664.

81 Herder: *Ideen* (Anm. 48), S. 63.

82 Ebd., S. 231.

83 Ebd., S. 98.

84 Ebd., S. 240.

85 Ebd., S. 258.

86 Immanuel Kant: »Rezension zu Johann Gottfried Herder: Ideen zur Philosophie der Geschichte der Menschheit. Erster Teil«, in: *Werkausgabe*, Bd. XII (Anm. 11), S. 781–794, hier S. 793.

bemüht ist, »was man nicht begreift, aus demjenigen erklären zu wollen, was man noch weniger begreift«. ⁸⁷ Der präzise – »bestimmte« – Begriff scheint aber für Herder, der umgekehrt in seiner »Metakritik« an Kant aussetzt, dass dieser versuche, mit »Namen« »Fächer in unserer Seele« zu »zimmern«, ⁸⁸ gerade nicht dazu geeignet, klimatische wie menschliche Natur zu erfassen. Einen begrifflichen Aufschluss über letzte innere Zusammenhänge erwartet Herder indes selbst nicht von seiner Auseinandersetzung mit Natur:

Ins innere Reich ihrer Kräfte schauen wir nicht; es ist also so vergebens als unnot, innere wesentliche Aufschlüsse von ihr, über welchen Zustand es auch sei, zu begehren. Aber die Wirkungen und Formen ihrer Kräfte liegen vor uns; sie also können wir vergleichen und etwa aus dem Gange der Natur hinieden, aus ihrer gesammten herrschenden Ähnlichkeit Hofnungen sammeln. ⁸⁹

Resümee: Modelle und ihre Funktion bei Kant und Herder

Kant hat ohne Zweifel mit den Ausführungen zu Symbol und Darstellung einen Grundstein für die folgende (modell-)theoretische Diskussion über die Funktionsweise von Analogien gelegt. ⁹⁰ Gleichzeitig spielen Analogien innerhalb seines philosophischen Systems nur eine untergeordnete Rolle – genauso wie das Klima. Darstellungsweise und Dargestelltes korrespondieren in dieser Hinsicht bei Kant, ihre Präsentation zielt gleichermaßen darauf, Distinktion und Distanz zu bewahren. Besonders deutlich wird das an Kants Ausführungen zum Naturschönen und zum Naturerhabenen, die beide in modellhaften Bildern distanziert und begriffen werden, um die zuvor festgesetzten Eigenschaften des Subjekts argumentativ zu stabilisieren. Umgekehrt kann das destabilisierende Konzept eines durchdringenden Mensch-Natur-Verhältnisses, wie es bei Herder exemplarisch in den Ausführungen zum Klima vorliegt, bei Kant nicht zur Darstellung kommen. Daran wird zum einen deutlich, dass nicht der eingesetzte Modelltyp (hier die Analogie) entscheidend dafür ist, was dargestellt werden kann, sondern die dem Modell eingeräumte Bedeutung und Funktion. Während Kant die Analogie als Instrument nutzt, um an einer argumentativ unwägbareren Stelle das System zu stabilisieren, gelingt es Herder umgekehrt, durch entfesselte Analogien die statische Mensch-Natur-Beziehung rhetorisch zu destabilisieren.

Unabhängig von der Verwendung gängiger zeitgenössischer Modelle wie demjenigen des Organismus für die gesamte Weltorganisation oder der Maschine für den Körper, ⁹¹ zeichnet sich also eine grundsätzlich unterschiedliche Einstellung gegenüber dem Modell bei Kant und Herder ab – sofern man bereit ist, die hier resümierten Verwendungsweisen der Analogie wie auch ihren Einsatz in den Texten als Arbeit mit und an Modellen zu begreifen. Der Hauptunterschied zwischen Kant und Herder in Hinblick auf den Einsatz von Modellen liegt in deren sehr unterschiedlicher Reichweite. Bei Kant hat das Modell eine begrenzte Funktion innerhalb des theoretischen Systems, bei Herder hingegen wird die Modellbildung zur primären theoretischen Vorgehensweise. Während Kant sich des Modells an einer entscheidenden argumentativen Stelle – für einen übergeordneten Zweck – bedient, gibt es bei Herder kein Denken außerhalb des provisorischen Modellierens, das seinen Ausgang von der Wahrnehmung und Darstellung

⁸⁷ Ebd., S. 791.

⁸⁸ Johann Gottfried Herder: »Eine Metakritik zur Kritik der reinen Vernunft«, in: *Werke in zehn Bänden*, Bd. 8: *Schriften zur Literatur und Philosophie 1892–1800*, hg. v. Hans Dietrich Irmscher, Frankfurt a. M. 1998, S. 303–640, hier S. 319.

⁸⁹ Herder: *Ideen* (Anm. 48), S. 153.

⁹⁰ Es knüpfen aber nicht nur im strengen Sinne modelltheoretische Überlegungen an die Ausführungen zur symbolischen Hypotypose an, auch metaphor- bzw. darstellungstheoretische Ansätze finden hier einen zentralen Bezugspunkt, so u. a. Hans Blumenberg in ders.: *Paradigmen zu einer Metaphorologie*. Kommentar von Anselm Haverkamp, Frankfurt a. M. 2013, insbes. S. 15 ff., und Rüdiger Campe: »Vor Augen Stellen. Über den Rahmen rhetorischer Bildgebung«, in: Helmuth Lethen/Ludwig Jäger/Albrecht Koschorke (Hg.): *Auf die Wirklichkeit zeigen. Zum Problem der Evidenz in den Kulturwissenschaften. Ein Reader*, Frankfurt a. M./New York 2015, S. 106–136.

⁹¹ Vgl. zu typischen Modellen der Zeit: Dorothea Kuhn: »Versuch über Modelle der Natur in der Goethezeit«, in: dies.: *Typus und Metamorphose. Goethe-Studien*, Marbach am Neckar 1988, S. 159–176.

des irreduziblen Mannigfaltigen nimmt. Dieses Modellieren orientiert sich an einer Natur, die einerseits modellierende Kraft, andererseits Vorbild für kulturelle Modellierungsvorgänge ist, welche Natur selbst immer schon als modelliertes Abbild hervorbringen. Für eine solche Modellierung ist nicht einmal die Wiedergabe von Natur in einem Kulturprodukt notwendig, da jede individuelle sinnliche Rezeption bereits als Produktion und modellierende Wiedergabe begriffen wird.

Die Kette der möglichen Analogien, die Herder zur Beschreibung von Mensch, Natur und deren untrennbar verwobener Geschichte einfallen, findet aufgrund der unendlichen Vielfalt sinnlicher Eindrücke kein Ende und sie bildet sich ab in ihrer Darstellung, nämlich im unvollendeten Werk der *Ideen*, dessen Gegenstand sich – trotz des den *Ideen* beigefügten Telos der Humanität – in der Geschichte entfaltet und auch nur aus deren Entwicklungen heraus zu begreifen ist. Die wechselseitige Beschreibung von Natur und Kultur lässt sich deshalb lediglich in einem prozesshaften, perspektivengebundenen Modellieren begreifen und präsentieren. Durch die vereinzelt, teilweise widersprüchlichen und unvermittelten Modelle bleibt Herder die systematische Synthese sowie eine Erklärung für die klimatische Kraft, die er schließlich als »Chaos von Ursachen«⁹² bezeichnet, verwehrt. Herders Rhetorik wird dabei selbst klimatologisch; sie symbolisiert im klimatischen Durchdringungsverhältnis kompromisslosen Analogisierens Herders Entwurf einer menschlichen Natur und einer Naturgeschichte der Kultur. Die Verwendung der Analogie beschränkt sich damit bei Herder nicht auf eine Übertragung der Reflexionsweise eines Gegenstandes auf einen anderen, sondern die Grundstruktur der Gegenstände bestimmt auch die (analoge) Struktur der gesamten Darstellung. Da klimatische Natur nicht distanziert und systematisch, sondern nur im Wechselverhältnis und unter der Voraussetzung historischer und individueller Perspektivität erschlossen werden kann, wird die Darstellungsweise selbst beweglich, sie passt sich dem einzelnen Gegebenen und seinem Gegebenen an. »Modellhaft« wäre, so verstanden, ein Gegenbegriff zu »systematisch«.⁹³

Für die modellhafte Inversion der sinnlichen Durchdringungserfahrung von Natur in die Theorie bezahlt Herder den Preis eines Verlusts an Systematik, Klarheit und disziplinärer Zugehörigkeit; das wäre aber nicht als Mangel, sondern als formale Konsequenz und als entschiedene Gegenposition zur systematischen Stabilisierung des Mensch-Natur-Verhältnisses zu betrachten. Der Widerspruch der Darstellung des Mannigfaltigen im Einigen, der durchdringenden Natur im distinkten Kulturprodukt wird dabei nicht überdeckt, sondern entschieden offengelegt. Das theoretische Modellieren wird zu einer Folge provisorischer Entwürfe. Herder resümiert die Vorläufigkeit seines Projekts nebenbei im Kontext der Ausführungen zum Klima: »[S]o wollen auch wir nur Probleme geben.«⁹⁴

92 Herder: *Ideen* (Anm. 47), S. 254.

93 Eine solche Konnotation des Begriffs »Modell« legt beispielsweise auch T. W. Adorno nahe: »Die Forderung nach Verbindlichkeit ohne System ist die nach Denkmodellen. [...] Das Modell trifft das Spezifische und mehr als das Spezifische, ohne es in seinen allgemeineren Oberbegriff zu verflüchtigen.« (Theodor W. Adorno: *Negative Dialektik*, in: *Gesammelte Schriften in 20 Bänden*, Bd. 6, hg. v. Rolf Tiedemann u. a., Frankfurt a. M. 2003, S. 7–412, hier S. 39.)

94 Herder: *Ideen* (Anm. 47), S. 238.

Das große Unsichtbare.

Die Modellierung von Klima zwischen Wissenschaft und Literatur

Solvejg Nitzke

Klima wird in der industriellen Moderne zum Problem des Wissens. Anders als das Wetter ist das Klima der direkten Wahrnehmung entzogen; ein Umstand, der paradoxerweise immer problematischer zu werden scheint, je mehr Wissen über die komplexen Zusammenhänge von lokalen Wetterereignissen und globalem Klima existiert. Das moderne Klima ist ein wandelbares, globales Phänomen, dessen Erkenntnis doppelt vermittelt ist, insofern es weder sinnlich erfahrbar noch verstandesmäßig erfassbar und somit auf Modellierung angewiesen ist. Diese findet jedoch nicht allein im wissenschaftlichen Kontext statt. Vielmehr ist die Herstellung von Klima als Bedingung von (Lebens-)Wirklichkeit und Zukunft trotz ihres unterschiedlichen epistemischen Status das Ergebnis wechselseitiger Einflussnahme wissenschaftlicher und nicht-wissenschaftlicher Modelle.

Klima(wissens)wandel

Obwohl die Einsicht in die Vermitteltheit des Klimawissens nicht neu ist, haben sich der Status und mit ihm die Erwartungen an dieses Wissen grundlegend verändert: Während das Klima verstanden als »Zustand und Ressource«¹ eine vorrangig lokale, vor allem aber unveränderliche Kategorie ist, führt die Einsicht in die globale Verbundenheit und in die temporale Veränderlichkeit des Klimas zu einer fundamentalen Verunsicherung. Dabei ist das Interesse am Klima von jeher eines an den Rahmenbedingungen der Existenz von Leben und Zivilisation. Wissen vom Klima ist also im Wortsinn lebenswichtig, seine Erforschung und Erkundung sorgen für Sicherheit und Verlässlichkeit. Aufzeichnung und Auswertung einzelner Wetterphänomene erlauben es, die persönliche Erfahrung des »typischen Wetters« einer Region zu untermauern und verlässliche »Normwerte« zu ermitteln.² Die Erforschung des Klimas in diesem Sinne ist also dem Interesse an der, wenn man so will, Erkenntnis und Optimierung akuter Lebensbedingungen untergeordnet. Die Moderne jedoch begnügt sich nicht mit der empirischen Erfassung, sondern beginnt das Klima selbst zu ändern. Der anthropogene Klimawandel, dessen Auswirkungen den Planeten so nachhaltig verändern, dass sich die Epoche der Moderne auch als Beginn des Anthropozäns, eines neuen geologischen Zeitalters, beschreiben lässt, ist die physische Seite dieser Veränderung. Ihre Voraussetzung

1 Nico Stehr/Hans von Storch: *Klima, Wetter, Mensch*, Opladen/Farmington Hills 2010, S. 17.

2 Ebd., S. 19–27.

ist die Wandlung des Klimas von einer konkreten, ›hinter‹ dem Wetter verborgenen Eigenschaft eines Ortes oder einer Region zur reinen Abstraktion.

Die moderne Wissenschaft vom Klima, so lässt sich etwas überspitzt sagen, bringt das Klima (als reales Phänomen) zum Verschwinden. Das Verständnis von Klima als »Geschichte« bzw. »Statistik des Wetters«³ verneint somit seine Rolle als direkte Ursache einzelner (Wetter-)Phänomene und regionaler Eigenarten von Mensch und Natur; es bildet darüber hinaus auch die Grundlage für seine Wandelbarkeit und Allgegenwart. Das verzeitlichte Klima wird in der Moderne also deswegen bedrohlich und potenziell katastrophal, weil es seinen Platz in der Sphäre des Sicht- und Spürbaren verliert und zum Bestand eines »unheimlichen Wissens«⁴ wird.

Unheimlich ist Klimawissen jedoch nicht, weil es übersinnlichen Mächten gehorcht oder gar unberechenbar sei, sondern weil an kaum einem Gegenstand Macht und Ohnmacht wissenschaftlicher Technologien und Praktiken so deutlich zu Tage treten. Die kategoriale Wandlung des Klimas von einem unveränderlichen lokal-regionalen Phänomen zu einer Größe, deren Geschichte mit der Entstehung der Erde vor etwa 4,6 Milliarden Jahren beginnt und deren Ausmaße mindestens global sind, kommt einer Veränderung des Maßstabs von (annähernd) menschlicher zu kosmischer Größe gleich, die sowohl innerhalb als auch außerhalb wissenschaftlicher Diskurse weitreichende Auswirkungen hat.⁵ Während die Definition von Klima als »history of weather – the average state of the atmosphere over periods of years, decades, centuries, and more«⁶ zunächst einleuchtet, geht mit ihr eine Erhöhung des Datenvolumens einher, deren Auswertung und Deutung durch Menschen praktisch nicht zu leisten ist. Gleichzeitig betritt ein Phänomen die Bühne, das durch traditionelle Deutungsmuster nicht einzuhegen ist, sondern ganz im Gegenteil zum Akteur einer umfassenden Umdeutung von Humangeschichte wird. Der Zusammenhang von Klima und Mensch bzw. menschlicher Geschichte ist, wie bereits gesagt, nicht neu⁷ – nur geht es eben nicht länger um Klimawandel als göttliche Strafe für menschliches Fehlverhalten. Vielmehr werden menschliches Fehlverhalten bzw. Fehleinschätzungen in Bezug auf das Klima für den Untergang ganzer Kulturen verantwortlich gemacht.⁸ Die daran oft angeschlossene Befürchtung, dieses Muster könne sich auch in der Gegenwart wiederholen und damit die Zukunft ›unserer‹ Gesellschaft gefährden, sowie Erzählungen vom Klimawandel als Vorboten einer Rache der Natur an den sie ausbeutenden Menschen⁹ vermischen Interpretationen der klimatologischen Datenflut mit Narrativen, die in Kombination den Eindruck erwecken, am Klima zeigten sich anthropologische Konstanten in der Beziehung von Mensch und Natur. Das Nachdenken über Klima als eines in der beschriebenen Weise problematischen Gegenstandes modernen Wissens erfordert demnach Zugriffs- und Repräsentationsweisen innerhalb und außerhalb der Wissenschaften, die in der Lage dazu sind, den globalen und tiefenzeitlichen (unmenschlichen) Maßstab dieses Wissens in einer Weise zu verarbeiten, die Klima intelligibel macht und damit als Objekt/Phänomen überhaupt erst entstehen lässt. Darüber hinaus jedoch, so wird bereits deutlich, erfordert das Aufeinandertreffen und die Vermischung der verschiedenen Umgangsweisen mit dem gewandelten Klima(begriff) Moderation auf kultureller Ebene, um einer Naturalisierung¹⁰ bestimmter Haltungen und Vorstellungen vorzubeugen. All diese Umgangsweisen mit dem unheimlichen Klimawissen lassen sich als Modell bzw.

3 Vgl. Paul Edwards: *A Vast Machine. Computer Models, Climate Data and the Politics of Global Warming*, Cambridge, MA 2010, S. xiv; sowie bei Stehr/von Storch: *Klima, Wetter, Mensch* (Anm. 1): »Statistik des Wetters«, S. 17.

4 Eva Horn: *Zukunft als Katastrophe*, Frankfurt a. M. 2014, S. 110.

5 Vgl. Timothy Clark: »Scale«, in: Tom Cohen (Hg.): *Telemorphosis. Theory in the Era of Climate Change* (Critical climate change, 1), Ann Arbor 2012, S. 148–166.

6 Edwards: *A Vast Machine* (Anm. 3), S. xiv.

7 Vgl. dazu in diesem Band Hanna Hamel: »Klimatologie als Anthropologie. Modellierung von Natur im späten 18. Jahrhundert«, S. 78–89.

8 Vgl. Jared Diamond: *Collapse. How Societies Choose to Fail or Survive*, London/New York 2011.

9 Wie zum Beispiel die berühmte Gaia-Theorie James Lovelocks, ders.: *Gaia, a New Look at Life on Earth*, Oxford 1979 und *The Revenge of Gaia: Earth's Climate in Crisis and the Fate of Humanity*, New York 2006.

10 Vgl. Roland Barthes: *Mythen des Alltags*, Berlin 2012 (Orig. *Mythologies*, 1957).

als Praktiken des Modellierens beschreiben, erfordern also umso mehr eine genaue Untersuchung ihres Kontextes, ihrer Struktur und ihrer Funktion im Rahmen kultureller Verständigung über das Klima.

Modell und Kritik

Modelle sind nicht erst seit der Einführung leistungsfähiger Computertechnik Mitte des 20. Jahrhunderts der zentrale Garant der Wissenschaftlichkeit klimatologischer Forschung. »Klimamodelle nehmen für die Klimaforschung den Platz der experimentellen Anordnung ein.«¹¹ Ein Modell lässt sich in diesem Fall als »ein mathematisches Konstrukt« begreifen, »das die Funktion des Gesamtsystems durch das Kombinieren von Komponenten, die die Gesamtheit aller signifikanten Prozesse erklären, bevorzugt durch das Verwenden von Grundprinzipien wie Massen- oder Energieerhalt, darstellt.«¹² Paul Edwards zufolge hält mit der Veröffentlichung von »Limits to Growth«, dem Bericht des Club of Rome über die katastrophalen Auswirkungen eines unkontrollierten globalen Bevölkerungswachstums, Modellwissen erstmals als »primary technology of environmental knowledge«¹³ Einzug in die öffentliche Debatten. Auch wenn es im Bericht des Club of Rome (noch) nicht um Klima geht, ist die Popularisierung des Computer-basierten Modellierens von Wissens für Debatten über und Darstellungen von Klima entscheidend. Der Einsatz von Computern erlaubt es erstmals die Datenmenge, die Phänomene globalen Ausmaßes notwendig hervorbringen, unter Annahme verschiedener Variablen zu berechnen, und den Versuch zu unternehmen, ihrer Komplexität gerecht zu werden. Die seit der Mitte des 18. Jahrhunderts intensiv betriebene und erst im späten 19. Jahrhundert einigermaßen vereinheitlichte Aufzeichnung von Wetterdaten,¹⁴ die im 20. Jahrhundert durch die Auswertung gesellschaftlicher und natürlicher »Archive«¹⁵ erweitert wurde, kann durch diese Technik nicht nur geordnet und in verschiedenen Szenarien in Zusammenhang gebracht werden, sie kann darüber hinaus um die fehlenden Daten ergänzt werden. Sie wird überhaupt erstmals zu Wissen in eigentlichem Sinne.

Computer models hold the key to transform these information resources into knowledge. If you use a lot of sensors, you are going to need data models to make their signals into meaningful information. If you want to mine data created by somebody else and blend it with your own, you will need data models. If you want to do experiments on scales you can't access or involving materials you can't handle, you will use a simulation model. If you want to look at long time scales, blending data collected at many places and times by many investigators into a common data set, you will need models to reconcile the differences.¹⁶

In Edwards' Einführung erfüllen Computermodelle die Funktion eines nahezu universalen Werkzeugs, ohne das Klimawissenschaft im heutigen Sinne gar nicht denkbar wäre. So formuliert, lässt sich ihre Bedeutung gar nicht unterschätzen, denn nicht nur funktionieren sie wie ein Katalysator, der Berechnungsprozesse vor allem beschleunigt, weil er Datenmengen verarbeiten kann, die menschliche Fähigkeiten (und Lebenszeit) schon quantitativ überfordern; hier werden Computermodelle gar zum Garant

11 Stehr/von Storch: *Klima, Wetter, Mensch* (Anm. 1), S. 14.

12 Ebd. Vgl. auch Peter Müller/Hans von Storch: *Computer Modelling in Atmospheric and Oceanic Sciences – Building Knowledge*, Heidelberg 2004.

13 Edwards: *A Vast Machine* (Anm. 3), S. 371.

14 Vgl. ebd.

15 Vgl. Wolfgang Behringer: *Kulturgeschichte des Klimas: Von der Eiszeit bis zur globalen Erwärmung*, München 2011.

16 Edwards: *A Vast Machine* (Anm. 3), S. xix.

einer nahezu optional funktionierenden Wissenschaft. Dieser Eindruck kann entstehen, weil Edwards die Schlüsselrolle der Modelle für wissenschaftliche Kommunikation in den Vordergrund stellt: sie ermöglichen die Transformation gesammelter Daten in sinnvolle (*meaningful*) Informationen; sie erlauben es, eine gemeinsame Datengrundlage (*common data sets*) herzustellen und sogar Differenzen zu versöhnen (*reconciling differences*). Insbesondere Letzteres lässt im Zusammenhang mit wissenschaftlicher Kommunikation, speziell über das Klima und den Klimawandel, aufhorchen. Zunächst fasst Edwards hier zwei Phasen der Datenverarbeitung zusammen, die er in den Kapiteln »Making Global Data«¹⁷ und »Making Data Global«¹⁸ ausführlich betrachtet. Denn die Sammlung und Aufzeichnung von Messwerten, die es erlauben, das Klima im globalen Maßstab zu untersuchen, ist nur der erste Schritt, der ohne eine Standardisierung und Angleichung unterschiedlicher Datensets müßig wäre. Die in seiner einführenden Darstellung verkürzenden Formulierungen gehen bewusst über Schwierigkeiten hinweg, die inner- und außerwissenschaftlich zu den zentralen Streitpunkten um die Einschätzung gegenwärtiger und für die Zukunft angenommener Veränderungen des globalen Klimas zählen. Die Veränderung von Datensets, ihre Übersetzung in Elemente, die im Modell verarbeitet werden können, sowie die durch Modelle erschlossenen Ergänzungen fehlender und unvollständiger Werte machen Computermodelle zum unverzichtbaren Werkzeug der Klimawissenschaften. Gleichzeitig wird hier bereits deutlich, inwiefern sich am Klimawissen Macht und Ohnmacht der modernen Wissenschaften zeigen. Die Errungenschaft, die die Modellierung darstellt, wird gleichzeitig – in der öffentlichen, teilweise ideologisch verzerrten und manipulierten Wahrnehmung¹⁹ – zu ihrem größten Schwachpunkt. Nicht nur werden die Angleichung und Ergänzung von Daten gegenüber vermeintlich ›harten‹ Fakten als Fälschung inszeniert, ihr prognostischer Wert wird allenthalben in Frage gestellt und zur Profilierung des eigenen Ansatzes bzw. der eigenen Überzeugung genutzt. So hält beispielsweise der Kulturhistoriker Wolfgang Behringer in seiner *Kulturgeschichte des Klimas* fest: »Die Zukunft ist schwer vorhersagbar. Seriöse Wissenschaftler sollten sich hüten, in die Rolle des *Nostradamus* zu schlüpfen. Computersimulationen sind nicht besser als die Prämissen, unter denen die Daten eingegeben werden, sie bilden Erwartungen ab, nicht Zukunft. Die Geschichte der Naturwissenschaften ist auch eine Geschichte der falschen Theorien und Fehlprognosen.«²⁰ Es sei, so Behringer, aufschlussreich, sich die »Ungenauigkeit der naturwissenschaftlichen Datierungsmethoden« vor Augen zu führen, die kalibriert werden müssten, »um in den Status der Brauchbarkeit« überführt werden zu können.²¹ »Nur über die historische Chronistik ist es möglich, die ›exakten‹ Naturwissenschaften auf die richtige Bahn zu bringen. Geisteswissenschaftler – das sei zum Jahr der Geisteswissenschaften gesagt – sind ein solches Ausmaß an Unexaktheit nicht gewohnt.«²² Auch wenn dies nicht der Ort ist, Behringers Behauptungen im Detail zu untersuchen, können sie dennoch als anschauliches Beispiel dafür dienen, mit welchem Nachdruck der Einsatz von Modellen selbst dort für Kritik sorgt, wo die Argumentation zu einem nicht geringen Teil auf den Resultaten modellbasierter Forschung beruht. Dabei geht es allerdings nicht bloß um ein Unverständnis der ›two cultures‹ (C.P. Snow) für die jeweils anderen Methoden und Interessen oder um Missverständnisse zwischen Laien und Experten.

Es handelt sich, mit Bruno Latour gesprochen, um hybrides Wissen, das die Trennung von Natur und Gesellschaft als ineffektiv ausstellt.²³ Analog zu den miteinander verschmolzenen bzw. versöhnten Datensätzen enthält die Rede über das Klima (nicht das Wetter) Anteile wissenschaftlicher, politischer und

17 Ebd., S. 187–227.

18 Ebd., S. 251–285.

19 Vgl. ebd., »Signal and Noise: Consensus, Controversy, and Climate Change«, S. 397–430.

20 Behringer: *Kulturgeschichte des Klimas* (Anm. 15), S. 287.

21 Ebd.

22 Ebd.

23 Vgl. Bruno Latour: *Wir sind nie modern gewesen*, Frankfurt a. M. 2008.

kultureller Vorbedingungen, die stärker hervortreten als an jedem anderen Wissensbestand, weil ›das Klima‹ als Risiko und Bedrohung für menschliche Gesellschaften inszeniert wird. In der öffentlichen Wahrnehmung sind Klimawissenschaft und ihre Auswertung, etwa durch das IPCC, nicht mehr zu trennen, so dass die Vermischung verschiedener Interessen in hohem Maße sichtbar wird. Allerdings ist es kaum denkbar, über die Ursachen von Klimaveränderungen außerhalb rationaler und wissenschaftlicher Diskurse zu sprechen,²⁴ so dass die einzige Möglichkeit, effektive Kritik anzubringen, darin besteht, die Ausgangssituationen anzugreifen. Schwierig wird das im Fall von Modellen besonders dort, wo die Kritik im Grundsatz unbestreitbar ist. Die Abhängigkeit wissenschaftlicher Forschung von herrschenden Weltbildern, die als »Leitmodelle« vorprägen, was als Resultat überhaupt denkbar ist,²⁵ ist ebenso unbestritten wie die Schwierigkeit die ›richtigen‹ Ausgangsdaten zur Berechnung und Simulation eines so komplexen, wenn nicht gar chaotischen Systems wie des globalen Klimas zu wählen.²⁶ Weltbilder als Leitmodelle wissenschaftlicher Tätigkeit sind eine grundsätzliche Voraussetzung jeglicher Zukunftsprognose. »Sie erlauben ganz allgemein Projektionen, die uns als in ihrer Erkenntnis immer begrenzten menschlichen Wesen vor gänzlicher Orientierungslosigkeit bewahren.«²⁷ Dass damit Natur- ebenso wie Geisteswissenschaften davon bestimmt sind, welche Erwartungen der Forschung vorausgehen, sei nur am Rande erwähnt. Wichtiger ist, dass in der Debatte über Klima und Klimamodelle Weltbilder unterschiedlicher Provenienz aufeinander prallen, obwohl das »Komplexitäts-Modell [als leitendes Weltbild, SN] auf dem Wege [ist], eine Selbstverständlichkeit zu werden« und niemand mehr erwartet, »der Kosmos lasse sich mit wenigen mathematischen Formeln oder einigen Grundaussagen erfassen.«²⁸ Was Claus Pias für Klimasimulationen festhält, lässt sich in diesem Sinne erweitern: »Sie operieren [...] selbstbewusst damit, dass ihr Wissen immer schon mit einem hypothetischen Index versehen ist, bekennen sich zu ihrer Fiktionalität, positionieren sich in einem Bezugsrahmen, thematisieren ihre Performanz, wissen um ihre problematische Genese und spezifizieren ihre limitierte Geltung.«²⁹ Dennoch bleibt offenbar die Erwartung an die (Natur-)Wissenschaften erhalten, unumstößliche Fakten zu liefern und ›Wirklichkeit‹ zu enthüllen. Genau darin liegt aber, so Günter Abel, der grundsätzliche Fehler, denn Modelle als »Zeichen- und Interpretationskonstrukte«³⁰ müssen nicht nur mit der Wirklichkeit übereinstimmen, sie formulieren auch daran mit, was als Wirklichkeit angesehen wird.³¹ Es gibt dementsprechend nicht eine einzige ›richtige‹ Relation zwischen Modell und Wirklichkeit, sondern »zu viele« gleichermaßen gut korrespondierende Relationen, weil es eben keinen Zugang zur »gänzlich uninterpretierten Welt« gibt.³² »In diesem Sinne sind Zeichen- und Interpretationsverhältnisse (und *nicht* etwa eine vorgefabriziert fertige daliegende Realität im Sinne von ›Dingen-an-sich‹ oder ›Eigenschaften-an-sich‹) konditional für Modellbildungen und für Modellapplikationen, nicht umgekehrt.«³³ Im Zuge der Kritik an der Unfähigkeit der Klimawissenschaften mit ihren Modellen anderes als Wahrscheinlichkeiten für die Zukunft auszudrücken, geht der Umstand verloren, dass damit Wirklichkeit und Zukunft zu gestaltbaren Größen werden. Nicht nur das Mehr an Wissen erhöht seine Unheimlichkeit, sondern auch die Erkenntnis des bereits sichtbaren Einflusses des

24 Beispielsweise indem die festgestellte Zunahme extremer Wetterereignisse als Strafe Gottes interpretiert würde – wobei, wie Behringer überzeugend festhält, die Rede von ›Umweltsünden‹ ebendiese Muster aufgreift. Vgl. Behringer: *Kulturgeschichte des Klimas* (Anm. 15), S. 275–288.

25 Vgl. Hans Poser: »Modelle, Simulationen, Weltbilder. Der Aufbruch in die Komplexität«, in: Ulrich Dirks/Eberhard Knobloch (Hg.): *Modelle*, Frankfurt a. M./Berlin/Bern 2009, S. 173–186, hier S. 174, und Günter Abel: »Modell und Wirklichkeit«, in: Dirks/Knobloch: *Modelle*, S. 31–45, hier S. 31.

26 Klaus Mainzer: »Chaos und Selbstorganisation. Modelle komplexer Systeme in Natur und Gesellschaft«, in: Dirks/Knobloch: *Modelle* (Anm. 25), S. 149–172.

27 Poser: »Modelle, Simulationen, Weltbilder« (Anm. 25), S. 184.

28 Ebd.

29 Claus Pias: »Klimasimulation«, in: *2° Grad. Das Wetter, der Mensch und sein Klima*, Göttingen 2008, S. 108–115.

30 Abel: »Modell und Wirklichkeit« (Anm. 25), S. 33.

31 Ebd., S. 35.

32 Ebd.

33 Ebd., S. 37.

Menschen auf dieses unsichtbare System. Der tiefenzeithliche und globale Maßstab des Klimas wird in Klimamodellen mit ›der Menschheit‹ als Akteur konfrontiert.

Modelle der Klimaimagination

Die konkreten Bedingungen und Techniken des Modellierens globaler Klimasysteme bleiben ebenso wie ihr Gegenstand für die meisten Menschen unverfügbar. Trotzdem wird die Diskussion ihrer Validität und Anwendbarkeit, das heißt, die Frage ob, (Computer-)Modelle in der Lage sind, Wirklichkeit abzubilden und damit Forderungen nach (politischem) Handeln zu legitimieren, zum Teil von Klimaimaginationen. Auch wenn also das Klima selbst weiterhin unsichtbar und unheimlich bleibt, rückt es als »eine Abstraktion aus der flüchtigen Unendlichkeit einander ablösender Wetterzustände«³⁴, die existentiell in Beziehung zu menschlichen Individuen und Kollektiven steht, ins Bewusstsein.³⁵ Damit werden literarische und filmische Fiktionen zu einem Ort, an dem einerseits Bilder und Narrative über Klimawirklichkeiten und -zukünfte produziert werden, andererseits aber auch ihr Zustandekommen und ihre Legitimität reflektiert und auf die Probe gestellt werden können. Modelle und Literatur haben eine fundamentale Gemeinsamkeit: sie müssen ›das Klima‹ als ihren Gegenstand zuallererst herstellen. Obwohl die dahin führenden Techniken einander zum Teil entgegengesetzt sein mögen, lässt sich schon hier festhalten, dass Wissenschaft und Literatur unterschiedliche (epistemologische) Dimensionen ein und desselben Projekts bearbeiten: Wissen über das Verhältnis zwischen Mensch und Klima auszuloten und die (unheimlichen) Folgen dieses Verhältnisses, aber auch des Wissens, zu bewältigen.

Die Rede vom Klima ›zwischen‹ Wissenschaft und Literatur führt (auch im Titel dieses Textes) dabei insofern in die Irre, als sie beide Diskurse einander gegenüberstellt, wo sie sich eigentlich vermischen. Dafür muss der wissenschaftliche Diskurs gar nicht erst verlassen werden. Versteht man Klimawissen als hybrides Wissen, ist es, wie jedes moderne Wissen, Teil eines Netzwerks von Praktiken, Institutionen und Interessen, die seinen Status sichern oder gefährden können, die es zuallererst aber als wissenschaftswert inszenieren. Am Klima tritt dieses Netzwerk vielleicht deutlicher zutage als an anderen Wissensbeständen, weil es für so viele Bereiche unmittelbar von Bedeutung ist. Dass das so ist, liegt vor allem daran, dass das Klima in einer Reihe einflussreicher Narrative als Akteur erscheint. Prominent sind hier vor allem Erzählungen vom Klima(wandel) als Agent eines drohenden (Welt-)Untergangs, die besonders deswegen so erfolgreich sind, weil sie nicht von außen an die Wissenschaften herangetragen werden, sondern Ergebnis probabilistischer Prognosen sind. Die Vermischung erzählerischer und wissenschaftlicher Praktiken geht über die Unterfütterung traditioneller (apokalyptischer) Narrative mit ›Fakten‹ aktueller Forschung noch hinaus. Gabriele Gramelsberger zufolge bilden Erzählungen den Kern, sogar die Voraussetzung erfolgreicher (Simulations-)Modelle: »a simulation model has to tell a coherent and logically consistent story if it wants to run.«³⁶ Die Transformation von Signalen in sinnvolle Informationen entspricht im Simulationsmodell einer Ordnung von Daten entlang einer ›story line‹, von deren Funktionieren nicht nur die Kommunizierbarkeit, sondern auch die Plausibilität der Ausgangsdaten abhängt. Das selbstbewusste Bekenntnis zu ihrer Fiktionalität³⁷ ist, versteht man Wissenschaft in diesem Sinne als »story telling bu-

34 Horn: *Zukunft als Katastrophe* (Anm. 4), S. 111.

35 Besonders einleuchtend wird das an Slogans, die angesichts neuer Erkenntnisse in den Wissenschaften konkret zu Verhaltensänderungen aufrufen: »Whatever you think of it as a political principle, ›Think globally, act locally‹ remains arresting in its boldness. [...] It asserts an intimate relationship between two vastly different scales: macro, world-scale environmental and economic systems, on the one hand, and the micro sphere of individual choice and action, on the other. It extends an arrow of agency, comprehending macro effects as the result of vast aggregations of micro causes. Thus it locates the meaning of individual action in its relationship to the gigantic whole. Finally, it affirms that global change matters so deeply that it should occupy the intimate corners of everyday awareness and guide each person's every choice.« Edwards: *A Vast Machine* (Anm. 3), S. 1.

36 Gabriele Gramelsberger: »Story telling with Code – Archaeology of Climate«, in: *TeamEthno 2* (June 2006), S. 77–84, hier S. 80. Vgl. hierzu auch dies.: *Modelling Computerexperimente. Wandel der Wissenschaft im Zeitalter des Computers*, Bielefeld 2010.

37 Vgl. Pias: »Klimasimulation« (Anm. 29).

siness«³⁸, also keine Überraschung, weil ›story line‹ zunächst vor allem eine logisch kohärente Folge von Ereignissen meint. Es bleibt aber nicht bei dieser Form des rudimentären Erzählens: »The abstract story of global climate circulation has inappreciably transformed into a story of global climate change containing all the references of a good story: drama, actors, interesting locations and enormous catastrophic potential.«³⁹ Über ihre doppelte epistemische Funktion als Theorie und Labor des Klimas⁴⁰ hinaus, ermöglichen Praktiken des Modellierens eine Haltung gegenüber der Imagination ihrer Forschungsgegenstände, die öffentlichen Erwartungen an ›hard science‹ diametral entgegen zu stehen scheint.⁴¹

Fiktionale Bearbeitungen von Klimawissen, die außerhalb des fachwissenschaftlichen Kontextes entstehen, treten damit in ein Spannungsverhältnis zu den Modellen der Klimatologie, das sich weder in ihrem unterschiedlichen epistemischen Status noch in den Techniken ihrer Herstellung oder im Hinblick auf unterschiedliche Zielgruppen erschöpft. Vielmehr lässt sich gerade an jüngsten Beispielen eine wechselseitige Bezugnahme erkennen, die oftmals auch in Para- und Peritexten Ausdruck findet. Dabei geht es oft um eine Affirmation oder Abgrenzung von Wissenschaftlichkeit – beispielsweise ob ein bestimmter Text wissenschaftliche Fakten akkurat präsentiert oder ob Autoren literarischer Texte oder Regisseure und Drehbuchautoren Wissenschaftler bei der Erstellung von Szenarien beraten haben oder auch umgekehrt.⁴²

Interessanter sind jedoch solche Bezüge, die sich auf formaler und inhaltlicher Ebene abspielen, ohne dabei notwendigerweise der Legitimation oder dem Marketing der vorliegenden Texte zu dienen. Solche Übereinstimmungen ergeben sich einerseits daraus, dass sich, so Günter Abel, Relationsverhältnisse zwischen Realität und Modell stets in Sprache vollziehen, und andererseits aus der wechselseitigen Übernahme von Perspektiven und Modellen im Sinne von Vorbildern. Die »Normalisierung der planetarischen Perspektive« hat, so Ralf Konersmann, »weitreichende Konsequenzen für die Weltstellung des Menschen«⁴³, weil sie zu einem Teil beider Diskurse wird. Ebenso finden sich Szenarien- und Szenarientypen – vor allem Katastrophenszenarien vom nuklearen Winter bis zu J.G. Ballards *Water Worlds* – in beiden Sphären und führen damit nicht nur zu enormer Verbreitung, sondern sie sind in der Lage, die für die jeweiligen Bearbeitungstechniken nicht zugänglichen Folgen auszuloten und zu extrapolieren. Ich möchte, ohne damit Vollständigkeit zu beanspruchen, hier einige Klimafiktionen anhand dreier Schwerpunkte in Bezug auf Klimawissen und -modelle vorstellen:

1. die Infragestellungen des Status und der Legitimität von (katastrophalem) Klimawissen
2. die Explorationen von Klimazukünften im Gedankenexperiment/Szenario
3. Klimawissen als Bestandteil nicht-katastrophischer Biographien.

(1) Der wohl berühmteste Text, der die Legitimität des aus Klimamodellen gewonnenen Wissens in Frage stellt, ist Michael Crichtons 2004 erschienener Thriller *State of Fear*.⁴⁴ Im Verlauf der Handlung decken die Protagonisten auf, dass die Angst vor den Folgen des anthropogenen Klimawandels Ergebnis einer globalen Verschwörung ist, die aus Gewinn- und Machtgier wissenschaftliche Tatsachen ideologisch überfrachtet und für ihre eigenen Zwecke einsetzt. Den Roman als Unterhaltungsliteratur oder Verschwö-

38 Gramelsberger: »Story Telling« (Anm. 36), S. 79.

39 Ebd., S. 80, Hervorhebung SN.

40 Vgl. ebd., S. 84.

41 »Dealing with code introduces a creative attitude to science in the manner of telling stories and playing around with possible scenarios, but also of extrapolating theory under virtual circumstances and creating new objects, technologies and realities.« Ebd.

42 Ein interessanter Fall ist hierfür Roland Emmerichs Film *The Day after Tomorrow*. Die Unwahrscheinlichkeit des Szenarios eines (höchst) abrupten Klimawandels, wie es der Film zeigt, mag an Unmöglichkeit grenzen, doch der Streit, ob die *message* des Films ihn nicht dennoch zum nützlichen Modell für Klimawandeldiskussionen eignet, dauert an. Vgl. David A. Kirby: *Lab Coats in Hollywood*, Cambridge, MA 2011, S. 177–784.

43 Ralf Konersmann: »Unbehagen in der Natur«, in: *2° Grad* (Anm. 29), S., 32–37, hier S. 32.

44 Michael Crichton: *State of Fear*, New York 2004.

rungstheorie abzutun, greift schon deswegen zu kurz, weil Crichton eine Reihe von Maßnahmen ergreift, um seine fiktionale Handlung in ein Relationsverhältnis zur Wirklichkeit zu setzen, das nicht nur einen ›wahren Kern‹ suggeriert, sondern Überlegenheit demonstrieren soll. Einerseits bedient er sich auf der Figurenebene Lehrer-Schüler-Verhältnissen, die es erlauben, Figuren und Leser/innen gleichzeitig zu informieren und zu überzeugen. Indem er so die Konversion zuerst skeptischer, das heißt in diesem Fall von der Faktizität des anthropogenen Klimawandel überzeugter Figuren Schritt für Schritt nachvollziehbar macht, erfüllt er zunächst eine Genre-Konvention, die zum Beispiel auch in den Verschwörungserzählungen Dan Browns zum Einsatz kommt. Die dabei zum Einsatz kommenden Graphen, Temperaturtabellen und Klimakarten persiflieren wissenschaftliche Texte und Argumentationspraktiken, während der Text gleichzeitig die Legitimität seiner Wirklichkeitsversion auf den gleichen Techniken basiert – die extensive Bibliographie im Paratext dient ebendiesem Zweck. Was Crichtons Roman so erfolgreich und, je nach Perspektive, gefährlich macht, ist, dass der an den Daten geäußerte Zweifel auch innerhalb des wissenschaftlichen Diskurses immer wieder laut wird. Crichtons Verschwörungsnarrativ ordnet Daten und Zweifel in einer Weise, die Chaos und Kontingenz erzähllogisch nivelliert und damit – weil es von einem Wissenschaftsverständnis ausgeht, das die produktive Existenz von Nichtwissen und Unsicherheit ausschließt⁴⁵ – gegenüber vermeintlich ideologisch instrumentalisiert Wissenschaft privilegiert. Diese Form der Leugnung des anthropogenen Klimawandels beruht auf der Unsichtbarkeit und Komplexität des (Welt-)Klimas und profitiert – so zeigt zum Beispiel Mike Hulme – von der Auffassung, dass nur solches Wissen, das unmittelbar nachvollziehbar ist, legitim sei.⁴⁶ *State of Fear* lässt sich also doppeldeutig lesen – als Angstzustand und dem auf diesem beruhenden Herrschafts-/Regierungsprinzip, einem Staat der Angst. Die Angemessenheit des Angstzustands und der paranoiden Ahnung selbst zu stärken, ist ein Gegenentwurf zur Verschwörungstheorie Crichtons, die zum Beispiel in Jeff Nicholls Film *Take Shelter* (2011) erkundet wird.⁴⁷

(2) Weitaus verbreiteter und mit der modernen Tradition der Imagination von Klimadesastern verbunden, sind fiktionale Entwürfe von Klimazukünften. Das Paradebeispiel – Roland Emmerichs *The Day after Tomorrow* aus dem Jahr 2004 – soll auch hier kurz genannt sein, schon weil es politisch, aber eben nicht erzählerisch als Gegenmodell zu Crichtons Thriller gelesen werden kann. Hier ist es der Klimatologe, der als Vertreter der aufgeklärten Wissenschaft und Menschheit – ungehört und verlacht – nicht nur gegen die ebenso übermächtigen wie fehlgeleiteten Autoritäten, sondern schließlich auch gegen den Klimawandel selbst zu kämpfen hat. Auch Emmerichs Film benutzt Symbole und Insignien wissenschaftlichen Arbeitens und paratextuelle Beteuerung seiner ›Faktizität‹, um das vorgeschlagene Szenario als Wirklichkeit zu legitimieren.

Komplexere Entwürfe von Klimazukünften hingegen kommen oft ohne derart heroische Wissenschaftler und Verschwörungstheorien aus – der Bezug zu Wissenschaft und Klimamodellen wird trotzdem nicht aufgegeben. Genannt seien hier exemplarisch Cormac McCarthys *The Road* (2006) und Dietmar Daths *Die Abschaffung der Arten* (2008). Beide Romane entwerfen Szenarien, die ein Leben nach dem Ende der Menschheit als dominanter Spezies des Planeten imaginieren. Während McCarthys post-apokalyptische

45 In dieser Hinsicht ist besonders Crichtons »Author's message« interessant, in der stichpunktartig die von Crichton in drei Jahren Lektüre von »environmental texts« gewonnenen Überzeugungen wiedergegeben werden sollen. Diese dienen dazu, die im Text inszenierten Zweifel als von einer unabhängigen Instanz verifiziert zu markieren. Schließlich stehe der Schriftsteller nicht im Dienste einer wissenschaftlichen Institution. Der letzte Punkt »Everybody has an agenda. Except me« mag als Scherz daher kommen, fasst jedoch die vorangegangene Selbstinszenierung treffend zusammen. Vgl. ebd., S. 569–573.

46 Vgl. Mike Hulme: »The conquering of climate: discourses of fear and their dissolution«, in: *The Geographical Journal* 174 (March 2008) 1, S. 5–16 und ders.: *Why We Disagree about Climate Change Understanding Controversy, Inaction and Opportunity*. Cambridge/New York 2009.

47 Vgl. Horn: *Zukunft als Katastrophe* (Anm. 4), S. 323–340. Solvejg Nitzke: »Is there an End to it? Fictional Shelters and Shelter-fiction«, in: Angela Krewani/Karen Ritzenhoff (Hg.): *The Apocalypse in Film. Dystopias, Disasters, and Other Visions about the End of the World*, Lanham 2016, S. 79–90.

Welt jedoch den denkbar lebensfeindlichen Bildern des »nuklear winter« ähnelt,⁴⁸ in denen die Überlebenden nicht mehr sind, als die, die *noch* nicht gestorben sind, entwirft Dath eine weit entfernte Zukunft, die Lebensentwürfen und -formen abseits des Menschlichen Raum gibt. Als zwei Extreme der gleichen Idee gelesen, erkunden beide Texte das Klima als eigentliches Element des Menschen.⁴⁹ McCarthys tote Welt radikalisiert und reduziert die *conditio humana* bis auf wenige Ausnahmen auf Hobbes'sche Raubtierdimension, während die Abschaffung des Menschen und mit ihm jeder Artengrenze bei Dath eine »Befreiung«⁵⁰ von sämtlichen »natürlichen« Zwängen und Einschränkungen bedeutet. Das Ende von *Die Abschaffung der Arten* bildet ein paradiesisches Gegenstück zu McCarthys Aschewelt: die Erde als realisierter Garten Eden ohne Mangel und ohne Zerstörung, jedoch auch ohne Zeit und damit als gleichermaßen statischer, musealer Ort ohne Leben. Die Implikationen, die diese Gegenüberstellungen statischer und dynamischer Vorstellungen von Klimazukünften für die Implementierung von Mitigations- und Adaptionsstrategien aktueller Klimapolitik haben könnten, gilt es an anderer Stelle weiter zu untersuchen.⁵¹

(3) Abseits der fiktionalen Realisierung von Szenarien und Klimazukünften können Modellierungen von Klima selbst zum Modell – im Sinne einer Vorlage oder eines Vorbildes – für Erzählungen werden. Beispiele dafür lassen sich vor allem in Texten finden, die Reisen in extreme Klimata thematisieren. So zum Beispiel Christoph Ransmayrs Romane *Die Schrecken des Eises und der Finsternis* (1984) und *Der fliegende Berg* (2006), die, grob an Humboldts Klimazonenmodellen orientiert, Entwürfe von Biographien mit Bewegungen durch Klimazonen parallelisieren.

Ian McEwans Roman *Solar* (2010) und Jonathan Franzens *Freedom* (2011) wiederum wählen einen von den vorherigen Beispielen deutlich unterschiedenen Ansatz. Zwar sind die Protagonisten ebenfalls als Agenten von Klimadebatten markiert, jedoch spielen sich diese Debatten in einem dezidiert nicht katastrophischen Umfeld ab. McEwans Hauptfigur ist ein raffinierter Physik-Nobelpreisträger, der sich die Angst vor dem *Global Warming* zu Nutzen macht, um sich seine wissenschaftliche Reputation endlich vergolden zu lassen; bei Franzens ist es ein Umweltaktivist und Familienvater, dessen Ideale pausenlos in Konflikt mit pragmatischen und persönlichen Interessen geraten. Hier gibt es keine Verbote des bedrohlichen Wandels, die über das hinausgehen, was auch außerhalb der Romane in der Zeitung zu lesen ist. Interessant ist, dass sie dennoch ein Modell des Klimawandels entwerfen, das diesen, anstatt ihn ereignishaft zu gestalten, in seiner Unsichtbarkeit thematisiert. Wie auch in *State of Fear* werden Für und Wider der Prognosen thematisiert, hier allerdings nicht mit dem Ziel, Zweifel an der Anwendbarkeit zu säen, sondern im Hinblick auf die Frage, welche Rolle ein derart abstrakter Gegenstand in einem Leben praktisch spielen kann. Michael Beard, McEwans Protagonist, schlägt aus ihm Kapital, glaubt jedoch selbst nicht an seine Existenz. Sein Verhalten während eines Forschungsaufenthalts in Spitzbergen dokumentiert nicht nur seinen Opportunismus, sondern auch seine absolute Unfähigkeit, im Kontakt mit der Natur etwas anderes als eine Unbequemlichkeit zu sehen und sich dementsprechend sicher in einer »natürlichen« Umwelt zu bewegen:

48 Horn: *Zukunft als Katastrophe* (Anm. 4), S. 232–240.

49 Damit ließen sie sich auch in Anschluss an Konzeptionen des Klimas der frühen Moderne lesen: »Das Naturverständnis eines Goethe, Herder oder Humboldt erinnert daran, dass das Klima unser eigentliches Element ist und nicht der Störenfried einer intakten jederzeit wiederherstellbaren Ordnung der Dinge.« Konersmann: »Unbehagen in der Natur« (Anm. 43), S. 37.

50 Dietmar Dath: *Die Abschaffung der Arten*. Frankfurt a. M. 2010, S. 57.

51 Vgl. Solvejg Nitzke: »Die Verausgabung der Natur. Ökonomie und Artensterben in den Romanen Dietmar Daths«, in: Christiane Solte-Gresser/Claudia Schmitt (Hg.): *Literatur und Ökologie. Neue literatur- und kulturwissenschaftliche Perspektiven* (im Druck).

Perhaps he could only have avoided the inevitable if he had accepted one of the other invitations, to the Seychelles or Johannesburg or San Diego, or if, as he thought later with some bitterness, climate change, radical warming above the Arctic Circle, was actually taking place and was not a figment of the activist imagination. For when his business was done, he discovered that his penis had attached itself to the zip of his snowmobile suit, had frozen in hard along its length, the way only living flesh can do on sub-zero metal. [...] He saw Jock Braby on TV proclaim an obituary through a forgiving smile He went to see global warming himself. Nonsense, of course he would survive. But this was it, life without a penis. How his ex-wives, especially Patrice, would enjoy themselves. But he would tell no one.⁵²

Was ihn schließlich rettet, ist seine Trunksucht: mithilfe des Brandys, den er selbst noch im Polarkreis in der Schneeanzugtasche bei sich trägt, und seiner vagen Erinnerungen an sein Studium kann er das Schlimmste verhindern. In seinem Egozentrismus verkörpert er ein verkehrtes Ideal, insofern sein Handeln sich so fundamental auf ihn selbst konzentriert, dass er gleichzeitig zur Karikatur von Klimawandelleugner und -aktivist wird, ohne dass ein Unterschied in seinem Verhalten offenbar würde. Klima und Klimawandel sind für diese Figur nicht mehr als physische Belastungen bzw. ökonomische Gelegenheiten.

Franzens Walter Berglund hingegen ist so bemüht, sich für die Rettung des Planeten einzusetzen, dass er nahezu alle Phasen der Umweltbewegungen seit den 1970er Jahren durchläuft und schließlich angesichts des sich einstellenden Größenwahns seines Vorhabens aufgeben muss. Die pragmatischen Bedingungen und Anforderungen seines Lebens stehen fortlaufend in Konflikt mit seinen Überzeugungen, lassen sich jedoch problemlos in einen Lebensstil integrieren, der, gerade weil er einer gewohnten und anerkannten Norm entspricht, selbst unsichtbar wird und damit die Sphäre der Ideale nicht zu berühren scheint. Erst als dieses Familienideal zerbricht und er sich mit neuem Beruf und neuer Freundin vollständig anders ausrichtet, als er endlich die Gelegenheit bekommt, seine Ideale in die Tat umzusetzen und »etwas« zu tun, gerät er in Schwierigkeiten. Im Auftrag eines »good Texan«⁵³, der auf seine alten Tage beschlossen hat, eine Singvogelart vor dem Aussterben zu bewahren, ohne seinen republikanischen Geschäftssinn aufzugeben, versucht er einen »whole new approach to conservation«⁵⁴ umzusetzen. Unter dem Banner des *cerulean warbler* (Pappelwaldsänger) versucht Walter, dessen Brutgebiet endgültig von menschlicher Präsenz zu befreien. Um dieses Ziel zu erreichen, schließt er eine Art Pakt mit dem Teufel. Um das Gebiet ökonomisch endgültig uninteressant zu machen, soll es durch das sogenannte »MTR – mountaintop removal« zunächst vollständig ausgebeutet werden. Die Extraktion der Kohle im besagten Gebiet in Wyoming County durch MTR würde exakt so ablaufen, wie es der Name nahelegt. Die Sprengung der Gipfel erlaubt den Zugriff auf die Kohle, erfordert jedoch sowohl die Umsiedlung der dort lebenden Menschen, als auch die nahezu vollständige Zerstörung der Landschaft. Walter argumentiert jedoch, dass dieser pragmatische Zugriff der einzig vorstellbare Weg sei, das Habitat des Singvogels langfristig zu schützen. Während die südamerikanische Hälfte des »Pan-American Warbler Park«⁵⁵ bereits realisiert werden konnte (»A dollar still went fairly far in the southern hemisphere«⁵⁶), erweist sich Walters Vision in den USA als denkbar unpopulär. Der Idealist wird von allen Seiten dämonisiert, nur um schließlich von seiner eigenen Idee überholt zu werden und festzustellen, dass der Texaner ihn und seine Vision als bloße Fassade seiner eigentlichen ökonomischen Interessen benutzt hat. Auch sein darauf hin gefasstes

52 Ian McEwan: *Solar*, London 2010, S. 58 f.

53 »Walter was unaware of the concept of good Texans, the national news being so dominated by bad ones. [...] Haven was the Texan sort of nature lover who happily blasted cinnamon teal out of the sky but also spent hours raptly monitoring, via closed-circuit spycam, the development of baby barn owls in a nest box on his property, and could expertly rhapsodize about the scaling patterns on a winter-plumage Baird's sandpiper«. Ebd., S. 298.

54 Ebd., S. 209.

55 Ebd., S. 212.

56 Ebd.

Vorhaben, den Spieß umzudrehen und den »Trust« zur Umsetzung seiner schon im College erreichten Überzeugung zu nutzen, dass die Rettung der Welt einzig durch die Umkehrung des globalen Bevölkerungswachstums zu erreichen sei,⁵⁷ missglückt – nicht zuletzt deswegen, weil seine Frau ihn mit seinem besten Freund, dem Gesicht der Kampagne, betrügt und er plötzlich selbst (wieder) das Verlangen spürt, sich trotz allem mit seiner jungen Geliebten fortzupflanzen. Der in jeder Hinsicht gescheiterte Traum, ein gutes Leben zu führen, endet in dem verzweifeltsten Versuch, wenigstens seine Nachbarn zum Schutz der Singvögel zu bewegen. Vor dem Ende als einsamer Vogelnarr und Hauskatzenmörder⁵⁸ rettet ihn einzig die Versöhnung mit seiner Frau. Was in Hinsicht auf die Beziehung wie ein Happy Ending wirkt, besiegelt die endgültige Aufgabe jeglicher Bemühung, eine tatsächliche Veränderung der Welt im Sinne des Slogans »Think globally, act locally«⁵⁹ herbeizuführen.

Ohne dass also hier etwas *mit* dem Klima passiert, entwirft diese Spielart der Climate Fiction gewissermaßen eine eigene Art Klima zu modellieren, die sich von den oben beschriebenen Computermodellen der Klimawissenschaften grundlegend unterscheidet. Diese Literatur setzt sich gerade mit dessen Unverfügbarkeit auseinander und damit, dass dem »großen Unsichtbaren« nicht (mehr) zu entkommen ist. Deutlicher noch als die katastrophischen Klimanarrative zeigen diese Texte, warum sich Klima(wandel) mit Timothy Morton als viskoses (*viscous*), nicht-lokales (*non-local*) und intersubjektives *Hyperobject*⁶⁰ fassen lässt. Dieses Modell begreift das Klima als ein Phänomen, das sich einer totalen Perspektive entzieht, weil es den Betrachter nicht loslässt, dadurch weder einzuhegen noch zu leugnen ist. In diesem Sinne inszenieren die genannten Texte das »Quake in Being«⁶¹, das durch das Hyperobject Klima verursacht wird, in seiner Widersprüchlichkeit. Sie problematisieren Verantwortlichkeit und Schuld und beleuchten damit den menschlichen Anteil des *anthropogenen* Klimawandels auf eine Weise, die wissenschaftlicher Modellierung nicht zugänglich ist.⁶² Gerade Texte, die das Klima zwar thematisieren, in dieser Hinsicht aber ereignislos bleiben, sowie solche Texte, die sich nicht mit einer außertextuellen Rechtfertigung ihrer Szenarien als »faktisch« oder »wissenschaftlich« aufhalten, zeigen die Stärken narrativer Modellierung gegenüber wissenschaftlicher. Nur hier wird es möglich, Zukünfte und Wirklichkeit zu überblenden oder gar die Abstraktheit des Klimas anschaulich werden zu lassen. Während Erzählungen, »stories«, den Kern beider Varianten der (Klima-)Modellierung bilden, sind literarisch-fiktionale Modelle in der Lage, die nicht-logischen und nicht-kohärenten Geschichten zu erzählen, deren »Drama« und katastrophisches Potential im Spannungsfeld individueller und kollektiver Lebensentwürfe verbleiben und die Widersprüche aushalten können, ohne dass ihr Funktionieren dadurch gefährdet wäre. Besonders *Solar* und *Freedom* sind in dieser Hinsicht interessant. Ihre Erzählhaltung lässt es zu, beiden Texten eine affirmative Haltung zu Klima- und Umweltschutz zu unterstellen. Jedoch verweist die Form des realistischen Romans auf Konzepte von Individualität und (persönlicher) Freiheit, die, ebenso wie die Romanform selbst, als historische Errungenschaften gelten. Allerdings sind es Errungenschaften eben jener Epoche, deren technische Entwicklungen die Wandlung des Klimas zur Bedrohung desjenigen Lebensstils werden lassen, den sie zuallererst ermöglicht haben. In den Romanen wird damit einerseits die Schwierigkeit ausgelotet, sich von diesen gewohnten Wegen zu entfernen, andererseits aber auch die Frage gestellt, ob angesichts der globalen Bedrohung die Berechtigung individueller Lebensentwürfe automatisch verloren gehen darf. Das Scheitern beider Protagonisten beinhaltet die Möglichkeit, dass ihre Vorstellungen von Individualität und Freiheit und mit ihnen die Form, in der sie dargeboten werden, bereits überholt sind,

57 Ebd., S. 221.

58 Ebd., S. 541–561.

59 Vgl. Anm. 34.

60 Timothy Morton: *Hyperobjects. Philosophy and Ecology after the End of the World*, Minneapolis/London 2013, S. 1–24.

61 Ebd.

62 Vgl. hierzu Hans Posers Frage nach dem Platz des Menschen in Modellen; Poser: »Modelle, Simulationen, Weltbilder« (Anm. 25), S. 186.

oder ihr eigenes Ende mitschreiben. Gerade deswegen sind sie aber als Teil derselben Debatte, in der die Projektionen der Klimamodelle, Maßnahmen zur Verhinderung der *worst case scenarios* und die Frage danach, was es eigentlich zu bewahren gilt, einander gegenüberstehen, unverzichtbar.

Neoklassische Polychronie. Die Temporalitäten algebraischer Modelle bei Alfred Marshall

Andreas Langenohl

1. Einleitung: Temporalität in der ökonomischen Neoklassik und ihrer Kritik

Der vorliegende Aufsatz¹ befasst sich mit temporalen Uneindeutigkeiten ökonomischer Modellierungen, die einem Ansatz zugerechnet werden, der in der Wissenschaftsgeschichte der Ökonomik als ›Neoklassik‹ thematisiert wird und seit den 1870er Jahren vorgebracht wurde.² Die Neoklassik hat sich als enorm einflussreich in der Wirtschaftswissenschaft erwiesen; sie liegt beispielsweise der seit der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts zunehmende Eigenständigkeit erlangenden Finanztheorie (*Finance*) zugrunde und informierte auch die in den 1970er Jahren erstarkende Bewegung, makroökonomische Modellierungen auf Tauschvorgänge zurückzuführen, die sich auf der Mikroebene, d. h. zwischen einzelnen ökonomischen Akteuren (Arbeitern, Firmen, Haushalten etc.) abspielen.³

Die Neoklassik ist eine stark formalisierte ökonomische Theorie, die auf algebraischen Modellierungen beruht, d. h. auf Gleichungen und Ungleichungen, die jede für sich eine abgeschlossene, durch mathematische Relationen zwischen den Komponenten charakterisierte, formale Aussage darstellen. Inhaltlich ist sie durch folgende Kernkomponenten gekennzeichnet: einen subjektivistischen Wertbegriff, dem zufolge ökonomischer Wert sich allein aus dem individuellen Nutzen und den Präferenzen ökonomischer Akteure konstituiert; dessen Grundlegung in der so genannten Grenznutzentheorie, die besagt, dass der subjektive ökonomische Wert eines Guts in dem Maße abnimmt, in dem Bestände an diesem Gut besessen werden;⁴ ein verallgemeinerter Tauschbegriff, dem zufolge jegliche ökonomische Aktivität als Tauschvorgang begriffen werden kann, in dem Akteure auf der Grundlage ihrer Grenznutzenerwägungen Güter und Leistungen gegeneinander tauschen; schließlich ein hieraus resultierendes Postulat ökonomischen ›Gleichgewichts‹, d. h. die axiomatische Annahme, dass das freie Spiel des Tauschs auf der Grundlage von Grenznutzenerwägungen mit der Zeit zu einem ausgeglichenen Verhältnis zwischen Angebot und Nachfrage führt, was sich in der Stabilität von Preisen äußert, die dann als »Gleichgewichtspreise«⁵ angesehen werden. Auf

1 Ich danke Sebastian Giacovelli, Jens Maeße sowie den Herausgebern für ihre kritischen Lektüren einer früheren Fassung dieses Artikels.

2 Siehe für eine kritische Auseinandersetzung mit dieser Bezeichnung Maurice Dobb: *Wert- und Verteilungstheorien seit Adam Smith. Eine national-ökonomische Dogmengeschichte*, Frankfurt a. M. 1977, S. 199.

3 Gebhard Kirchgässner: *Homo oeconomicus. Das ökonomische Modell individuellen Verhaltens und seine Anwendung in den Wirtschafts- und Sozialwissenschaften*, 3. ergänzte und erweiterte Auflage, Tübingen 2008, S. 63–78.

4 Komplementär zum Grenznutzen sind die Grenzkosten, die allerdings konzeptuell dem Nutzen nachgeordnet bleiben, da sie im neoklassischen Ansatz tendenziell als entgangener Nutzen aufgefasst werden.

5 Alfred Marshall: *Principles of Economics*, London/Basingstoke 1961 [1890], S. 287.

der Grundlage dieser Axiomatik übersetzt die Neoklassik Wirtschaftsverhältnisse in Tauschverhältnisse und bringt sie in einen formalisierten, algebraische Symbole benutzenden Ausdruck, der dann seinerseits mit konkreten Werten gefüllt werden kann. Gerade die hierdurch ermöglichte Postulierung von ›Gleichgewichtspreisen‹ verschaffte der Neoklassik immensen Erfolg nicht nur in der Wirtschaftswissenschaft, sondern auch der Wirtschaftspraxis, weil aus der Differenz zwischen postulierten Gleichgewichtspreisen und empirisch beobachtbaren Preisen Anreize zum Handel entstehen.⁶

Die Frage der Zeitlichkeit steht seit der Kristallisation neoklassischen Denkens im Zentrum von kritischen Auseinandersetzungen, die zunächst die Wirtschaftswissenschaft beschäftigten, aber mittlerweile auch die breitere sozial- und kulturwissenschaftliche Debatte erreicht haben. Aus verschiedenen Richtungen wurde die neoklassische Axiomatik für ihre Blindheit gegenüber empirischen ökonomischen Prozessen kritisiert. Eine zentrale frühe Kritik, auf die auch der in diesem Aufsatz behandelte Alfred Marshall einging, betraf die sich aus der Gleichgewichtstheorie ergebene ›Statik‹ neoklassischer Modelle. Der Vorwurf lautete, dass die Gleichgewichtstheorie ein Bild der Wirtschaft zeichne, in dem Veränderungen einzig im Sinne eines Zustrebens auf einen Gleichgewichtszustand zwischen Angebot und Nachfrage berücksichtigt würden.⁷ Gebhard Kirchgässner bringt dies mit einem mechanistischen Denken in Verbindung, welches die Neoklassik aus physikalischen Gleichgewichtskonzepten importiert habe und das eine reversible Zeitlichkeit impliziere, die gegenüber historisch gerichteten Entwicklungen jeder Resonanz unfähig sei.⁸ John Maynard Keynes, der ebenfalls auf historisch-empirische Veränderungen von Marktverhältnissen abstellte, warf neoklassischen Modellierungen vor, zur Prognose und Steuerung wirtschaftlicher Prozesse ungeeignet zu sein.⁹ Die neuere Finanzsoziologie kritisiert an dem neoklassischen Modell ebenfalls eine gegenüber empirisch-historischen Marktentwicklungen unempfindliche Axiomatik, wie sie sich beispielsweise in der Finanztheorie ›rationaler Erwartungen‹ äußere, die durch die Inkorporation von Informationen auf ›effizienten‹ Märkten entstünden.¹⁰

Alfred Marshall ist in dieser Debatte deswegen eine interessante Figur, weil er dem Vorwurf gegen die ›Statik‹ der frühen neoklassischen Theorie, etwa bei William Jevons und vor allem Léon Walras,¹¹ durch den Versuch einer ›dynamischen‹ Gleichgewichtstheorie entgegentrat. Er unterbreitet einen Theorieentwurf, der Gleichgewicht nicht nur als Axiom setzt, sondern sich für die formale Rekonstruktion derjenigen ökonomischen Prozesse interessiert, die auf ein Gleichgewicht hinführen. Der vorliegende Artikel befasst sich mit diesem Versuch und stellt die *potenzielle temporale Vieldeutigkeit* ökonomischer algebraischer Formalisierungen, die Marshall als heuristische Instrumente der Präzisierung betrachtete, ins Zentrum der Analyse. Es geht somit um die Polychronie neoklassischer Formalisierungsversuche.

6 Donald MacKenzie: »Opening the Black Boxes of Global Finance«, in: *Review of International Political Economy* 12 (2005), S. 555–576.

7 Karl Pribram: *Geschichte des ökonomischen Denkens*, 2 Bände, Frankfurt a. M. 1998, S. 971–978.

8 Kirchgässner: *Homo oeconomicus* (Anm. 3), S. 271–280; vgl. auch Joseph Vogl: *Das Gespenst des Kapitalismus*, Zürich 2010, S. 53–82.

9 John Maynard Keynes: *A Tract on Monetary Reform* (= *The Collected Writings of John Maynard Keynes*, Vol. IV), London/Basingstoke 1971 [1923], S. 65; ders.: *The General Theory of Employment, Interest, and Money*, Amherst 1997 [1936], S. 157.

10 Andreas Langenohl: *Finanzmarkt und Temporalität. Imaginäre Zeit und die kulturelle Repräsentation der Gesellschaft*, Stuttgart 2007; ders.: »In the long run we are all dead: Imaginary Time in Financial Market Narratives«, in: *Cultural Critique* 70 (2008), S. 3–31; ders.: »A Critique of Organizational Capitalism: The Enabling Fiction of Market Efficiency in Financial Professionals' Narratives«, in: Laurent Bazin et al. (Hg.): *La mondialisation au risque des travailleurs*, Paris 2007, S. 219–242.

11 W. Stanley Jevons: *The Theory of Political Economy*. Houndmills, Basingstoke, Hampshire 2013 [1871]; Léon Walras: *Elements of Pure Economics, or The Theory of Social Wealth*, Homewood, Ill. 1954 [1926].

2. Algebraische Kommunikation in der Wirtschaftswissenschaft: Komplexitätsabbau durch Komplexitätsaufbau

Aus einer differenzierungstheoretischen Perspektive stellt die Emergenz der modernen Wirtschaftswissenschaft einen Prozess dar, in dem sich innerhalb des Feldes der Wissenschaften eine Disziplin formt, die einen spezifischen kommunikativen Code entwickelt, um nicht nur die Komplexität der Umwelt durch interne Komplexitätssteigerung zu bearbeiten,¹² sondern die dies im Gestus eines methodisch stringenten Erkenntnisgewinns als Letztgrund ihrer Existenz tut.¹³ Gerade die politische Ökonomie, so Michel Foucault, nahm für sich – besonders in der physiokratischen Doktrin – in Anspruch, gegenüber dem Postulat souveräner Herrschaft eine besondere Nähe zu empirischen Prozessmustern aufzuweisen, die jener Herrschaft entgehen mussten.¹⁴ Foucault weist ebenfalls darauf hin, dass die politisch-ökonomische Rationalität, insbesondere im modernen Liberalismus, *nicht* für sich in Anspruch nahm, politische Rationalitäten zu ersetzen oder zu usurpieren.¹⁵ Insofern lässt sich seine Genealogie durchaus an allgemeinere, aus der soziologischen Theorie bekannte differenzierungstheoretische Argumentationen anschließen. So ist etwa mit Niklas Luhmann davon auszugehen, dass die Ökonomik – wie andere Disziplinen auch – genuine Mechanismen der Komplexitätssteigerung entwickelte, die die Bearbeitung von Umweltkomplexität erlaubten. Es kommt nun darauf an, sich die Mechanismen, mittels derer die neoklassische Ökonomik nicht nur als Wissenschaft zu Tage trat, sondern »durch Begrenzung des Anschlußfähigen, durch strukturelle Selektion«¹⁶ Umweltkomplexität bearbeitete, genauer anzusehen.¹⁷

Komplexität bezeichnet nach Luhmann den Sachverhalt, dass in einer gegebenen Menge von Elementen nicht alle mit allen anderen verknüpft werden können, sondern nur spezifische Verknüpfungen existieren, die, sofern sie effektiv Anschlusskommunikation herstellen, den Status von Regeln annehmen. Der Umweltkomplexität wird somit mit der Herausbildung eines Sets von Verknüpfungsregeln derjenigen Elemente begegnet, die ein System kennzeichnen. In diesem Sinne meint Komplexitätssteigerung die Spezifizierung der Verknüpfungsregeln, d. h. die Reduzierung möglicher Typen von Verknüpfungen.¹⁸ Genau dieses tun algebraische Formalisierungen in Reinform, indem sie streng darauf hin orientiert sind, die Zahl der Variablen und die Zahl ihrer Verbindungen mit der Zahl der zu erklärenden Größen zur Deckung zu bringen. Auf diese Weise werden die möglichen Verknüpfbarkeiten der Terme spezifiziert. Die algebraisch-mathematische Vereinfachung der Formel erfüllt somit aus differenzierungstheoretischer Perspektive die Funktion subsystemischer Komplexitätssteigerung.

Man kann an diesem Beispiel einen allgemeineren Prozess nachvollziehen, der in der neoklassischen Ökonomik zu einer Subsystembildung führt. Die Umweltkomplexität – insbesondere die Frage, wie der Wert eines Produktes zu bestimmen sei, die die klassische politische Ökonomie und ihre Kritik so mit Beschlag belegt hatte¹⁹ – wird dadurch bearbeitet, dass »subjektiver Grenznutzen« zum Leitkonzept wird. »Wert« wird daher zum Effekt einer grenznutzengemäßen Valorisierung erklärt und nimmt, sobald Tauschvorgänge einsetzen, die die Grenznutzenkalkulationen mehrerer Akteure zueinander relationieren, die Form eines Preises an. Durch die Algebraisierung der ökonomischen Theoreme wird zugleich eine formale Sprache eingeführt, die wissenschaftsinternen Komplexitätsaufbau ermöglicht, um das

12 Niklas Luhmann: *Die Wissenschaft der Gesellschaft*, Frankfurt a. M. 1992, S. 362–373.

13 Michael Oakeshott: *On Human Conduct*, Oxford 1978.

14 Michel Foucault: *Die Geburt der Biopolitik. Geschichte der Gouvernementalität II*, Frankfurt a. M. 2004, S. 391–393.

15 Ebd., S. 387.

16 Luhmann: *Die Wissenschaft der Gesellschaft* (Anm. 12), S. 368.

17 Ebd., S. 367–369.

18 »Als komplex wollen wir eine zusammenhängende Menge von Elementen bezeichnen, wenn auf Grund immanenter Beschränkungen der Verknüpfungskapazität der Elemente nicht mehr jedes Element jederzeit mit jedem anderen verknüpft sein kann.« Niklas Luhmann: *Soziale Systeme. Grundriß einer allgemeinen Theorie*, Frankfurt a. M. 1984, S. 46, siehe auch ders.: *Die Wissenschaft der Gesellschaft* (Anm. 12), S. 368.

19 Pribram: *Geschichte des ökonomischen Denkens* (Anm. 7), Bd. 1, S. 267–519; vgl. Dobb: *Wert- und Verteilungstheorien* (Anm. 2), S. 199.

Leitkonzept anschlusskommunikationsfähig zu machen, insbesondere durch die Vereindeutigung der Beziehungen zwischen den Variablen der Gleichungen. Die algebraische Beweisführung – etwa dass die Zahl der Gleichungen und die Zahl der Unbekannten exakt miteinander korrespondieren – dient dabei der Untermauerung der Axiomatik der Grenznutzentheorie, etwa der Annahme eines allgemeinen Gleichgewichts zwischen Angebot und Nachfrage.²⁰ Das Kontingenzproblem der Systemumwelt – also die Bestimmung des ökonomischen Werts einer Sache – wird so durch eine Gleichungssprache bearbeitet, die internen Komplexitätsaufbau ermöglicht, wodurch dieser Wert bestimmbar wird, und zwar als Preis.

3. Methodologie: Zur Diskursanalyse algebraischer Kommunikation in der Ökonomik

Mit Bezug auf Luhmanns Konzeption von Komplexität wurde argumentiert, dass die Herausbildung der neoklassischen Ökonomik mit der Kristallisierung einer Semantik einherging, welche der Ökonomik einen inneren Komplexitätsaufbau ermöglichte. Nun wird eine Methodologie entworfen, mit deren Hilfe jene Komplexitätssteigerung untersucht werden kann.

Die zentrale Herausforderung für die vorliegende Studie besteht darin, dass algebraische Semantiken nicht in derselben Weise wie *verbale* Semantiken Binnenrelationen aufbauen. Denn sie folgen einer Logik, die *explizit* auf die Klärung der Beziehungen zwischen Termen abhebt, denen ›Welt‹-Referenzen erklärtermaßen vollkommen äußerlich bleiben. Anders gesagt: während die Binnenlogik verbaler Diskurse der Dekonstruktion ihrer Weltreferenzen abgerungen werden muss, flaggen algebraische Diskurse ihre ausschließliche Binnenrelationiertheit selbstverständlich aus. Diese Logik ist, so Matthias Rustemeyer, der modernen Mathematik als Ganzer eingeschrieben,

*die sich seit dem 17. Jahrhundert zu einer Technik formaler Zeichenmanipulation entwickelt, ohne mit mentalen oder realen Gegenständen zu operieren. Keine dieser Symbolordnungen entspricht dem Modell eines Repräsentationswissens. Vielmehr arbeiten sie wie Möglichkeitsgeneratoren, die Wirklichkeit virtualisieren und eben dadurch interessante Beobachtungen freisetzen.*²¹

Die Rekonstruktion der Sinneffekte jener »Möglichkeitsgeneratoren« muss sich eine Analyse algebraischer Kommunikation zum Ziel setzen. Im Folgenden schlage ich daher eine *Diskursanalyse algebraischer Kommunikation* vor. Unter ›Diskurs‹ wird hier, im Anschluss an Foucault, ein Set von Regeln der Verknüpfung zwischen Signifikanten verstanden, welches eine Unterscheidung zwischen möglichen und nicht möglichen, sinnvollen und sinnlosen Aussagen einzieht und auf diese Weise das Auftreten manifester Aussagen organisiert. Dieses Regelset ist, so Foucault, nur indirekt beobachtbar, d. h. das Verweissystem zwischen

20 Walras: *Elements of Pure Economics* (Anm. 11), S. 155; vgl. Takuo Dome: *History of Economic Theory: A Critical Introduction*, Aldershot/Brookfield 1994, S. 117.

21 Matthias Rustemeyer: »Philosophie als Kulturreflexion«, in: ders./Dirk Baecker/Matthias Kettner (Hg.): *Über Kultur. Theorie und Praxis der Kulturreflexion*, Bielefeld 2008, S. 69–95, hier S. 84.

den Signifikanten muss aus empirisch vorliegenden Aussagen rekonstruiert werden,²² was Foucault u. a. anhand der Wissenschaftsgeschichte der politischen Ökonomie demonstrierte.²³ Hier argumentierte er, dass die »Analyse der Reichtümer« im 18. Jahrhundert in eine algebraische Formulierung mündete, durch die ein Regime der Repräsentation zwischen wissenschaftlichen, in sich geschlossenen Zeichenordnungen und in der Natur unterstellten Beziehungen begründet wurde.²⁴ Indes ist fraglich, ob die an Foucault anschließenden Diskursanalysen, die sich mit verbalen Aussagen befassen, dem hier in Frage stehenden Phänomen der algebraischen Kommunikation in der neoklassischen Ökonomik methodologisch Genüge tun können – ebenso wie bezweifelt werden kann, ob die von Foucault postulierte Repräsentationsbeziehung zwischen in sich geschlossenen wissenschaftlichen Zeichenordnungen und ›Welt‹-Beziehungen den repräsentationalen Effekten algebraischer Kommunikation, die gerade aus ihrer Selbstreferenz erwachsen, tatsächlich Rechnung trägt. Die Frage ist also, welche methodologischen Modifikationen es erlauben würden, die ›Sprache‹ der Algebra mittels eines diskursanalytischen Instrumentariums zu erkunden.

Einerseits kann man die Algebra als Diskurs im strengen Sinne des Begriffes bezeichnen, denn in ihr geht es *expressis verbis* um die Unterscheidung zwischen möglichen und unmöglichen, sinnvollen und sinnlosen Aussagen. Die Wissenschaftsgeschichte der Algebra bestätigt dies indirekt, indem sie solche epistemischen Prozesse hervorhebt, in denen Lösungen für Probleme gefunden wurden, die aus der Ununterscheidbarkeit möglicher und unmöglicher Aussagen entstanden – etwa Fragen der Lösbarkeit bestimmter Gleichungen auf der Grundlage verschiedener Zahlenkategorien (›natürliche‹, ›rationale‹, ›irrationale‹ und ›imaginäre‹ Zahlen).²⁵ Diese epistemischen Prozesse, die die Wissenschaftsgeschichte als Lernprozesse fortschreitender Durchsymbolisierung deutet, gelten als das besondere Merkmal der Algebra.²⁶ Dies kommt der Behauptung gleich, dass die Algebra von Anbeginn an, und unabhängig von ihrer Verbindung mit ökonomischer Theorie, eine diskursive Natur aufwies.

Andererseits sind algebraische Aussagen von anderer Art als verbale Aussagen. Dies hängt, nur scheinbar paradoxerweise, mit ihrer strikten, von verbalen Aussagen nie erreichten, Diskursivität zusammen. Algebraische Aussagen, gerade indem sie nicht nur *diskursiv strukturiert* sind, sondern *selbst Diskurs sind*, d. h. *explizit* Regeln zur Unterscheidung zwischen möglichen und unmöglichen, sinnvollen und sinnlosen Aussagen formulieren, verkehren die von der Diskursanalyse angenommene Beziehung zwischen (beobachtbarer) Aussage und (direkt nicht beobachtbarem, sondern zu erschließendem) Diskurs ins Gegenteil. Denn empirisch zugänglich ist hier *nur* der Diskurs. Seine empirischen Ausprägungen – also die Ladungen von Gleichungen mit konkreten Zahlen – werden von den Formeln zwar in ihrer Struktur vorgegeben, sind aber aus ihrer Perspektive nicht direkt beobachtbar, gerade weil algebraische Kommunikation gegen-

22 Die mittlerweile sehr stark ausdifferenzierten Rekonstruktionen von Foucaults Diskursbegriff in Gestalt unterschiedlicher Methoden der Diskursanalyse können hier nicht nachgezeichnet werden. Ich stütze mich in meiner Auslegung des Foucault'schen Diskurskonzeptes als eines Regelsystems, welches manifeste Aussagen organisiert, als solches aber nicht beobachtbar ist, auf die *Ordnung des Diskurses* sowie die *Archäologie des Wissens*. In der *Ordnung des Diskurses* unterbreitet Foucault die Prinzipien einer Wissenschaftsgeschichte, die auf die »Regelhaftigkeit« von Aussagen abstellt, die eng mit der »Möglichkeitsbedingung der Bedeutung« von Aussagen in Bezug auf andere Aussagen verknüpft ist (Michel Foucault: *Die Ordnung des Diskurses*, Frankfurt a. M. 1991, S. 35). Demzufolge ist hinter manifesten Aussagen keine ›tiefere‹ Bedeutung zu entdecken, die indes, genau wie jene Aussagen, Anspruch auf korrespondenztheoretisch entworfene Bedeutung erheben würde, sondern einzig die Organisationsprinzipien referenzieller Aussagen, die selbst nicht korrespondenzhaft organisiert sind. In der *Archäologie des Wissens* bezeichnet Foucault den Diskurs als »bestimmten Regeln gehorchende Praktiken«, welcher in seiner »Spezifität zu definieren« ist, wodurch gezeigt werden soll, »worin das Spiel der Regeln, die sie [die Diskurse] in Bewegung setzen, irreduzibel auf jedes andere ist« (Michel Foucault: *Archäologie des Wissens*, Frankfurt a. M. 1981, S. 198). Es geht der ›Archäologie‹ somit um die Feststellung der »Regelmäßigkeit der Aussagen« (ebd., S. 205). Der Begriff der ›diskursiven Praktik‹ changiert dabei etwas uneindeutig zwischen der Bezeichnung einer manifesten Textgestalt und einer Regelgestalt (ebd., S. 199). Insgesamt gestatten diese Bezugnahmen auf Foucault dem hier vertretenen Ansatz, Diskurs als Set von Regeln für die Anordnung von Aussagen (vielleicht nicht unbedingt als *Regelsystem*, weil dies eine innere Kohärenz konnotieren würde, die nicht unbedingt vorliegen muss) zu begreifen, welches sich nicht explizit, d. h. *als* Regelsatz, zu erkennen gibt, sondern aus der Struktur der Anordnung von manifesten Aussagen rekonstruiert werden muss.

23 Michel Foucault: *Die Ordnung der Dinge. Eine Archäologie der Humanwissenschaften*, Frankfurt a. M. 1974, S. 211–266.

24 Ebd., S. 255.

25 Ein Beispiel hierfür ist die Kritik Hamiltons an den aus seiner Sicht kontraintuitiven Konzepten negativer und imaginärer Zahlen: William Rowan Hamilton: »Theory of conjugate functions, or algebraic couples; with a preliminary and elementary essay on algebra as a science of pure time«, in: *Transactions of the Royal Irish Academy* 17 (1837), Teil 1, S. 293–422. Siehe zusammenfassend Heinz-Wilhelm Alten et al.: *4000 Jahre Algebra. Geschichte – Kulturen – Menschen*, 2. korrigierter Nachdruck, Berlin/Heidelberg 2008, S. 299–316.

26 Ebd., passim.

über jeglicher inhaltlichen Füllung gleichgültig bleiben muss. Es scheint somit, als behielte Foucault mit seinem Argument Recht, dass das Regime der ›Repräsentation‹, das die politische Ökonomie inauguriert, von der Unterstellung und dem Anspruch einer wesenhaften Verbindung zwischen wissenschaftlicher Aussage und empirischem Faktum abgerückt sei – ein Wandel, der in der Vervollkommnung der Algebra als eines »wirksamen Symbolismus«²⁷, der in sich selbst sein Genügen findet, in evidentere Weise bezeugt würde. Bedeutet dies nun, dass die Diskursanalyse sich dieser immanenten Logik des, von ihr selbst rekonstruierten, Diskurses fügen muss – und ihr Bemühen in Bezug auf Algebra in der Ökonomik daher abbrechen sollte, weil es deren Wesen ist, ein Diskurs zu *sein*, der sich zu seinen ›Anwendungen‹ rein repräsentational, d. h. komplett arbiträr verhält?

Die Antwort auf diese Frage muss mit dem beginnen, was, angesichts der Besonderheiten der Algebra als Diskurs, eine Analyse dieses Diskurses vermeiden muss. Erstens kann sie nicht für sich beanspruchen, auf induktive Weise zu operieren, gerade weil dies dem methodologischen Grundsatz der herkömmlichen Diskursanalyse entspricht, dass nur die ›Aussagen‹ manifest beobachtbar sind, denn hiermit würde das Wesen von Algebra als manifester Diskurs verfehlt. Zweitens kann sie sich nicht unreflektiert auf die inneralgebraische, tatsächlich jedoch historisch bedingte,²⁸ Position zurückziehen, dass die Beziehung zwischen der algebraischen Form und ihrer inhaltlichen Füllung vollkommen arbiträr wäre. Dies wird schon dadurch konterkariert, dass die *wirtschaftswissenschaftliche* Algebra in ihrer neoklassischen Ausprägung eine unhintergehbare Grundannahme setzt, nämlich das Grenznutzentheorem, welches inhaltliche Spezifizierungen einzieht, um Algebra als wirtschaftswissenschaftliche Methode einzusetzen. Dadurch findet eine Spezifizierung ökonomisch-algebraischer Aussagen statt. Drittens jedoch darf man zugleich nicht annehmen, dass durch eine solche, außeralgebraische axiomatische Setzung die Funktionsweise der Algebra vollkommen der ökonomischen Logik unterstellt würde, denn das würde bedeuten, algebraische Kommunikation zu einem bloßen ausführenden Organ wirtschaftlicher Praxisnotwendigkeiten zu machen, so als gäbe es keine Algebra als in sich geschlossene, selbstreferenzielle Zeichenordnung.

Zwischen diesen Vermeidungsimperativen ist eine vertretbare methodologische Position nur dann einnehmbar, wenn man diskursive Effekte nicht als Exekution einer diskursiven Logik ansieht. Stattdessen geht es darum zu rekonstruieren, wie Diskurse Deutungsvarianten generieren und Beobachtungen ermöglichen. Statt Diskurse also anhand ihrer *Ausschlussregeln* zu rekonstruieren, kommt es darauf an, ihre *Öffnungsregeln* zu untersuchen. Dies lässt sich auch als Weiterführung von Foucaults späterer Fassung von Diskursen (und allgemeiner: von Macht) als ermöglichende Faktoren multipler Praktiken verstehen,²⁹ indem ›Produktivität‹ nicht nur als Hervorbringung konkreter Wahrnehmungen, sondern als Erzeugung der Möglichkeit *variabler* Wahrnehmungen verstanden wird. Es geht somit um den Raum zwischen dem manifesten Diskurs und der ihm gegenüber arbiträren konkreten Aussagen, der durch den Diskurs strukturiert wird, zugleich aber variierende Beobachtungen ermöglicht. Dieser Raum ist als zwischen den Polen der Definitheit (Diskurs) und Arbitrarität (Aussage) befindlich zu konzeptualisieren: ein Deutungsraum, der, seinem eigenen Anspruch gemäß, potenziell unendliche viele inhaltliche Ausformungen erfahren kann und darin seine Universalität behauptet, der aber zugleich hinsichtlich der Aufmerksamkeitssteuerung in der Beobachtung seiner Binnenverhältnisse *spezifische* und zugleich *variable* Deutungen gestattet und anregt.³⁰ Eine Analyse algebraischer Kommunikation in den Wirtschaftswissenschaften stellt sich somit als Rekonstruktion einer *Ausdeutbarkeit* dar, die auf der formelhaften Darstellung alge-

27 Ebd., S. 30.

28 S. Richard W. Hadden: *On the Shoulders of Merchants: Exchange and the Mathematical Conception of Nature in Early Modern Europe*, Albany 1994.

29 Siehe etwa Michel Foucault: *Der Gebrauch der Lüste*, Frankfurt a. M. 1986, S. 37.

30 Hier beziehe ich mich auf die so genannte äußerungstheoretische Diskursanalyse, die enunziative Diskursanalyse bzw. die Aussagenanalyse. Vgl. Johannes Angermüller: *Nach dem Strukturalismus. Theoriediskurs und intellektuelles Feld in Frankreich*, Bielefeld 2007, S. 139 ff., und Jens Mæße: *Die vielen Stimmen des Bologna-Prozesses. Zur diskursiven Logik eines bildungspolitischen Programms*, Bielefeld 2010, S. 163 ff.

braischer Relationen beruhen. Der vorliegende Aufsatz konzentriert sich dabei auf eine Rekonstruktion der *temporalen* Ausdeutbarkeit algebraischer Kommunikation an einem wissenschaftsgeschichtlichen Punkt, an dem die neoklassische Ökonomik sich anschickte, auf die an ihr kritisierte Blindheit gegenüber zeitlich-historischen Verläufen zu reagieren, und lenkt den Blick daher auf Alfred Marshall.

4. Alfred Marshalls Principles of Economics (1890): Die Polychronie des Gleichgewichts

4.1 Lang- und kurzfristige ökonomische Dynamiken

Das hier untersuchte Werk Alfred Marshalls machte es sich zur Aufgabe, die Grenznutzenanalyse in temporaler Hinsicht zu sensibilisieren. Von einer solchen Sensibilisierung erhoffte Marshall sich eine größere Annäherung der Grenznutzenökonomik an beobachtbare wirtschaftliche Dynamiken.³¹ Wie Léon Walras³² definiert er Gleichgewicht als einen Zustand, in dem zwei Grenznutzenerwägungen einander voll entsprechen und auf diese Weise einen Gleichgewichtspreis hervorbringen:

*When the demand price is equal to the supply price, the amount produced has no tendency either to be increased or to be diminished; it is in equilibrium. – When demand and supply are in equilibrium, the amount of the commodity which is being produced in a unit of time may be called the equilibrium-amount, and the price at which it is being sold may be called the equilibrium-price.*³³

Allerdings kompliziert er dieses Modell durch eine Fokussierung auf *Dynamiken* der wechselseitigen Anpassung von Änderungen in der Nachfrage bzw. im Angebot. Im Unterschied zu Léon Walras, für den ›Gleichgewicht‹ die Bedeutung einer Modellannahme hatte,³⁴ fragt Marshall nach den konkreten ökonomischen Prozessen, die auf ein Gleichgewicht hinführen. Ebenfalls im Unterschied zu Walras baut Marshall seine Theorie explizit durch Fokussierung auf die Angebotsseite auf und gibt damit dem Produktionsprozess eine konzeptuelle Eigenständigkeit. Ein Gleichgewicht ist somit bestimmt durch ein Zusammentreffen von Grenzproduktionskosten und Grenzanschaffungskosten. Daher befasst er sich in besonderem Maße mit Prozessdynamiken, die die Angebots-, d. h. die Produktionsseite betreffen.

Diese Prozessdynamiken lassen sich Marschall zufolge analytisch ordnen, indem unterschiedliche Zeithorizonte von Anpassungen zwischen veränderter Nachfrage und verändertem Angebot betrachtet werden. Die Hauptunterscheidung ist diejenige zwischen kurzfristigen und langfristigen Dynamiken. Marschall verdeutlicht dies anhand des Beispiels von Nachfrageschwankungen und ihrer Effekte auf die Produktion. Kurzfristig führen Veränderungen der Nachfrage dazu, dass Produzenten versuchen, mit den bestehenden Mitteln ihre Produktion zu erhöhen oder zu senken.³⁵ Langfristig ist hingegen davon auszugehen, dass Produzenten Zeit haben, den Umfang ihrer Produktionsmittel der Nachfrage anzupassen, und dass daher auch der Grenz-Angebotspreis eine andere Höhe annehmen wird.³⁶

31 Pribram: *Geschichte des ökonomischen Denkens* (Anm. 7), S. 559.

32 Walras: *Elements of Pure Economics* (Anm. 11), S. 155–157.

33 Marshall: *Principles of Economics* (Anm. 5), S. 287.

34 Walras: *Elements of Pure Economics* (Anm. 11), S. 84; Dome: *History of Economic Theory* (Anm. 20), S. 95.

35 Der Grenz-Angebotspreis ist somit derjenige Preis, unterhalb dessen auf einen Verkauf verzichtet wird, weil entweder die Grenzkosten durch Intensivierung der Produktion zu steigenden Kosten (höhere Löhne, schlechtere Qualität etc.) führen oder weil die Furcht besteht, dass eine noch weiter sinkende Nachfrage die Preise unterhalb den Produktionspreis fallen ließe (Marshall: *Principles of Economics* (Anm.5), S. 311).

36 Ebd., S. 313.

Allerdings lässt sich zeitlich nicht eindeutig definieren, was als kurzfristig und was als langfristig gilt, d. h. es können keine exakten Zeitabschnitte angegeben werden, die als kurz- bzw. langfristig benannt werden können. Marshall bestreitet sogar, dass es relevante Fälle gäbe, in denen man eine rigide Bestimmung vornehmen müsse.³⁷ Das hängt damit zusammen, dass unterschiedliche Produkte unterschiedliche Produktionszeiten haben. Auf diese Weise wird einerseits deutlich, dass es sich bei der Unterscheidung von Kurz- und Langfristigkeit um eine strikt heuristische handelt, die erklären hilft, wie dieselben Produkte angesichts einer bestimmten Nachfrage unterschiedliche Grenz-Angebotspreisniveaus erreichen und damit auf unterschiedliche Gleichgewichte führen. Mit Bezug auf die genannten Beispiele geht es bei ihr somit schlicht um die Frage, ob die Anpassung des Angebots an die Nachfrage *ad hoc*, d. h. mit bestehenden Produktionsmitteln erfolgen muss oder ob ein Ausbau der Produktionsmittel Teil der Anpassung sein kann.³⁸ Andererseits wird hierdurch das, was als lang- und was als kurzfristig gilt, nur im Verhältnis zueinander bestimmbar: Langfristige Prozesse der Anpassung der Produktion können nur im Verhältnis zu kurzfristigen Prozessen, und umgekehrt, ausgemacht werden.

Hierdurch wird eine temporale Mehrdeutigkeit in die Grenznutzentheorie eingezogen. Zwar kann Marshall konkrete, unterschiedlich verlaufende Prozessdynamiken benennen, die belegen sollen, dass langfristige Anpassungen sich von kurzfristigen unterscheiden und daher zu unterschiedlichen Grenzgleichgewichten führen. Jedoch ist dies kaum mehr als ein *empirisches* Argument, dem Marshall selbst ja gerade die Kapazität abstreitet, Lang- bzw. Kurzfristigkeit konzeptuell zu bestimmen. Selbige sind vielmehr nur wechselseitig zu bestimmen. Damit aber lässt sich bei keinem konkret beobachtbaren Anpassungsprozess entscheiden, ob er eine kurzfristige oder eine langfristige Dynamik *indiziert*, denn er kann immer aus zwei temporalen Perspektiven betrachtet werden.

Dabei ist es vor allem die Langfristperspektive, die Marshall als paradigmatische Sichtweise für seine Untersuchung einnimmt,³⁹ welche ihn zwingt, zu abstrakten Wirtschaftseinheiten jenseits beobachtbarer Vorgänge Zuflucht zu suchen. Dies wird deutlich in seinen Erörterungen der langfristigen Tendenzen der Wirtschaft als ganzer, die er im so genannten »law of increasing return« auf den Punkt bringt.⁴⁰ Diese Gesetzmäßigkeit kann als Komplementärperspektive zu politisch-ökonomischen Theorien gesehen werden, die von einem tendenziellen Fall der Profitrate des Kapitaleinsatzes ausgingen.⁴¹ Hatte etwa Ricardo argumentiert, dass sowohl Kapitalisten wie Arbeiter mit der immer weiter fortschreitenden Produktion auf qualitativ immer schlechterer Grundlage (schlechtere Böden, weniger qualifizierte Arbeiter) immer größere Teile ihres Profits bzw. ihres Lohns einbüßten, während die Rente der Landbesitzer nicht in Mitleidenschaft gezogen werde, schlägt Marshall vor, in diese Erwägung langfristige Anpassungsprozesse auf der Produktionsseite einzubauen, also etwa die Ausbildung fähiger Arbeiter, die Steigerung der Arbeitsteilung und den Ausbau von größeren, effizienteren Produktionsanlagen.⁴² Im Resultat entstünde so die Möglichkeit, eine langfristig wachsende Nachfrage nach einem gegebenen Produkt zu immer geringeren Stückkosten zu bedienen. Marshall formuliert damit den Gedanken, dass moderne Ökonomien als Wachstumsökonomien anzusehen sind und dass es für ein solches Wachstum keine natürlichen Grenzen gibt.⁴³ Um diesen Gedanken weiter zu verfolgen, schlägt er vor, von einer »representative firm« als Modelleinheit auszugehen: Weil sich das Gesamtwachstum in keinem empirischen Unternehmen spiegle, könnten diese durchaus untergehen, etwa wenn sie von günstiger produzierenden Konkurrenten

37 Ebd., S. 314.

38 Ebd., S. 313.

39 Ebd., S. 334.

40 Ebd., S. 377.

41 Dobb: *Wert- und Verteilungstheorien seit Adam Smith* (Anm. 2), S. 83.

42 Marshall: *Principles of Economics* (Anm. 5), S. 377.

43 Ebd., S. 378.

verdrängt würden.⁴⁴ Das Konstrukt einer repräsentativen Firma ermöglicht hingegen die Rekonstruktion von Wertentwicklungsgesetzen unter Absehung von konkreten Gründungen und Untergängen von Firmen. Eine Modellfirma wird somit zur Repräsentantin gesamtwirtschaftlicher, langfristiger Tendenzen, während jedes *konkrete* Unternehmen die Sicht auf langfristige Temporalität verstellt.⁴⁵

So zeigt sich, dass Marshalls Versuch einer realitätsnäheren Modellierung der Wirtschaft als Teil der »world in which we live«, die Marshall mit der Einführung zweier unterschiedlicher Zeithorizonte intendierte,⁴⁶ ihn doch erneut in die Abstraktion zwingt, weil er nur durch die Modellierung einer fiktiven Firma in der Lage ist, eine langfristige Perspektive von einer kurzfristigen unterscheidbar zu machen. Marshalls Absage an einen »stationary state« als teleologischem Endpunkt wirtschaftlicher Entwicklung, der die politische Ökonomie, etwa bei John Stuart Mill, prägte, resultiert somit nicht in temporalen Eindeutigkeiten.⁴⁷ Marshalls Versuch, wirtschaftlichen Dynamiken Rechnung zu tragen, erzeugt seinerseits temporale *Mehrdeutigkeiten*, welche dann wiederum vereindeutigt werden müssen.

4.2 Marshalls algebraischer Diskurs und seine temporalen Implikationen

Die in der Forschungsliteratur gemachte Beobachtung, dass die mathematische Ausdrucksweise für Marshall seinen inhaltlichen Argumenten eindeutig nachgeordnet sei,⁴⁸ bildet einen Hinweis, dass sich der in diesen Formeln beschlossene Erkenntnisgewinn aus der Sicht Marshalls als begrenzt darstellt. Tatsächlich stellt er im Kontext einer Diskussion der wechselseitigen Gewichtung derjenigen Faktoren, die in die Erzeugung eines Produkts eingehen, heraus, dass in seinem Werk »mathematics are used only to express in terse and more precise language those methods of analysis and reasoning which ordinary people adopt, more or less consciously, in the affairs of everyday life.« Allgemein sei die mathematische Ausdrucksweise ungeeignet zur Darstellung sehr komplexer Zusammenhänge.⁴⁹ Gerade die für Marshall, wie wir sahen, kritische Bedeutung der Unterscheidung von Lang- und Kurzfristigkeit findet ihm zufolge keine Resonanz in mathematischen Ausdrücken: »For many important considerations, especially those connected with the manifold influences of the element of time, do not lend themselves easily to mathematical expression: they must either be omitted altogether, or clipped and pruned till they resemble the conventional birds and elements of decorative art.«⁵⁰ Hieraus erwachse eine beträchtliche Gefahr, dass diejenigen ökonomischen Erscheinungen privilegiert behandelt würden, welche der mathematischen Formalisierung offen stünden, während andere vernachlässigt würden.

Die Frage, welchen Sinn mathematische Ausdrücke dann überhaupt ergeben, beantwortet Marshall indes bereits im nächsten Satz: »But to avoid it altogether, would be to abandon the chief means of scientific progress: and in discussions written specially for mathematical readers it is no doubt right to be very bold in the search for wide generalizations.«⁵¹ Für Marshall besteht der Nutzen der Mathematik in der Generalisierungs- und Formalisierungsleistung der Formelausdrücke: Sie erzeugen Sinn und »wissenschaftlichen Fortschritt« durch radikale Abstraktion von realen Gegebenheiten, mit denen sie dennoch verbunden bleiben, insofern sie nur eine andere Ausdrucksweise für allgemeines Alltagswissen sind. Gemäß Marshalls Argumenten *sollen* die von ihm benutzten algebraischen Formeln »zeit-blind« sein. Für

44 Ebd., S. 379.

45 Ebd., S. 380 f.

46 Ebd., S. 306.

47 Ebd., S. 305 f.; vgl. Pribram: *Geschichte des ökonomischen Denkens* (Anm. 7), S. 570 f.

48 Marco Li Calzi/Achille Basile: »Economists and mathematics from 1494 to 1969: beyond the art of accounting«, in: Michele Emmer (Hg.): *Mathematics and Culture I*, Berlin/Heidelberg 2004, S. 95–107, hier S. 105; Pribram: *Geschichte des ökonomischen Denkens* (Anm. 7), S. 559.

49 Marshall: *Principles of Economics* (Anm. 5), S. 699.

50 Ebd., S. 700.

51 Ebd.

die ihrer Abstraktion innewohnende Generalisierungskapazität ist ihre Blindheit gegenüber zeitlichen Aspekten, etwa der Unterscheidung zwischen lang- und kurzfristigen wirtschaftlichen Dynamiken, ein wohlfeiler Preis.

Indes enthüllt eine Diskursanalyse algebraischer Kommunikation sehr wohl Zeitlichkeitsimplikationen in den von Marshall zu einer derartigen Generalisierung und Abstraktion herangezogenen Formeln. Den Kontext von Marshalls allgemeinen Bemerkungen über den Nutzen der Mathematik bildet eine Fußnote im mathematischen Anhang des Werkes, die sich auf die Formalisierung unterschiedlicher Produktionsfaktoren bei der Herstellung eines Produkts und der Bestimmung seines Angebotswertes bezieht. Das Beispiel, das Marshall in der Fußnote ausführt, ist das eines Hausbauers, der verschiedene (Vor-)Leistungen erbringen muss – etwa das Ausheben des Fundaments, das Mauern, das Dachdecken, aber auch die Entscheidung, welche Arbeiten er beauftragt und welche er selbst durchführt. Dem stehen verschiedene Formen von Nutzen gegenüber, die den Hausbauer später erwarten und die Marshall am Beispiel der unterschiedlichen Räume (Wohnzimmer, Geschäftsräume etc.) einführt. Der Hausbauer wägt somit ab, welcher (zukünftige) Nutzen ihm welche (gegenwärtig zu erbringende) Arbeit wert ist. Somit erfolgt eine Verrechnung von erwartetem Nutzen und gegenwärtigem Aufwand.⁵² Ein Grenzgleichgewicht stellt sich dann ein, wenn der erbrachte Aufwand zwischen den unterschiedlichen Aufwänden so verteilt ist, dass eine Umverteilung zugunsten der einen und zu Lasten der anderen Arbeit sowie die Bevorzugung der einen Nutzung des Hauses über eine andere keinen zusätzlichen Nutzen erbringt.⁵³ Dies ist gleichbedeutend mit der Aussage, dass die verschiedenen Arbeiten und Nutzen unter Gleichgewichtsbedingungen *als miteinander identisch behandelt werden können*.

An diesem Beispiel erweist sich dann für Marshall die Nützlichkeit mathematisch-algebraischer Darstellungsverfahren, denn sie erlauben es, die empirisch sehr unübersichtliche Gemengelage – eigene Arbeit des Hausbauers, Zahlungen für angestellte Arbeiter, Ausgaben für Baumaterial sowie Entscheidungen bezüglich der anzustrebenden Nutzungen und ihres relativen Gewichts zueinander – in folgendes Set von Gleichungen zu überführen:⁵⁴

$$\begin{aligned} \frac{dV}{dx_1} &= \frac{dH}{d\beta} \cdot \frac{d\beta}{dx_1} = \frac{dH}{d\beta'} \cdot \frac{d\beta'}{dx_1} = \dots \\ \frac{dV}{dx_2} &= \frac{dH}{d\beta} \cdot \frac{d\beta}{dx_2} = \frac{dH}{d\beta'} \cdot \frac{d\beta'}{dx_2} = \dots \\ &\dots\dots \\ \frac{dV}{dy_1} &= \frac{dH}{d\beta} \cdot \frac{d\beta}{dy_1} = \frac{dH}{d\beta'} \cdot \frac{d\beta'}{dy_1} = \dots \\ \frac{dV}{dy_1} &= \frac{dH}{d\beta} \cdot \frac{d\beta}{dy_1} = \frac{dH}{d\beta'} \cdot \frac{d\beta'}{dy_1} = \dots \\ &\dots\dots \\ \frac{dV}{dz} &= \frac{dH}{d\beta} \cdot \frac{d\beta}{dz} = \frac{dH}{d\beta'} \cdot \frac{d\beta'}{dz} = \dots \\ \frac{dV}{du} &= \frac{dH}{d\beta} \cdot \frac{d\beta}{du} = \frac{dH}{d\beta'} \cdot \frac{d\beta'}{du} = \dots \end{aligned}$$

52 Vgl. ebd., S. 293 f.

53 Ebd., S. 698.

54 Ebd. Legende zum Gleichungssystem: V = Gesamtgrenzkosten; H = Gesamtgrenznutzen; d = Faktor der Differenz durch zusätzlichen Kosten/Nutzen; $x_{1,n}$ = Menge der mit einer bestimmter Tätigkeit verbundenen Arbeit; $y_{1,n}$ = Menge einer jeweiligen Bausubstanz; $z_{1,n}$ = Menge des durch den Hausbau gebundenen Kapitals, d. h. des entgangenen Zinses; β' , β'' etc. = Menge eines bestimmten Nutzens; u = Geldäquivalent der Aufwände (ebd., S. 697).

Man kann diese Formalisierung empirisch sehr detailreicher, auf den Hausbau bezogener Arbeiten zu einem Set symmetrisch aufgebauter Gleichungen als Komplexitätsbewältigung durch Komplexitätsaufbau, wie oben eingeführt, betrachten. Die Umweltkomplexität eines epistemischen Systems wird durch Steigerung seiner Binnenkomplexität, i. S. der Spezifizierung der Relationierungsmöglichkeiten seiner Elemente, bearbeitet. Die »Kürzungen«, die diese Gleichungen erlauben, gehören somit zum Komplexitätsaufbau hinzu, denn sie spezifizieren Relationen zwischen jenen Termen, die als identisch und damit als redundant betrachtet werden können. Im vorliegenden Falle geschieht dies in zwei Stufen, die Marshall wie folgt beschreibt:

That is to say, the marginal outlay which the builder is willing to make for an additional small supply, δx_1 , of the first class of labour, viz. $\frac{dV}{dx_1} \delta x_1$, is equal to $\frac{dH}{d\beta} \cdot \frac{d\beta}{dx_1} \delta x_1$; i.e. to that increment in his total receipts H, which he will obtain by the increase in the villa accommodation provided by him that will result from the extra small supply of the first class of labour; this will equal a similar sum with regard to warehouse accommodation, and so on. Thus he will have distributed his resources between various uses in such a way that he would gain nothing by diverting any part of any agent of production – labour, raw material, the use of capital – nor his own labour and enterprise from one class of building to another: also he would gain nothing by substituting one agent for another in any branch of his enterprise, nor indeed by any increase or diminution of his use of any agent.⁵⁵

Das Gleichungsset soll somit zur Beschreibung eines Zustands dienen, in dem die verschiedenen Variablen miteinander austauschbar werden. In dem Moment, da sich durch Umschichtung von Aufwand oder von Zweckbindung kein weiterer Nutzen erzielen lässt, lassen sich alle Faktoren als formal identisch behandeln. Aufschlussreich ist in diesem Zusammenhang die Futur II-Form des Prädikats in der Beschreibung der Marginalverteilung (»Thus he will have distributed...«). Marshalls Ausdeutung des Gleichungssets und die Generalisierung, die es verheißt, verleihen ihm somit den Charakter eines *Versprechens*: Der Hausbauer wird seine Ressourcen so eingesetzt haben, dass am Ende Grenznutzen und Grenzkosten einander entsprechen. Die Eigenzeit des Gleichungssets, die Marshall zum Zwecke der Belegung der abstrahierenden und generalisierenden Kapazitäten mathematischer Ausdrucksweise mobilisiert und welche einer Dynamik des Komplexitätsaufbaus zunächst durch Variablenerzeugung und dann durch Identifizierung der Variablen miteinander und folgendem Redundanzabbau unterliegt, ist also die einer *Teleologie*, an deren Ende eine Figur steht, die sich aus Grenznutzensicht *optimal verhalten haben wird*. Auf diese Weise durchkreuzen der algebraische Diskurs und der Versuch seiner Explizierung Marshalls dezidierte Absicht, von teleologischen Fiktionen wirtschaftlichen Gleichgewichts Abstand zu nehmen (s.o.).

4.3 Marshalls Gleichungssysteme: Modelle oder Performanzen?

Es gibt Hinweise, dass die Gleichungen in Übereinstimmung mit Marshalls grundsätzlicher Herangehensweise an die Ökonomik als Wissenschaft stehen. Dies erhellt ein Blick in die einleitenden Kapitel, in denen Marshall die epistemologischen Grundlagen der Ökonomik ausleuchtet. Ihm zufolge ist die Ökonomik eine Wissenschaft, die sich erst in der Moderne formieren konnte, weil erst unter Bedingungen von Industrialisierung, Arbeitsteilung und Enttraditionalisierung diejenigen Subjekte entstehen, die Kosten und Nutzen rational gegeneinander abwägen. Die Entstehung eines gesellschaftlichen Paradigmas »of free choice by each individual of that line of conduct which after careful deliberation seems to him the

⁵⁵ Ebd., S. 698.

best suited for attaining his ends, whether they are selfish or unselfish«⁵⁶, hat somit zur Vorbedingung eine Gesellschaftsordnung, die man in der Soziologie als funktional differenziert, individualisiert und enttraditionalisiert bezeichnen würde:

*The economic conditions of modern life, though more complex, are in many ways more definite than those of earlier times. Business is more clearly marked off from other concerns; the rights of individuals as against others and as against the community are more sharply defined; and above all the emancipation from custom, and the growth of free activity, of constant forethought and restless enterprise, have given a new precision and a new prominence to the causes that govern the relative values of different things and different kinds of labour.*⁵⁷

So ist die Ökonomik bei Marshall also innerhalb einer modernisierungstheoretisch gelagerten Epistemologie aufgehoben. In diesem Rahmen nimmt sie die Funktion ein, diejenigen Aspekte menschlichen Handelns zu erklären, die sich aus den rationalen Erwägungen der Individuen ergeben, insofern sie aus habitueller und traditionaler Voreingenommenheit entlassen sind. So führt die aus der Arbeitsteilung der modernen Industriegesellschaft hervorgehende Individualisierung und Enttraditionalisierung zu einer Situation, in der die Regelmäßigkeiten menschlichen Handelns sich aus der Summe individueller Entscheidungen ergeben – und entsprechend analysiert werden können.⁵⁸

Diese Epistemologie der Ökonomik als Wissenschaft von einem ›neuen‹ Menschen und den Gesetzen seines Handelns ist, so meine Auslegung, auch der oben diskutierten Gleichungsfolge eingeschrieben. Sie manifestiert sich dort als eine teleologische Modelltemporalität, in der dem ›Gleichgewicht‹, d. h. der Identität von Grenznutzen und Grenzkosten, die Bedeutung eines Endzustands gleichkommt. Die erwähnte Einschränkung Marshalls, dass die mathematische Ausdruckweise gegenüber Zeitaspekten ökonomischer Dynamiken blind sei, greift also tatsächlich nur zum Teil, nämlich insofern sie nicht zwischen kurz- und langfristigen Dynamiken unterscheidet. Sie ist aber auch keine rein stationäre Modellannahme, weil ihrer algebraischen Modellprogression, in der die Beziehungen zwischen den einzelnen Faktoren sukzessive geklärt werden, die Logik der schrittweisen Einlösung eines Versprechens zugrunde liegt, dem zufolge der ökonomische Akteur seine Grenzkalkulation am Ende optimal umgesetzt haben wird. Das Gleichungsset repräsentiert somit nicht nur die modernisierungstheoretische und letztlich teleologische Epistemologie der Marshall'schen Ökonomik, sondern *performiert* kraft seiner Logik der sukzessiven Komplexitätssteigerung, die zur eindeutigen Relationierung der Variablen führt, diese Epistemologie. Marshalls Ansicht, dass die Ökonomik letztendlich wenig mehr sei als eine auf Prinzipien gebrachte Form ökonomischen Alltagswissens,⁵⁹ erweist sich damit in einem sehr fundamentalen Sinne als richtungsweisend, denn in der von ihm postulierten modernen Gesellschaft gibt ein solches Gleichungsset gleichsam das Versprechen, dass alle Menschen in ihrem Alltag einst zu Ökonominen und Ökonomen werden.

56 Ebd., S. 5.

57 Ebd., S. 4.

58 Ebd., S. 20–22. Dies scheint in Widerspruch zu Pribrams Einschätzung zu stehen, dass Marshall es nicht vermocht habe, »John Stuart Mills Erwartung eines stationären Endzustands der Wirtschaft zu übernehmen« (Pribram: *Geschichte des ökonomischen Denkens* (Anm. 7), S. 571). Man kann es aber auch so deuten, dass es gerade der Einsatz von algebraischen Formalisierungen war, der Marshall in eine solche, sonst bei ihm keine völlige Zustimmung findende Teleologie drängte (s. u.).

59 Marshall: *Principles of Economics* (Anm. 5), S. 700.

5. Die Polychronie ökonomisch-algebraischer Kommunikation

Marshall beabsichtigte, die Bedeutung von Zeitlichkeit für die Grenznutzenanalyse herauszuarbeiten. Die Kritik hat moniert, dass er in seinen Ausführungen, die er explizit der Langfristperspektive widmete, letztendlich doch einen ›stationary state‹ unterstelle.⁶⁰ Diese Kritik scheint sich zunächst in den von ihm angeführten Gleichungssystemen zu bestätigen, sind diese doch, seiner eigenen Einschätzung zufolge, unempfindlich für zeitliche Dynamiken. Allerdings entdeckt eine nähere Analyse Teleologien in diesen Gleichungssystemen, die eine Parallelität zwischen dem Progress der algebraischen Umstellungslogik, die in einem Akt der Steigerung der Modellkomplexität mehr und mehr Variablen als redundant tilgt, und der verheißenen Ankunft eines tatsächlich nach Grenznutzenprinzipien vorgehenden Akteurs einziehen. Dies erzeugt eine Mehrdeutigkeit der Temporalität, die zwischen Synchronie und Teleologie changiert. Diese temporalen Mehrdeutigkeiten *zwingen* Marshall zur Vereindeutigung über den Text in den Fußnoten und den Anhängen, der die Formeln expliziert. Marshall verlieh der Bedeutung von Zeitlichkeit für die neoklassische Analyse daher gerade dadurch Gewicht, dass er – wenn auch unbeabsichtigt – die temporale Polyvalenz algebraischer Darstellungen in der Ökonomik zur Anschauung brachte.

Der in der Geschichte der Wirtschaftswissenschaften verbreiteten Sichtweise, dass Marshall sich grundsätzlich gegen eine Algebraisierung seiner Theorie gewandt und die algebraischen Formalisierungen am Rande des ›eigentlichen‹ Textes lediglich zu Explikationszwecken eingesetzt habe, ist daher das Argument entgegenzusetzen, dass der algebraisch-ökonomische Diskurs temporale Mehrdeutigkeiten erzeugt, die dann durch den verbalen Diskurs vereindeutigt werden müssen. Das archäologische Argument Foucaults, dass die »Typen und Regeln von diskursiven Praktiken [...] individuelle Werke durchqueren, [...] sie mitunter völlig bestimmen und sie beherrschen, ohne daß ihnen etwas entgeht, mitunter aber nur einen Teil davon beherrschen«, erfährt hier eine Bestätigung:⁶¹ Der algebraische Diskurs ›beherrscht‹ die formalisierten Ausdrücke der neoklassischen Ökonomik, entwickelt in diesem ökonomischen Gebrauch jedoch eine Polyvalenz temporaler Bedeutung, die den verbalen Diskurs nötigt, sie zu explizieren.

Die für die neoklassische Grenznutzenanalyse charakteristische algebraische Kommunikation, laut Marshall blind und taub gegenüber Zeitlichkeit, bürgt für einen extrem effektiven Aufbau von Binnenkomplexität, durch die Umweltkomplexität dann bearbeitet werden kann. Aber aus dieser Indifferenz gegenüber *bestimmten* Temporalitäten erwächst keine *generelle* Achronie, sondern vielmehr eine *Polychronie*, d. h. eine plurale Auslegbarkeit ökonomischer Zeitlichkeit. Man sollte daher weiter erkunden, ob es, neben institutionellen Faktoren, nicht auch diese temporale Mehrdeutigkeit sein könnte, die den Erfolg der Neoklassik erklärt.

60 Pribram: *Geschichte des ökonomischen Denkens* (Anm. 7), S. 560.

61 Foucault: *Archäologie des Wissens* (Anm. 22), S. 199.

Formelideal und Problemlösung – Über den Gebrauch mathematischer Formeln in der reinen Mathematik und der mathematisierten Ökonomik

Sebastian Giacovelli¹

1. Einleitung

Die Sprache der Ökonomen ist vielfältig und schließt mechanistische, medizinische und biologische Metaphern ein.² Diese bildhafte Sprache steht im Schatten einer mathematisierten Sprache, die ihren Ursprung nicht erst in neoklassischen Modellen findet. Allerdings sind es gerade die Neoklassiker wie etwa William Stanley Jevons oder Léon Walras, die dem Ideal der Wirtschaftswissenschaft als Disziplin zeitlos angewandter Mathematik Vorschub leisten.³ Die Mathematisierung der Ökonomik verlief alles andere als frei von kritischen, innerdisziplinären Debatten. Eine besonders markante Position nahm hierbei etwa Keynes ein, der die ahistorische, logische Zeit der Mathematik strikt ablehnte; dies mit dem Argument, dass der mathematischen Logik der Bezug zu historischen Geschehnissen in der Wirtschaft fehle.⁴ Und dennoch: Die Quantifizierung und die mathematische Modellierung verbunden mit den neoklassischen Denkfiguren machen noch immer den Mainstream der Gegenwarts-Ökonomik aus.⁵

Wenn jedoch von »mathematischen Modellen in der Ökonomik« oder von der »Mathematisierung der Wirtschaftswissenschaften« die Rede ist, wird die Frage übergangen, ob es sich hierbei tatsächlich um eine nach mathematischen Idealen operierende Wissenschaftsdisziplin handelt.⁶ Die Klärung dieser Frage ist entscheidend für das Selbstverständnis und das Renommee der Wirtschaftswissenschaften als einer Disziplin, die sich mithilfe der Mathematik als *exakte*, an die Naturwissenschaften angelehnte Wissenschaft versteht.⁷ Um diese Frage beantworten zu können, muss zunächst geklärt werden, was genau die Logik der Mathematik und, auf der Formelebene, den Idealtypus einer mathematischen Formel im Sinne eines

1 Ich danke den Teilnehmern des Workshops »Soziologie ökonomischen Wissens« an der Friedrich-Schiller-Universität Jena (17./18.7.2014) für die lebhafte Diskussion, die zu dieser Artikelidee führte, den Teilnehmern des Workshops »Theorie und Begriffsgeschichte des Modells« am Zentrum für Literatur- und Kulturforschung Berlin (3./4.9.2015) sowie Andreas Langenohl und Carola Westermeier am Institut für Soziologie der Justus-Liebig-Universität in Gießen für die hilfreichen Hinweise zur Schärfung des Beitrags.

2 Vgl. Adam Smith: *Der Wohlstand der Nationen. Eine Untersuchung seiner Natur und seiner Ursachen*, München 2003 [1776], S. 570; Donald N. McCloskey: »The Rhetoric of Economics«, in: *Journal of Economic Literature* XXI (1983), S. 481–517; Philip Mirowski (Hg.): *Natural Images in Economic Thought. »Markets Read in Tooth & Claw«*, Cambridge 1994.

3 W. Stanley Jevons: *The Theory of Political Economy*, Houndmills u. a. 2013 [1871]; Léon Walras: *Éléments d'économie politique pure ou Théorie de la richesse sociale*, Whitefish/Montana 2010 [1874].

4 John Maynard Keynes: *Allgemeine Theorie der Beschäftigung, des Zinses und des Geldes*, Berlin 2009 [1936], S. 252.

5 Genau darin und in der Kombination mit einer Empirieferne der Wirtschaftswissenschaften sehen Studenten und Dozenten den Anlass zu Protesten an der wirtschaftswissenschaftlichen Lehre; vgl. Thomas Dürmeier/Tanja von Egan-Krieger/Helge Peukert (Hg.): *Die Scheuklappen der Wirtschaftswissenschaft. Postautistische Ökonomik für eine pluralistische Wirtschaftslehre*, Marburg 2006.

6 Nils Goldschmidt/Benedikt Szmrecsanyi: »What do economics talk about? A linguistic analysis of published writing in economic journals«, in: *American Journal of Economics and Sociology* 66 (2006) 2, S. 335–378.

7 Mary S. Morgan: *The World in the Model. How Economists Work and Think*, Cambridge 2012, S. 91 ff. Armand Borel zufolge ist es das erklärte Ziel, »daß alle Disziplinen der Naturwissenschaften einer mathematischen Formulierung und Behandlung zustreben müssen; sogar daß eine solche Disziplin erst dann eine Wissenschaft im eigentlichen Sinn ist, wenn das erreicht sei«; vgl. Armand Borel: *Mathematik. Kunst und Wissenschaft*, München 1981, S. 30 f.

in die mathematische Formelsprache übersetzten Modells, ausmacht. Nur dann ist es möglich, etwaige Unterschiede hinsichtlich der Formelideale in der Mathematik und in den Wirtschaftswissenschaften zu identifizieren.⁸

Auf diese Weise leistet die Arbeit einen Beitrag zu zwei aktuellen Debatten innerhalb der Wirtschaftssoziologie und der sich formierenden Soziologie ökonomischen Wissens: Erstens kann *en détail* gezeigt werden, auf welche Weise die Ökonomik das Problem, den Erwartungen aus dem Wissenschaftssystem und zugleich aus der wirtschaftlichen Praxis mittels mathematischer Modellen gerecht zu werden, zu lösen versucht.⁹ Und zweitens kann an der Diskussion der aus soziologischer Perspektive strikt abzulehnenden neoklassischen Simplifizierungen, etwa die Abwesenheit kontingenztheoretischer Überlegungen, aus genuin formelspezifischem Blickwinkel angeschlossen und zugleich die Vorzüge einer solchen Begrenztheit näher beleuchtet werden.¹⁰

Das Ziel des Beitrags besteht darin, jene Formelideale¹¹ in der Mathematik und in der Ökonomik zu identifizieren, um anschließend Überlegungen darüber anzustellen, auf welche Art und Weise diese Ideale den logischen Spielraum der Problemlösung erweitern oder einengen. Ganz entscheidend hierfür ist das Verhältnis von Internalitäten und Externalitäten; also ob bzw. welche Umweltbezüge in der Formelsprache eingeschlossen oder ausgeschlossen werden.

Die Analyse erfolgt aus wissenssoziologischer Perspektive, die die mathematische, mit Blick auf die Ökonomik vorsichtiger formuliert: die pseudo-mathematische Formelsprache als eine spezifische Semantik versteht. Hierbei handelt es sich nicht nur um eine Semantik, die sich der durch die gesellschaftliche Differenzierung ausgelösten Komplexitätssteigerung anpasst.¹² Die Evolution der mathematischen und wirtschaftswissenschaftlichen Semantik befolgt zudem, so meine These, paradigmatische Ideale, die in den spezifischen Disziplinen angelegt sind. Dies spiegelt sich in der Art und Weise wider, wie in den jeweiligen Disziplinen auf mathematisch-kalkulatorischer Modellebene einerseits eine Geschlossenheit und Binnenreferenzialität des Formelhorizonts und andererseits eine Projektionsfläche für die Entdeckung von Zusammenhängen und das Auffinden formaler Muster generiert wird.

Die Ausgangsannahme im Hinblick auf die Ökonomik ist, dass auch die Operationsweise ökonomischer Modelle, insofern sie auf mathematischer Grundlage gebildet werden, auf einer Binnenreferenzialität beruht. Die Stringenz solcher Modellierungen wird gerade deswegen zum vorherrschenden Gütekriterium, weil sie nicht nur jegliche Externalitäten im Sinne einer Irritation des formalen Modells ausschließt, sondern zugleich Beobachtungseffekte durch Sinnüberschüsse ermöglicht, die durch eine Entdeckung formaler Muster aktualisiert werden.¹³

8 Da die Wirtschaftswissenschaften seit je her eine Brücke zwischen Wissenschaft und Anwendung schlagen, erscheint es sinnvoll, diese modelllogischen Überlegungen bis zu mathematischen Modellierungen in der Wirtschaftspraxis auszudehnen. Die Erweiterung der hier angestellten Überlegungen um das Formelideal in der Ökonomik erfolgt an anderer Stelle.

9 Vgl. exemplarisch: Morgan: *The World in the Model* (Anm. 7); Donald MacKenzie: »Is Economics Performative? Option Theory and the Construction of Derivatives Markets«, in: ders./Fabian Muniesa/Lucia Siu (Hg.): *Do Economists Make Markets? On the Performativity of Economics*, Princeton 2007, S. 54–86; Marcel Boumans: *How Economists Model the World into Numbers*, Abingdon/Oxon 2005.

10 Vgl. exemplarisch: Christoph Deutschmann: »Soziologische Erklärungen kapitalistischer Dynamik«, in: Jens Beckert/Christoph Deutschmann (Hg.): *Wirtschaftssoziologie. Kölner Zeitschrift für Soziologie und Sozialpsychologie*, Sonderheft 49 (2009), S. 43–66; Jens Beckert/Rainer Diaz-Bone/Heiner Ganßmann: »Einleitung: Neue Perspektiven für die Marktsoziologie«, in: dies. (Hg.): *Märkte als soziale Strukturen*, Frankfurt a. M. 2007, S. 19–39; Heiner Ganßmann: »Doppelte Kontingenz und wirtschaftliches Handeln«, in: Beckert/Diaz-Bone/Ganßmann (Hg.): *Märkte als soziale Strukturen*, S. 63–77.

11 Der Begriff des Formelideals zielt auf einen in der jeweiligen Disziplin vertretenen Idealtypus einer Formel. Die Formelideale selbst haben, analog zu Webers Auffassung von Idealtypen, keinen Anspruch auf eine Realitätsabbildung noch liegt ihnen ein wertender Charakter zugrunde. Vielmehr dienen sie dazu, die Eigenart spezifischer Formeln zu verdeutlichen, die ihrerseits in ihren jeweiligen Kontexten auf spezifische ideologische Grundmuster verweisen; vgl. Max Weber: »Die Objektivität sozialwissenschaftlicher und sozialpolitischer Erkenntnis«, in: ders.: *Gesammelte Aufsätze zur Wissenschaftslehre*, Tübingen 1988 [1904]; ders.: *Wirtschaft und Gesellschaft. Grundriss der verstehenden Soziologie*, Frankfurt a. M. 2005 [1922], S. 7, S. 14.

12 Vgl. Niklas Luhmann: *Gesellschaftsstruktur und Semantik*, Bd. 1, Frankfurt a. M. 1980; Sebastian Giacobelli/Andreas Langenohl: »Temporalitäten der Ökonomik: Die Modellform ökonomischer Theorie«, in: Jens Maeße/Hanno Pahl/Jan Sparsam (Hg.): *Die Innenwelt der Ökonomie. Wissen, Macht und Performativität in der Wirtschaftswissenschaft*, Wiesbaden 2016 (im Druck).

13 Giacobelli/Langenohl: »Temporalitäten der Ökonomik« (Anm. 12).

Im ersten Schritt wird hierzu das Formelideal der reinen Mathematik auf der Grundlage wissenssoziologischer Überlegungen und mathematischer Selbstreflexionen herausgearbeitet. Daran anschließend wird das Formelideal pseudo-mathematischer Modelle in der Ökonomik untersucht. Die Basis bilden vor allem William Stanley Jevons' und Alfred Marshalls wegweisende Überlegungen zur Mathematisierung der Ökonomik. Die Beobachtungen werden abschließend auf den Aspekt des Erweiterns oder Einengens des logischen Spielraums zur Problemlösung in der Mathematik und der Ökonomik hin zugespitzt.

2. Das Formelideal der reinen Mathematik

Die reine Mathematik unterscheidet sich von der angewandten Mathematik darin, dass sie ihren originären Zweck eben nicht in der Lösung praktischer, weltlicher Probleme sieht. Sie ist, vergleichbar mit der Soziologie,¹⁴ eine Wissenschaft für die Wissenschaft oder kritisch formuliert: ein »Orchideenfach von höchstem ästhetischem Reiz«¹⁵. In einer wissenschaftlichen Disziplin wie der Mathematik, in dem allein die Logik die Dominante zu sein scheint, überrascht es zunächst, wenn bei der Bewertung mathematischer Formeln oder bei Herleitungen von »Schönheit« oder »Ästhetik« die Rede ist.¹⁶ Aber dies ist u. a. dem Umstand geschuldet, dass keine externen, praktischen Bewertungsmaßstäbe wie etwa in der angewandten Mathematik herangezogen werden können.¹⁷ Selbst wenn eine Reihe von technologischen Entwicklungen auf Ergebnisse der reinen Mathematik zurückzuführen sind, ist in dem Moment, in dem »reine« Mathematiker Lösungen für abstrakte Probleme suchen, eine praktische Anwendung ihrer Lösungen weder das erklärte Ziel, noch ist sie absehbar.¹⁸ An die Stelle des praktischen Nutzens zur Bewertung und Hierarchisierung mathematischer Lösung rücke dann, so etwa Borel, die Ästhetik.¹⁹ Diese Schönheit, nicht nur des Resultats, sondern auch des Herleitungsprozesses, habe aber keinen Eigenwert, sondern diene vielmehr als Kontrollinstrument.²⁰ So heißt es etwa bei Hardy:

*The mathematician's patterns, like the painter's or the poet's must be beautiful; the ideas like the colours or the words, must fit together in a harmonious way. Beauty is the first test: there is no permanent place in the world for ugly mathematics.*²¹

14 Godfrey Harold Hardy: *A Mathematician's Apology*, Seattle 2011 [1940].

15 Friedrich L. Bauer: »Vorwort«, in: Borel: *Mathematik* (Anm. 7), S. 8.

16 An dieser Stelle ist darauf hinzuweisen, dass der Begriff der Ästhetik hier ausschließlich im Sinne einer Zuschreibung behandelt wird und damit die Notwendigkeit einer systematische Einordnung in den theoretischen Forschungsstand entfällt. Nichtsdestotrotz sind die Fragen, ob es sich, gemessen an letzterem, um Ästhetik handelt, der hier eine Kontrollfunktion zugeschrieben wird, und wie die Funktionserfüllung im Detail, aber auch die Grenzen selbiger, vorzustellen sind, generell klärungsbedürftig. Einer solchen Klärung muss umfangsbedingt an anderer Stelle nachgegangen werden.

17 Allerdings fand die Mathematik vor der Anwendung größerer Abstraktionen und auch weit vor der Mathematisierung der Ökonomik zunächst ihren praktischen Einsatz in der Buchhaltung, in Messungen und in der Mechanik; vgl. Borel: *Mathematik* (Anm. 7), S. 18–19; Richard W. Hadden: *On the Shoulders of Merchants: Exchange and the Mathematical Conception of Nature in Early Modern Europe*, Albany 1994.

18 Borel: *Mathematik* (Anm. 7), S. 14–18; Hardy: *A Mathematician's Apology* (Anm. 14), S. 39. Borel nennt ein Zitat von Carl Friedrich Gauß, der sich eben der praktischen Anwendung komplexer Zahlen noch nicht bewusst sein konnte: »Es ist hier nicht vom praktischen Nutzen die Rede, sondern die Analyse ist mir eine selbständige Wissenschaft, die durch Zurücksetzung jener fingierten Größen (der komplexen Zahlen) außerordentlich an Schönheit und Rundung verlieren würde.« Borel: *Mathematik* (Anm. 7), S. 15.

19 Ebd., S. 19. So ist es auch nicht weiter verwunderlich, dass Mathematiker sich bei der Betrachtung ihrer Disziplin die Frage stellen, ob es sich um eine Wissenschaft oder um Kunst handle. Die Antwort auf diese Frage fällt indessen höchst unterschiedlich aus; vgl. Hardy: *A Mathematician's Apology* (Anm. 14), S. 43; Borel: *Mathematik* (Anm. 7), S. 11, S. 21 ff.

20 Enrico Bombieri: *Beauty in Mathematics. Special Lecture 11.12.2012*. Zugriff über: <http://video.ias.edu/1213/special-lecture/1211-bombieri> (Zugriff am 19.08.2014), 3'55; Borel: *Mathematik* (Anm. 7).

21 Hardy: *A Mathematician's Apology* (Anm. 14), S. 13.

Schönheit und Wahrheit gehen demnach Hand in Hand. Und gerade deshalb ist Henri Poincaré zufolge eine »ästhetische Sensibilität« vonnöten, um die nützlichen *und* schönen, und damit die *richtigen* Kombinationen zu finden, die man zur Lösung mathematischer Probleme benötigt.²²

Gerade die reine Mathematik, die nicht die Nutzbarmachung ihrer Ergebnisse in anderen Disziplinen als primären Zweck ansieht, erarbeitet auf diese Weise Formeln, die sich durch potenzierte Abstraktion, das heißt die Abstraktion von bereits Abstrahiertem, auszeichnet.²³ Und »abstrakt« meint im mathematischen Verständnis das, was eingangs als Ausschluss von Umweltbezügen bezeichnet wurde: den Ausschluss dessen, »was in dem betreffenden Zusammenhang und für einen bestimmten Zweck unwesentlich ist«.²⁴

Auf dieser abstrakten Ebene dominiert die Suche nach Mustern, ähnlich einem Suchspiel, um Lösungen mathematischer, rein logischer Probleme zu finden. Bei dieser Suche spielen in der Vergangenheit erarbeitete Probleme und Lösungen sowie ästhetische Aspekte, wie das Finden einer Ordnung, von Harmonie oder Eleganz, eine entscheidende Rolle.²⁵ Es besteht Borel zufolge eben kein Spannungsfeld zwischen der Mathematik als Wissenschaft, die der Naturwissenschaft oder der Technik diene, und der Mathematik als Kunst, die Inspiration und Lösungen hervorbringe.²⁶ Die reine Mathematik liefert allgemeingültige Lösungen, die wiederum überraschende Kombinationsmöglichkeiten zulassen. Diese können in anderen Wissenschaftsdisziplinen zur Anwendung gebracht werden, gerade *weil sie allgemein formuliert sind und keine externen Bezüge* aufweisen.

Diese relativ freie Kombinierbarkeit führt zu einem Sinnüberschuss im eingangs genannten Sinne. Neue Forschungen lassen es zu, bereits bestehende mathematische Herleitungen oder Formeln zu aktualisieren, neu zu interpretieren, neue Muster in ihnen zu erkennen, um ein vollkommen anders gelagertes Problem zu bearbeiten.²⁷ Anders als in der mathematisierten Ökonomik wird, wie wir im Anschluss sehen werden, die Anwendungsorientierung ausgeschlossen, um eine Begrenzung der Suche nach rein anwendungslogischen Mustern zu vermeiden,²⁸ auch wenn dies eine spätere praktische Anwendung nicht gänzlich ausschließt. Der daraus resultierende Sinnüberschuss mathematischer Formeln wird damit allein durch die Annahmen der jeweiligen Modelle, durch die Orientierung an in der Disziplin kommunizierten Begrifflichkeiten und Problemen sowie durch ästhetische Bewertungskriterien gezähmt.

3. Das Formelideal der mathematisierten Ökonomik

Historisch gesehen war die Anwendung der Mathematik in der Ökonomik zunächst allein auf die Veranschaulichung wirtschaftlicher Zusammenhänge begrenzt. Die Smith'sche Annahme, dass die Spezialisierung zu einer höheren Arbeitsproduktivität führe,²⁹ benötigt keinen Rückgriff auf die Mathematik. Das Anführen mathematischer Beispiele erhöhe jedoch die Klarheit der Aussage.³⁰ Nachdem sich insbesondere

22 Henri Poincaré: *Wissenschaft und Methode*, Berlin: 2003 [1908], S. 47; David Wells: »Are These the Most Beautiful?«, in: *Mathematical Intelligencer* 12 (1990) 3, S. 37–41, hier S. 39 f.; Bombieri: *Beauty in Mathematics* (Anm. 20), 540 f.

23 Siegfried Gottwald/Herbert Kästner/Helmut Rudolph: »Einleitung«, in: dies. (Hg.): *Meyers kleine Enzyklopädie Mathematik*, Mannheim 1995, S. 11–15, hier S. 11.

24 Ebd.

25 Borel: *Mathematik* (Anm. 7), S. 28 ff. Diese Kriterien werden, so Borel, zuweilen mit ästhetischen Kriterien gleichgesetzt; vgl. ebd., S. 35. Ästhetik, so Borel, »bezieht auch ein wenig mehr irdische Faktoren ein, wie Bedeutung, Tragweite, Anwendungsfähigkeit, Nützlichkeit, aber das innerhalb der mathematischen Wissenschaft«; ebd., S. 34.

26 Ebd., S. 23.

27 Eine Suche dieser Art müsse nicht zwangsläufig gezielt erfolgen. So spricht Borel davon, dass ein Mathematiker gleich einem Komponisten oder Künstler seiner Inspiration folgt; vgl. ebd., S. 20 f., ebenso: Wolfgang Krull: »Über die ästhetische Betrachtungsweise in der Mathematik«, in: *Sitzungsberichte der Physikalisch-Medizinischen Sozietät Erlangen* 61 (1930), S. 207–220; Bettina Heintz: *Die Innenwelt der Mathematik. Zur Kultur und Praxis einer beweisenden Disziplin*, Wien/New York 2000, S. 145 ff.

28 Borel: *Mathematik* (Anm. 7), S. 23.

29 Smith: *Der Wohlstand der Nationen* (Anm. 2).

30 Marco Li Calzi/Achille Basile: »Economists and Mathematics from 1494 to 1969. Beyond the Art of Accounting«, in: Michele Emmer (Hg.): *Mathematics and Culture I*, Berlin/Heidelberg 2004, S. 95–107, hier S. 97.

durch die Arbeiten von Antoine A. Cournot und anderen die Verwendung der mathematischen Sprache in der Ökonomik etablierte, war es William Stanley Jevons, der sich für die deduktive, mathematische Methode in der Ökonomik nicht nur einsetzte, sondern die Anerkennung der Ökonomik als Wissenschaft vom Einsatz der Mathematik abhängig machte.³¹ Die Verwendung der Mathematik ist folglich mehr als nur die Anwendung einer geeigneten Sprache. Es geht um die wissenschaftliche Legitimierung einer Disziplin. Aus einer optionalen, exemplifizierenden Verwendung der Mathematik wird ein Pflichtgebrauch zum Wohle der Ökonomik als anerkannter Wissenschaft.

Dieser Zielsetzung folgend entwarf Jevons, neben Hermann Heinrich Gossen³², Léon Walras und Carl Menger³³ seine Fassung einer Grenznutzentheorie. Diese Entwicklung in der Ökonomik wird auch als »marginalistische Revolution« bezeichnet, die mit ihrer subjektivistischen Werttheorie den Kern der neoklassischen Theorie darstellt und bis heute den Mainstream der akademischen Lehre ausmacht.³⁴ Die Verwendung der Mathematik in der Ökonomik erscheint Jevons dennoch als erklärungsbedürftig. Und anhand seiner und Marshalls Begründungen für den Einsatz der Mathematik und der Kritiken, denen sich die mathematisierte Ökonomik ausgesetzt sieht, soll im Folgenden das ökonomische Formelideal herausgearbeitet werden. Die Wirtschaftstheorie muss Jevons zufolge schon allein deshalb einen »purely mathematical« Charakter aufweisen, da sie Quantitäten in den Blick nehme.³⁵ Zudem lassen sich komplexe, quantitative Zusammenhänge nur in mathematischer Sprache präzise ausdrücken.³⁶ Und immer dann, wenn eine Disziplin nicht nur nach logischen Kriterien operiere, sondern zudem nach einem »greater or less« frage, verfare sie zugleich nach mathematischen Kriterien; selbst dann, wenn keine präzisen Daten zugrunde liegen.³⁷ Jevons geht wie Antoine Augustin Cournot jedoch davon aus, dass eine präzise Messbarkeit der zugrundeliegenden Größen grundsätzlich möglich sei. Man müsse nur beginnen, an entsprechenden Methoden zu arbeiten;³⁸ zumal ein Überfluss an Zahlenmaterial bestehe, das notwendig sei, »to render Economics an exact mathematical science«. ³⁹ Und selbst wenn die zugrundeliegenden Daten nicht vollständig oder präzise genug seien und der Schritt der Deduktion Schwächen unterliege, spräche dies nicht gegen die Mathematisierung der Wirtschaftswissenschaften.⁴⁰

Diese methodologischen Vorüberlegungen Jevons' zur Mathematisierung der Ökonomik werden nachfolgend anhand seiner Überlegungen zum Grenznutzen verdeutlicht. Jevons kombiniert die utilitaristische Philosophie Jeremy Benthams mit mathematischen Techniken. Der Wert eines Gutes wird in Anlehnung an Bentham durch »pleasure« und »pain« bestimmt.⁴¹ Davon ausgehend nimmt Jevons an, dass Freude und Leid zu behandeln sind »as positive and negative quantities are treated in algebra«. Das

31 Jevons: *The Theory of Political Economy* (Anm. 3), S. 3. Jevons kombinierte in der Regel deduktive und induktive Verfahren, betonte jedoch vor allem die Notwendigkeit des deduktiven Vorgehens in der Ökonomik; vgl. ebd., S. 19; vgl. auch R. D. Collison Black: »William Stanley Jevons (1835-1882)«, in: Joachim Starbatty (Hg.): *Klassiker des ökonomischen Denkens. Teil 2: Von Karl Marx bis John Maynard Keynes*, Hamburg 2012, S. 76–96, hier S. 82.

32 Hermann Heinrich Gossen war der erste dieser vier Grenznutzenanalytiker, der einen theoretischen Entwurf vorlegte. Jevons wurde jedoch erst sechs Jahre nach seiner Veröffentlichung der »Theory of Political Economy« auf Gossens Werk aufmerksam; vgl. Jevons: *The Theory of Political Economy* (Anm. 3), Preface liii ff.; Karl Pribram: *Geschichte des ökonomischen Denkens*, Frankfurt a. M. 1998, S. 525 ff.; Black: »William Stanley Jevons (1835-1882)« (Anm. 31), S. 91.

33 Carl Menger ist ein sehr gutes Beispiel dafür, dass eine Grenznutzentheorie gänzlich ohne den Einsatz einer mathematisierten Ökonomik formulierbar ist; vgl. Pribram: *Geschichte des ökonomischen Denkens* (Anm. 32), S. 527 ff.

34 Li Calzi/Basile: »Economists and Mathematics from 1494 to 1969« (Anm. 30), S. 101.

35 Jevons dreht die Frage also um: Die quantitativen Größen, um die es in der Wirtschaftstheorie gehe, lassen sich idealerweise nur in mathematischer Sprache bearbeiten, da gewöhnliche Sprache zu kompliziert und ungenau sei; Jevons: *The Theory of Political Economy* (Anm. 3), S. 3 ff., S. 9 f.; vgl. Peter Rosner: *Die Entwicklung ökonomischen Denkens: Ein Lernprozess*, Berlin 2012, S. 321.

36 Jevons: *The Theory of Political Economy* (Anm. 3), S. 5.

37 Ebd., S. 6 f.

38 Ebd., S. 7 ff.

39 Ebd., S. 10 f.

40 Zumal dies in den Naturwissenschaften ein alltägliches Problem sei und dies nicht den Einsatz mathematischer Verfahren verhindern dürfe: »The data are almost wholly deficient for the complete solution of any one problem in natural science. Had physicists waited until their data were perfectly precise before they brought in the aid of mathematics, we should have still been in the age of science which terminated at the time of Galileo«; ebd., S. 6.

41 Jeremy Bentham: *An Introduction to the Principles of Morals and Legislation*, London 1789.

Ziel jedes Einzelnen bestehe darin, »to maximise the resulting sum in the direction of pleasure«. ⁴² Dies ist die Grundlage seiner Nutzentheorie, die die Wirtschaft als eine Differentialrechnung von Freude und Leid ⁴³ und als »mechanics of utility and self-interest« versteht. ⁴⁴ Jevons unterscheidet den Gesamtnutzen (»total utility«) vom Grenznutzen (»final degree of utility«), was sich in dem Differentialkoeffizienten von »u« als Funktion von »x« widerspiegelt. ⁴⁵ Der Bruch: du/dx steht dann für den Grenznutzen, der einer bestimmten Menge des Gutes x entspricht. ⁴⁶

Alfred Marshall verwendet die Mathematik ähnlich wie Jevons. Auch er plädiert für einen Ausschluss politischer, im Sinne von machtrelevanter Aspekte und für eine naturwissenschaftliche Ausrichtung der Ökonomik. ⁴⁷ Auf welche Weise Marshall ökonomische in ökonomisch-mathematische Sprache übersetzt, lässt sich an seiner Definition der Nachfragelastizität verdeutlichen, die er aus seinen Überlegungen zum Grenznutzen ableitet. ⁴⁸ Kurz gefasst, gibt die Nachfrageelastizität an, wie stark sich die Nachfrage in Relation zum Ausmaß einer Preiserhöhung oder einer Preissenkung verändert. Dieses Verhältnis beschreibt Marshall im »Mathematical Appendix« ⁴⁹ wie folgt:

$$\text{Elasticity of Demand at P} = \frac{P'R}{OM} \div \frac{PR}{PM}$$

Der erste Bruch nimmt die Nachfragemenge in den Blick: »P'R« symbolisiert die absolute Höhe der Nachfrageveränderung und »OM« die absolute Nachfragemenge zum Preis P. Der zweite Teil behandelt den Preis: »PR« steht für die Höhe der Preisveränderung und »PM« für den ursprünglichen Preis. Dieser Formel liegt die These zugrunde, dass zwischen dem Preis und der Nachfragemenge ein negativer Zusammenhang besteht: Wenn der Preis (die Nachfragemenge) steigt, sinkt die Nachfragemenge (der Preis) und wenn der Preis (die Nachfragemenge) sinkt, steigt die Nachfragemenge (der Preis). Daher ist die resultierende Preiselastizität dieses Grundmodells immer negativ. ⁵⁰

Ebenso wie Jevons greift Marshall auf eine Kombination aus Sprache, Algebra und Geometrie zurück. Es kommen bei beiden vor allem einfache mathematische Rechenarten zum Einsatz (Addition, Subtraktion, Multiplikation, Division). Es handelt sich nicht um hochmathematische ökonomische Analysen, sondern vielmehr um Ausarbeitungen, die die mathematische Sprache für Ökonomen nutzbar machen. ⁵¹ Aber auch wenn Marshall neben anderen einerseits die Grundlagen für eine extensive Mathematisierung der Ökonomik liefert, die deutlich über eine reine Übersetzung in algebraische Sprache hinausgeht, grenzt er sich andererseits von dieser Entwicklung ab. Während die einen Ökonomen die mathematische Sprache einsetzen, da diese präziser zu sein scheint, argumentiert er, dass die Mathematik wichtige Nuancen, die die wirtschaftliche Realität ausmachen, eben nicht einfangen könne.

42 Jevons: *The Theory of Political Economy* (Anm. 3), S. 32; David E. Schrader sieht in dieser Annahme Jevons' die erste Formulierung eines Maximierungs-Postulats: »As a result of this new mathematical clarity, for the first time it becomes natural, almost necessary, to see maximization of utility (or profits) as a goal for economic agents«; David E. Schrader: *The Corporation as Anomaly*, Cambridge 1993, S. 57.

43 Jevons: *The Theory of Political Economy* (Anm. 3), S. 85.

44 Ebd., S. 21.

45 Ebd., S. 49.

46 Ebd., S. 51. Diesen Grenznutzenüberlegungen liegt die Frage nach dem Wert von Gütern zugrunde. Dieser Wert ist relativ für den Einzelnen und dieser relative Wert von Gütern bilde im Anschluss an T. E. Banfield die Grundlage für die Ökonomik als Wissenschaft; vgl. ebd., S. 43.

47 John Maloney: *Marshall, Orthodoxy and the Professionalisation of Economics*, Cambridge 1985, S. 24.

48 Alfred Marshall: *Principles of Economics*, Houndmills u. a. 2013 [1890], S. 86 ff.

49 Ebd., S. 690.

50 Ebd., S. 86.

51 Jevons selbst stellt logische Überlegungen an, die er mit einem Kurvendiagramm veranschaulicht und erst dann in eine mathematische Formel übersetzt, die aber für die Entwicklung des Gedankens nicht notwendig war: »We must consider how we may express these notions in appropriate mathematical language«; Jevons: *The Theory of Political Economy* (Anm. 3), S. 49 ff.

Und noch pointierter bringt er seine Skepsis in dem vielfach zitierten Brief an A. L. Bowey aus dem Jahr 1906 zum Ausdruck:

[I] had a growing feeling in the later years of my work at the subject that a good mathematical theorem dealing with economic hypotheses was very unlikely to be good economics; and I went more and more on the rules— (1) Use mathematics as a shorthand language, rather than as an engine of enquiry. (2) Keep to them till you have done. (3) Translate into English. (4) Then illustrate by examples that are important in real life. (5) Burn the mathematics. (6) If you can't succeed in 4, burn 3. This last I did often.

Die kritische Einstellung zur Verwendung der Mathematik in der Ökonomik, die über eine reine Übersetzungsleistung hinausgeht, tritt umso mehr mit Blick auf ökonometrische Ansätze zutage. Bereits im Jahr 1936, und damit nur kurz nach Gründung der »Econometric Society«, distanzierte sich John Maynard Keynes, Schüler Marshalls, deutlich von solcherlei »symbolischen, pseudomathematischen Methoden« in der Ökonomik, die nur dazu führen, dass die Autoren die »Abhängigkeiten der wirklichen Welt in einem Wust anmaßender und nutzloser Symbole aus dem Blick zu verlieren.«⁵² Seiner Ansicht nach muss die Mathematik auf das Nötigste reduziert werden. Denn es genüge die logische Eigenzeit der Mathematik nicht zur Erklärung, geschweige denn zur Prognose, von Krisen in der gesellschaftlichen Zeit;⁵³ dies insbesondere mit Blick auf die Weltwirtschaftskrise der 1930er Jahre. Etwas diplomatischer rekapituliert Gerard Debreu die Entwicklung der Ökonomik von den 1930er Jahren bis 1990. Die Mathematisierung der ökonomischen Theorie habe u. a. gemäß dem Idealbild der Mathematik zu einem Universalismus, zur Simplifizierung und zu einer höheren Abstraktion geführt. Die Gefahr dieser Entwicklung bestehe aber darin, dass die in der Disziplin mittlerweile dominierende mathematische Logik der reinen Theoriearbeit vorgezogen werde und die letztere der Belanglosigkeit anheim falle.⁵⁴ Noch harscher kritisiert Claus Peter Ortlieb die Methodik der neoklassischen Lehre: Es würden »irreale Sonderfälle« ihrer spezifischen Modellbedingungen entledigt und zu »universellen Marktgesetzen« erhoben.⁵⁵ Unabhängig von der zumeist innerökonomischen Kontroverse über ein Zuviel oder Zuwenig an mathematischen Methoden, hat sich die mathematische Sprache in der Ökonomik durchgesetzt. Und Porter zufolge ist es trotz aller Kritik gerade dem abstrakten Formalismus der neoklassischen Mathematik zu verdanken, dass die Ökonomik als Disziplin zusammenhält.⁵⁶

Zudem spielt die mathematische Sprache in der Vermittlerrolle der Ökonomik zwischen Wissenschaft und Wirtschaft eine entscheidende Rolle. Denn in ihrer Mittlerposition richtet die Ökonomik Handlungsempfehlungen an die Praxis und prägt damit ökonomische Strukturen, was insbesondere Verfechter der

52 Keynes: *Allgemeine Theorie der Beschäftigung, des Zinses und des Geldes* (Anm. 4), S. 252.

53 Vgl. Ute Tellmann: »Die Zeit und die Konventionen der Ökonomie«, in: Andreas Langenohl/Kerstin Schmidt-Beck (Hg.): *Die Markt-Zeit der Finanzwirtschaft. Soziale, kulturelle und ökonomische Dimensionen*, Marburg 2007, S. 239–260, hier S. 240.

54 Gerard Debreu: »The Mathematization of Economic Theory«, in: *The American Economic Review* 81 (1991) 1, S. 1–7. Dies ist u. a. daran zu erkennen, dass in den fünf wichtigsten Economic Reviews allein im Zeitraum zwischen 1932 und 1990 der Anteil derjenigen Artikel, die etwa die Differentialrechnung verwenden, von zwei auf sechsundfünfzig Prozent gestiegen ist; Li Calzi/Basile »Economists and Mathematics from 1494 to 1969« (Anm. 30), S. 106; vgl. Debreu: »The Mathematization of Economic Theory«, S. 1 f.

55 Claus Peter Ortlieb: »Mathematisierte Scharlatanerie. Zur »ideologiefreien Methodik« der neoklassischen Lehre«, in: Dürmeier/von Egan-Krieger/Peukert (Hg.) *Die Scheuklappen der Wirtschaftswissenschaft* (Anm. 5), S. 55–61, hier S. 57, S. 59. So heißt es bei Ortlieb u. a.: »Eine Harmonielehre des Marktes wird gegen alle Krisenerscheinungen der kapitalistischen Produktions- und Wirtschaftsweise zum Dogma erhoben und anschließend in mathematische Form gegossen, wobei die Mathematik aber nicht – wie in den Naturwissenschaften – als Erkenntnisinstrument, sondern als eine Art Trickspiel dient, um dem geneigten Publikum vorzugaukeln hier würde Wissenschaft betrieben.« Ebd., S. 59.

56 Theodore M. Porter: »Rigor and practicality: rival ideas of quantification in nineteenth-century economics«, in: Philip Mirowski (Hg.) *Natural Images in Economic Thought* (Anm. 2), S. 127–170, hier S. 160; ders.: *Trust in Numbers. The Pursuit of Objectivity in Science and Public Life*, Princeton/New Jersey 1995; vgl. Bettina Heintz: »Zahlen, Wissen, Objektivität: Wissenschaftssoziologische Perspektiven«, in: Andrea Mennicken/Hendrik Vollmer (Hg.): *Zahlenwerk. Kalkulation, Organisation und Gesellschaft*, Wiesbaden 2007, S. 65–85; Pribram: *Geschichte des ökonomischen Denkens* (Anm. 32), S. 17.

Performativitätsthese pointiert herausstellen.⁵⁷ Diese Doppelrolle der Ökonomik aufgreifend, formuliert Joseph Vogl, dass die mathematische Formalisierung der Ökonomik auf die »Verfertigung eines theoretischen oder diskursiven Objekts« abziele, »dass die mathematische Formalisierung mit der Annahme bestimmter Steuerungsideen« bezüglich wirtschaftlicher Abläufe verbinde.⁵⁸

Diese Verwendung der mathematischen Sprache, die vorgenannten kritischen Punkte und die Mittlerrolle der Ökonomik im Blick behaltend, kommen wir nun auf etwaige Unterschiede zwischen mathematischen und ökonomischen Formelidealen zurück. Im vorangegangenen Abschnitt wurde die Beobachtung diskutiert, dass Mathematiker ihre Herleitungen und Formeln nach ästhetischen Kriterien prüfen, da der reinen Mathematik ein Anwendungsbezug als *Nützlichkeitskriterium* fehle. Da die Ökonomik bestrebt ist, eine Brücke zwischen Wissenschaft und Wirtschaftspraxis zu schlagen, besteht in der Ökonomik *kein* Bedarf an Ästhetik als Gütekriterium.⁵⁹ Vielmehr ist es die Überführung gängiger Sprache in mathematisierte Modelle, die ein solches Gütekriterium und eine Voraussetzung zur Veröffentlichung ökonomischer Beiträge darstellt.⁶⁰ Insbesondere der Einwand Ortliebs gegenüber neoklassischen Modellen macht zudem darauf aufmerksam, dass zum einen die Binnenlogik mathematisierter, ökonomischer Modelle in der Ökonomik ernst genommen wird, und zwar so ernst, dass die in sich logischen, von spezifischen Rahmenbedingungen losgelösten Modelle eine Übertragung auf andere Problemstellungen leicht ermöglichen. Es scheint, dass die Übersetzung in die Sprache der Mathematik selbst dann als ein Gütekriterium dient, wenn ein Empiriebezug nicht die Hürden beseitigen kann, die die zugrundeliegende ökonomische Theorie auftürmt.

Ein wesentlicher Unterschied zwischen mathematischen und ökonomischen Modellen besteht zum anderen darin, dass in der reinen Mathematik Referenzen zur realen Welt strikt ausgeschlossen werden. In der Ökonomik des hier skizzierten Zuschnitts besteht die Hauptaufgabe dagegen darin, die Variablen inhaltlich mit *abstrakten* wirtschaftlicher Größen oder Repräsentationen zu füllen.⁶¹ Aufgrund dieser Differenzen ist die Position Hardys ernst zu nehmen, dass man im Fall der Ökonomik nicht von mathematischen Formeln sprechen kann, sondern schon aufgrund der Einbindung externen Referenzen vorsichtig von pseudo-mathematischen Modellen sprechen müsste:

It is quite common, for example, for an astronomer or a physicist to claim that he has found a mathematical proof: that the physical universe must behave in a particular way. All such claim, if interpreted literally, are strictly nonsense. It cannot be possible to prove mathematically that there will be an eclipse tomorrow, because eclipses, and other physical phenomena, do not form part of the abstract world of mathematics; and this, I suppose, all astronomers would admit when pressed, however many eclipses they may have predicted correctly.⁶²

57 Michel Callon (Hg.): *The Laws of the Markets*, Oxford 1998; Donald MacKenzie/Yuval Millo: »Constructing a Market, Performing Theory: The Historical Sociology of a Financial Derivatives Exchange«, in: *American Journal of Sociology* 109 (2003) 1, S. 107–145; MacKenzie u. a. (Hg.): *Do Economists Make Markets?* (Anm. 9); Donald MacKenzie: *An Engine, Not a Camera. How Financial Models Shape Markets*, Cambridge 2008.

58 Joseph Vogl: *Das Gespenst des Kapitals*, Zürich 2011, S. 97.

59 Und es ist eben der rein empirische Anwendungszweck, der die Schönheit als Gütekriterium mathematischer Berechnungen für Ökonomen obsolet macht. Bombieri spitzt diese Sichtweise John Stuart Mills wie folgt zu: »Mathematics is the result of empirical research, which puts mathematics on a par with other sciences. Beauty in mathematics has no meaning.«; Bombieri: *Beauty in Mathematics* (Anm. 20), 445. Wenn Auer hingegen bemerkt: »Ökonometrie ist also nicht nur l'art pour l'art!«, verweist er in erster Linie auf die Nützlichkeit dank Anwendungsorientierung der Ökonometrie, die Kernbotschaft seiner Monographie; Ludwig von Auer: *Ökonometrie. Eine Einführung*, Berlin/Heidelberg 2013, S. 2. Allerdings ist es eine durchaus spannende Frage, ob es sich nicht doch um eine Orientierung an ästhetischen Kriterien, wie das der Harmonie, handelt, die dazu führt, dass an einem Gleichgewichtsmodell festgehalten wird, obwohl diesem eine breite Kritik sowie eine Fülle von Gegenentwürfen gegenüberstehen; vgl. Hanno Pahl: »Zwischen Glasperlenspiel- und Ingenieurssemantiken. Diskursanalytische Untersuchungen zur Hegemonie neoklassischer Wissenskultur nach 1945«, in: Inga Klein/Sonja Windmüller (Hg.): *Kultur der Ökonomie. Zur Materialität und Performanz des Wirtschaftlichen*, Bielefeld 2014, S. 191–214.

60 Vgl. Li Calzi/Basile: »Economists and Mathematics from 1494 to 1969« (Anm. 30); Dürmeier/Egan-Krieger/Peukert: *Die Scheuklappen der Wirtschaftswissenschaft* (Anm. 5); Debreu: »The Mathematization of Economic Theory« (Anm. 54).

61 Vgl. Morgan: *The World in the Model* (Anm. 7), S. 96–98.

62 Hardy: *A Mathematician's Apology* (Anm. 14), S. 26.

So ist anzunehmen, dass auch dann, wenn eine ganze Reihe von Mathematikern mit einem Nobelpreis *in den Wirtschaftswissenschaften* ausgezeichnet werden,⁶³ dies aus mathematisch formulierten ökonomischen Problemen weder Mathematik noch eine exakte Wissenschaft macht. Und obwohl ökonomische Formeln, anders als Formeln in der reinen Mathematik, abstrahierte Referenzen einbeziehen, ermöglichen sie dennoch eine hohe Übertragbarkeit formaler Muster und damit einen hohen Grad an Sinnüberschuss. Und, wie bereits angekündigt wurde, läuft der Abstraktionsgrad der neoklassischen Modellsprache gerade nicht ihrer Anwendung in der Wirtschaftspraxis zuwider. Wie nachfolgend gezeigt wird, ist genau das Gegenteil der Fall.

4. Schluss – Formelideale prägen den logischen Spielraum

Welche Rückschlüsse lassen diese Beobachtungen zur Formellogik in der reinen Mathematik und in der *mathematisierten Ökonomik* im Hinblick auf den logischen Spielraum bei der Problembearbeitung zu? Die *reine Mathematik* findet ihr Formelideal in einer abstrahierten, jegliche Externalitäten ausschließenden Logik. Ungewissheiten, die externe Phänomene betreffen, werden definitorisch vollständig ausgeschlossen. In der reinen Mathematik dominiert die Suche nach Mustern, um Lösungen für Probleme mathematischer, rein logischer Natur zu finden. Ungewissheiten spielen demnach ausschließlich im Hinblick auf die mathematisch richtige Lösung logischer Probleme eine Rolle. Dies lässt sich spezifizieren in Ungewissheiten 1) bezüglich einer geeigneten und korrekt ausgeführten mathematischen Herleitung und 2) einer zu findenden oder zu belegenden Theorie.

Dieser rein mathematische Suchprozess mündet in Formeln, die ein hoher Abstraktionsgrad und ein hoher Allgemeinheitsgrad auszeichnet, und die gerade deshalb in anderen Wissenschaftsdisziplinen zur Anwendung gebracht werden können. Und zugleich führt der fehlende Anwendungsbezug dazu, dass eine Begrenzung der Suche auf rein anwendungslogische Muster vermieden wird und damit überraschende Kombinationen für die Problemlösungen zur Verfügung stehen.

Die Konzentration auf diese zwei Ungewissheitsaspekte, die korrekte Herleitung und die Theoriearbeit, führt in Kombination mit dem Ausblenden von Umweltbezügen zu zwei zentralen Merkmalen, die hier auf das mathematische Formelideal zugespitzt werden: Erstens fehlt der reinen Mathematik ein externes Güte- oder Kontrollkriterium, wie das des Nutzens in der praktischen Anwendung, das gemäß Selbstbeschreibung durch ästhetische Aspekte ersetzt wird. Zweitens erlaubt dieses eben nicht anwendungsorientierte Vorgehen eine offene Suche mit einer potenziell hohen Lösungsvielfalt und überraschenden Kombinationsmöglichkeiten. Das Lösen mathematischer Probleme wird allein durch Annahmen, durch die Orientierung an in der Disziplin kommunizierten Begrifflichkeiten und Problemen sowie durch ästhetische Bewertungskriterien weitestgehend begrenzt.

In der *mathematisierten Ökonomik* nach der Konzeption Jevons' wird die Sprache in eine mathematische Sprache übersetzt. *Hierbei bleiben die ideologischen Gehalte erhalten.*⁶⁴ Das heißt, dass nach mathematischen Gesichtspunkten bedeutungsneutrale Variablen ideologisch aufgeladen und gleichzeitig so behandelt werden, als stehe einer rechnenden Ökonomik die Eigenschaft des Neutralen und zugleich einer exakten (Natur-)Wissenschaft zu. Sie handelt sich damit jedoch zugleich die interne Kritik ein – hier veranschaulicht an den Einwänden Keynes' –, dass die Ahistorizität ökonomisch-mathematischer Modelle für die Rolle der Wirtschaftswissenschaften als Politik- und Wirtschaftsberater abträglich und

63 Achille Basile/Marco Li Calzi: »Who said that a Mathematician cannot win the Noble Price?«, in: Michele Emmer (Hg.): *Mathematics and Culture I*, Berlin/Heidelberg: 2004, S. 109–120; Debreu: »The Mathematization of Economic Theory« (Anm. 54), S. 2.

64 Ideologisch meint in diesem Kontext eine empirisch nicht haltbare Theorie, die zwecks Legitimitätsgewinn in ein mathematisch-neutrales Gewand gekleidet wird; vgl. Hans Albert: *Ökonomische Ideologie und politische Theorie*, Göttingen 1972.

für die Prognose von Wirtschaftskrisen ungeeignet sei.⁶⁵ Dies ist eine Ansicht, die der Perspektive heutiger Ökonometriker diametral entgegensteht und zugleich das Problem der reinen Mathematik widerspiegelt, die aufgrund der Ausblendung externer Referenzen aus der Anwenderperspektive unter Kritik steht.

Aufgrund der Mathematisierung weist die Ökonomik im Unterschied zur reinen Mathematik drei Ungewissheitsaspekte auf: Ungewissheiten bezüglich 1) der theoretischen Argumentation, 2) der mathematischen Herleitungen und 3) des Nutzens für die Anwender. Und durch das Hinzutreten dieses dritten Aspekts erweitert sich der logische Spielraum nicht etwa, sondern er verengt sich. Die Kombination aus ideologisch-theoretischer, mathematischer und wirtschaftlicher Problemlösung ergibt eben nicht ein Mehr an Optionen, sondern eine gegenseitige Einschränkung der Möglichkeiten. So lässt sich das Argument Borels in die entgegengesetzte Richtung lesen: *Die Suche nach anwendungslogischen Mustern verengt das, was allein aus theoretischer und methodischer Perspektive in der Ökonomik möglich wäre.* Wenn sich aber die Ökonomik in eine mathematische Ahistorizität⁶⁶ begibt und damit keinen Anschluss an historische wirtschaftliche Entwicklung mehr sucht, so wie es Keynes bemängelt, dann fehlt die Möglichkeit des praktischen Prüfstandes, der für das Selbstverständnis der Ökonomik als Brücke zwischen Wissenschaft und Wirtschaft als entscheidend angesehen wird.

Der Abstraktionsgrad, die Möglichkeit des Sinnüberschusses, die Einbindung von generalisierten Umweltbezügen sowie der Ausschluss von Externalitäten führe jedoch entgegen aller Kritik dazu, so Porter, dass eben dieser abstrakte Formalismus die Ökonomik als Disziplin zusammenhalte.⁶⁷ Und es sind insbesondere die idealtypisierenden, normierenden Annahmen der Neoklassik, die sich als höchst anschlussfähig für Anwendungen in der Wirtschaftspraxis erweisen, gerade weil sie im Formelgewand unhinterfragt übernommen werden.

Die Auseinandersetzung mit dem, was ich hier als *Formelideal* bezeichnet habe, hat vor allem gezeigt, dass anhand der Mathematisierung der Ökonomik dieser v. a. eines geglückt ist: eine exzellente Anschlussfähigkeit gegenüber der Ökonomie durch Sinnüberschuss der Formelsprache. Die Sinnüberschüsse, die die ökonomisch-mathematische Formelsprache zur Verfügung stellt, lädt die Wirtschaftspraxis dazu ein, in der Auseinandersetzung mit Ungewissheit Entsprechungen für die Muster eben jener Entscheidungssituationen in den Mustern ökonomischer Modelle wiederzufinden und diese zur Reduktion der Ungewissheit nutzbar zu machen. Das spezifische Ideal ökonomischer Formeln und hier insbesondere die zugrundeliegenden simplifizierenden Annahmen, wie die eines vollkommenen Marktes, erweisen sich für den Gebrauch in der Wirtschaftspraxis als Vorteil. Denn in der alltäglichen Auseinandersetzung mit Ungewissheit stehen v. a. die für die praktische Verwendung greifbareren, universell einsetzbaren kalkulatorischen Lösungsangebote, also ökonomisch-mathematische Formeln, und weniger die ideologischen Theorieannahmen im Vordergrund. Und dies, so scheint es, verschafft den ökonomisch-mathematischen Formeln einen Überlebensvorteil in der Wirtschaftspraxis – oder wie es Hardy formuliert hat: »languages die and mathematical ideas do not«.⁶⁸

65 Zum Verhältnis von historischer und logischer Zeit heißt es bei Heine/Herr: »Die Ökonomie befindet sich am Rande der (exakten) Wissenschaft und am Rande der Geschichte. Dies bedeutet, dass historische Zeit für ökonomische Modelle eine zentrale Rolle spielt. Eine gänzlich andere Position nimmt das neoklassische Paradigma ein, das ökonomische Modelle mit logischer Zeit und Geschichte mit historischer Zeit in zwei gänzlich getrennte Disziplinen eingeteilt sehen will.« Michael Heine/Hansjörg Herr: *Volkswirtschaftslehre. Paradigmenorientierte Einführung in die Mikro- und Makroökonomie*, München 2012, S. 505.

66 Der Vollständigkeit halber sei an dieser Stelle darauf hingewiesen, dass etwa William Rowan Hamilton durchaus davon ausgeht, dass sich Zahlen temporalisieren lassen. So stehen negative Zahlen für ein *früher* als positive Zahlen. Jede Zahl sei Zeitlichkeit; vgl. William Rowan Hamilton: »Theory of conjugate functions, or algebraic couples; with a preliminary and elementary essay on algebra as the science of pure time«, in: *Transactions of the Royal Irish Academy* 17 (1837), Teil 1, S. 293–422.

67 Porter: »Rigor and practicality« (Anm. 56), S. 160.

68 Hardy: *A Mathematician's Apology* (Anm. 14), S. 12.