

philosophia naturalis

JOURNAL FOR THE
PHILOSOPHY OF NATURE

Herausgeber / Editors Andreas Bartels
 Bernd-Olaf Küppers
 C. Ulises Moulines

ERLEBTE UND PHYSIKALISCHE ZEIT
Meinard Kuhlmann (ed.)

- | | |
|-----------------------|--|
| Meinard Kuhlmann | Erlebte und physikalische Zeit |
| Peter H. Richter | Gedanken zur Zeit |
| Ulrich Gähde | Theoriegeleitete Bestimmung von
Objektmengen und Beobachtungsintervallen
am Beispiel des Halleyschen Kometen |
| Dennis Lehmkuhl | On Time in Spacetime |
| Gerhard Vollmer | Gretchenfragen an den Naturalisten |
| Bernulf Kanitscheider | Zahl und Zeit |
| Georg Mohr | Musik als erlebte Zeit |

philosophia
JOURNAL FOR THE PHILOSOPHY OF NATURE *naturalis*

49 / 2012 / 2

Herausgeber / Editors Andreas Bartels
 Bernd-Olaf Küppers
 C. Ulises Moulines

Beirat / Editorial Board Werner Diederich (Hamburg)
 Michael Esfeld (Lausanne)
 Don Howard (Notre Dame)
 Andreas Hüttemann (Münster)
 Bernulf Kanitscheider (Gießen)
 Daryn Lehoux (Kingston, Ontario)
 James Lennox (Pittsburgh)
 Holger Lyre (Magdeburg)
 Peter Mittelstaedt (Köln)
 Felix Mühlhölzer (Göttingen)
 Friedrich Rapp (Dortmund)
 Friedrich Steinle (Berlin)
 Manfred Stöckler (Bremen)
 Eckart Voland (Gießen)
 Gerhard Vollmer (Braunschweig)
 Marcel Weber (Konstanz)
 Michael Wolff (Bielefeld)

KLOSTERMANN

Jahresinhalt 2012

Heft 1

Cord Friebe	Preface	5
Yuri Balashov	Do Composite Objects Have an Age in Relativistic Spacetime?	9
Mauro Dorato	Presentism/Eternalism and Endurantism/ Perdurantism: Why the Unsubstantiality of the First Debate Implies that of the Second	25
Florian Fischer	On the Asymmetry of Endurantistic and Perdurantistic Coexistence in Special Relativity	43
Cord Friebe	Eternalism and the Temporal Content of Persistence	63
Cody Gilmore	Keep in Touch	85
Thomas Müller	Indeterminism and Persistence	113
Thorben Petersen	Explicating Eternalism – A Study in Metaontology	137

Heft 2

Meinard Kuhlmann	Erlebte und physikalische Zeit	171
Peter H. Richter	Gedanken zur Zeit	175
Ulrich Gähde	Theoriegeleitete Bestimmung von Objektmengen und Beobachtungsintervallen am Beispiel des Halley'schen Kometen	207

Dennis Lehmkuhl	On Time in Spacetime	225
Gerhard Vollmer	Gretchenfragen an den Naturalisten	239
Bernulf Kanitscheider	Zahl und Zeit	293
Georg Mohr	Musik als erlebte Zeit	319

Inhalt

Meinard Kuhlmann (ed.)	ERLEBTE UND PHYSIKALISCHE ZEIT	
Meinard Kuhlmann	Erlebte und physikalische Zeit	171
Peter H. Richter	Gedanken zur Zeit	175
Ulrich Gähde	Theoriegeleitete Bestimmung von Objektmengen und Beobachtungsintervallen am Beispiel des Halleyschen Kometen	207
Dennis Lehmkuhl	On Time in Spacetime	225
Gerhard Vollmer	Gretchenfragen an den Naturalisten	239
Bernulf Kanitscheider	Zahl und Zeit	293
Georg Mohr	Musik als erlebte Zeit	319
	Verzeichnis der Autoren	348
	Richtlinien zur Manuskriptgestaltung	349

The articles are indexed in *The Philosopher's Index* and *Mathematical Reviews*.

Abonnenten der Printausgabe können über Ingentaconnect auf die Online-Ausgabe der Zeitschrift zugreifen: www.ingentaconnect.com

Zurückliegende Jahrgänge sind mit einer Sperrfrist von fünf Jahren für die Abonnenten von www.digizeitschriften.de zugänglich.

© Vittorio Klostermann GmbH, Frankfurt am Main 2013

Die Zeitschrift und alle in ihr enthaltenen Beiträge und Abbildungen sind urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung des Verlages unzulässig. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Satz: Mirjam Loch, Frankfurt am Main / Druck: KM-Druck, Groß-Umstadt.
Gedruckt auf alterungsbeständigem Papier  ISO 9706.

ISBN 978-3-465-04174-0

ISSN 0031-8027

Meinard Kuhlmann

Erlebte und physikalische Zeit – zum 60. Geburtstag von Manfred Stöckler

Manfred Stöckler ist als Experte für die Philosophie der Quantenphysik und insbesondere der Quantenfeldtheorie weithin bekannt. Etwas weniger bekannt ist sein philosophisches Interesse an Raum und Zeit sowie der Kosmologie. Dabei zeichnet sich Manfred Stöckler bei der Quantenphysik/Quantenfeldtheorie wie auch bzgl. der Zeitdebatte nicht nur durch eine umfassende Durchdringung der relevanten physikalischen Theorien aus, sondern zusätzlich durch einen gesunden und unbeirrbaren Realitätssinn. (Gleiches gilt übrigens für das Themengebiet komplexe Systeme, Modellierung/Simulation und Reduktionismus/Emergenz, dem dritten großen Forschungsgebiet von Manfred Stöckler.) Manfred Stöckler lässt sich nie durch philosophische Ansätze beeindrucken, die z.B. auf Grundlage physikalischer Theorien alles bisher für richtig gehaltene wegwischen wollen, seien es philosophische Standardpositionen oder Alltagserfahrungen. Dabei gelingt Manfred Stöckler das Kunststück, aus seinem Nichtvergessen von Erfahrungswelt und philosophischer Tradition keine dogmatische Lehre oder ein Denkverbot zu machen, sondern eine produktiv-sokratische Einstellung zu bewahren. Ich habe kaum je, vielleicht nie, einen zweiten Menschen wie Manfred Stöckler kennengelernt, der so viel, und auch so viel Verschiedenes, wusste und wirklich verstanden hat und sich trotzdem (oder vielleicht gerade deswegen) der unendlich vielen Lücken und Ungereimtheiten ständig bewusst ist. Oft sind Manfred Stöcklers Hinweise auf solche Unzulänglichkeiten in bescheidener und einmalig uneitler Weise als persönliches Unwissen getarnt. Wer ihn besser kennenlernt, merkt jedoch nach einer Weile, dass Aufmerksamkeit geboten ist, wenn Manfred Stöckler etwas nicht verstanden hat. Fast immer liegt dann auch etwas im Argen, das auf den ersten oder auch zweiten Blick nicht auffällt, jedoch den Kern der Sache berührt. Wie zeigt sich das nun bei der philosophischen Betrachtung der Zeit?

philosophia naturalis 49 / 2012 / 2

Die deutliche Mehrheit derjenigen Philosophen der Zeit, die die Ergebnisse der Naturwissenschaften ernst nehmen, vertritt heute angesichts der speziellen Relativitätstheorie eine vier-dimensionale Konzeption von Raum und Zeit bzw. besser: der Raumzeit. Danach ist die Zeit genauso wie der Raum ein statisches Gebilde. Ausdrücke wie ‚hier‘ und ‚dort‘ weisen lediglich bzgl. eines beliebigen Beobachters auf eine bestimmte Stelle im Raum hin. Sie haben also eine rein indexikalische Bedeutung, so dass die betreffenden Stellen ontologisch in keiner Weise vor anderen Raumstellen ausgezeichnet sind. Gleiches gilt gemäß dem Vierdimensionalismus für die Zeit: Auch der Ausdruck ‚jetzt‘ ist rein indexikalisch zu verstehen. Nichts zeichnet das Jetzt vor anderen Zeitpunkten aus. Mit der Aussage ‚Jetzt fängt es an zu schneien‘ zeigt lediglich ein bestimmter Sprecher auf einen bestimmten Zeitpunkt. Der Zeitpunkt selbst ist jedoch nicht weniger real als jeder andere Zeitpunkt auch. Da Zeit damit natürlich nicht mehr real verfließen kann, spricht man oft auch von einer statischen Zeittheorie. Das Verfließen der Zeit ist eine Illusion von uns Menschen, so sagen die Vierdimensionalisten. An diesem Punkt enden philosophische Überlegungen häufig. Doch kann man sich damit wirklich zufrieden geben? Woher kommt unser überwältigend intensive Eindruck, dass die Zeit eben doch unwiederbringlich verfließt? Das Mindeste, was eine philosophische Theorie mit derart radikalen Konsequenzen wie die statische Zeittheorie tun muss, ist plausibel zu machen, wie die physikalische Zeit, die lediglich eine vierte Dimension neben den drei Raumdimensionen sein soll, mit unserer erlebten Zeit zusammenhängt. Auch unser Zeiterleben ist ja etwas in der physikalischen Welt. Was ist sein Ursprung und in welchem Verhältnis steht es zu dem, was die Physik Zeit nennt? Diese und verwandte Fragen, die auch Manfred Stöckler bis heute bewegen, sollen im Folgenden aus diversen z. T. sehr unterschiedlichen Richtungen beleuchtet werden.

Peter Richter weist in seinen „Gedanken zur Zeit“ mit Nachdruck und vielen konkreten Beispielen auf die Vielfalt der historischen und zeitgenössischen Alternativen zur Zeitauffassung der speziellen und der allgemeinen Relativitätstheorie Einsteins hin, um dann zu zeigen, dass die Behauptung der Gültigkeit der Relativitätstheorien für den gesamten Kosmos auf unausgesprochenen und insbesondere nicht bestätigten Prämissen beruht. Ulrich Gähde befasst sich in seinem Beitrag „Theoriegeleitete Bestimmung von Objektmengen und Beobachtungsinter-

vallen am Beispiel des Halleyschen Kometen“ mit der Astronomie und untersucht dabei eine methodologische Frage, die unmittelbar mit der Zeit zu tun hat, wie wir sie erleben bzw. messen. Gähde zeigt insbesondere, dass die Menge der an der Bahnbeobachtung beteiligten Objekte sowie die gemessenen Zeitabstände gerade von der Theorie abhängen, die verwendet wird, um die Phänomene schließlich theoretisch zu beschreiben. Dennis Lehmkuhl untersucht in seinem Aufsatz „On Time in Spacetime“ genau den oben beschriebenen Konflikt zwischen der gängigen Lesart der Relativitätstheorie einerseits und den Vorstellungen eines Verfließens der Zeit bzw. einer Richtung der Zeit, also eines Zeitpfeils, andererseits. Lehmkuhl zeigt dabei, dass es schon auf der Ebene der Relativitätstheorie Ansatzmöglichkeiten für eine deutliche Entschärfung dieses Konfliktes gibt. Gerhard Vollmer untersucht in seinen „Gretchenfragen an den Naturalisten“ gleich eine ganze Reihe von Fragen, die mit der Zeit in der Physik und ihrer philosophischen Einordnung zu tun haben. So beschäftigt sich Vollmer etwa mit dem Gegensatz zwischen einer realistischen und einer konstruktivistischen Sicht der Zeit sowie mit der Weltentstehung und der behaupteten raumzeitlichen Unendlichkeit der Welt.

Die beiden abschließenden Beiträge greifen das Thema Zeit nicht von der Physik ausgehend an, sondern von zwei Gebieten, die schon in der Antike mit der Zeit in Zusammenhang gebracht worden sind, nämlich der Mathematik und der Musik. Dabei zeigt Bernulf Kanitscheider in seinem Beitrag „Zahl und Zeit“ insbesondere, dass sowohl für Kant als auch später für die Intuitionisten die Zeitanschauung eine wesentliche Rolle bei ihrer jeweiligen Grundlegung der Mathematik gespielt hat. Schließlich argumentiert Georg Mohr in seinem Aufsatz „Musik als erlebte Zeit“, dass die Musik in hervorragender Weise Einsichten darüber liefert, wie wir Zeit strukturieren und erleben. So besteht beispielsweise im irreversiblen Ablauf von Klangereignissen ein Charakteristikum von Musik, dass aufs engste mit dem Eindruck des unumkehrbaren Zeitflusses zu tun hat.

Ausgewählte Publikationen zur Zeit von Manfred Stöckler

- Stöckler, Manfred, 1980: Urknall und Endlichkeit - eine Einführung in Methoden, Ergebnisse und Grenzen der physikalischen Kosmologie. In: Albertz, Jörg (Hg.): *Perspektiven und Grenzen der Naturwissenschaft*, Wiesbaden: Freie Akademie, S. 37–60.
- Stöckler, Manfred, 1990: *Der Riese, das Wasser und die Flucht der Galaxien. Geschichten vom Anfang und Ende der Welt*, Frankfurt: Keip-Verlag (Herausgabe und Einleitung).
- Stöckler, Manfred, 1993: Ereignistransformationen. Relativierungen des Zeitbegriffs in der Physik des 20. Jahrhunderts, in: Baumgartner, Hans Michael (Hg.): *Das Rätsel der Zeit*, Freiburg, München: Alber, S. 149–177.
- Stöckler, Manfred, 1995: Zeit im Wechselspiel von Physik und Philosophie. In: Krüger, Lorenz; Falkenburg, Brigitte (Hg.): *Physik, Philosophie und die Einheit der Wissenschaft*, Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag, S. 213–217.
- Stöckler, Manfred, 1998: Moderne Kosmologie: Erklärungsversuche zwischen Metaphysik und empirischer Wissenschaft. In: Sahn, Peter R.; Thiele, Gerhard P. J. (Hg.): *Der Mensch im Kosmos*, Amsterdam: Verlag Fakultas, S. 145–165.
- Stöckler, Manfred, 2006: Die Gesetze der Physik und die Richtung der Zeit. In: Kreuzer, Johann; Mohr Georg (Hg.): *Die Realität der Zeit*, München: Fink, S. 119–136.

Peter H. Richter

Gedanken zur Zeit

Zusammenfassung

Der Zeitbegriff der Physik hat sich aus Anfängen in der Himmelsbeobachtung und der Konstruktion von Kalendern nicht nur zu immer höherer Präzision entwickelt, sondern er hat mannigfache qualitative Veränderungen erfahren. Dabei hat es immer auch kulturell bedingte Alternativen gegeben. Spätestens mit Einsteins beiden Relativitätstheorien, der speziellen und der allgemeinen, wurde die Natur der Zeit durch die Metrik der vierdimensionalen Raumzeit definiert, die ihrerseits aufs Engste mit der Materieverteilung zusammenhängt. Es sollte aber nicht vergessen werden, dass diese Theorien einen lokalen Charakter haben und jede Projektion auf den Kosmos als Ganzes ungeprüfte Annahmen enthält. Das lässt Raum für unterschiedliche Modelle. Hier wird eine gerichtete Zeit mit Baumstruktur favorisiert, deren Zweige in je einem schwarzen Loch ihr Ende finden.

Abstract

The notion of time emerged from the observation of celestial phenomena and the construction of calendars. Its development towards ever higher precision went along with qualitative changes, and was shaped by cultural predisposition. With Einstein's theories of relativity at the lastest, special and general, the nature of time was defined in terms of the metric of a four-dimensional space-time which in turn depends on the distribution of matter. However, it should not be ignored that these theories are local in character and that any projection onto the universe as a whole contains unchecked assumptions. This leaves room for a variety of models. This article promotes the picture of a directed time in a matter-filled space with tree structure, branches developing in the neighborhood of dense mass distributions and possibly ending in black holes.

Den Titel „Gedanken zur Zeit“ trägt eine Sendung der Kulturredaktion des Norddeutschen Rundfunks, die etwa so alt ist wie Manfred Stöckler. Sie will mit „Essays namhafter Autoren ... Diagnosen vorlegen zur

geistigen Situation der Zeit“ oder auch zum „Zeitgeist“. Dass hier der Zeit ein Geist zugeschrieben wird, ist mehr als nur eine Metapher. Seit altersher besitzt sie im allgemeinen Sprachgebrauch ein eigenes Leben: sie kommt, sie geht, sie läuft mal schneller und mal langsamer; sie kann ruhig oder aufregend sein, leer oder erfüllt, friedlich oder turbulent. Und es gibt nicht nur die eine Zeit: „alles hat seine Zeit“, jeder von uns hat eine andere. „It was the best of times, it was the worst of times ...“ lässt Charles Dickens seinen Roman über die Französische Revolution beginnen. Jeder versteht solche Sätze, obwohl sie, wörtlich genommen, einen Zeitbegriff von schillernder Komplexität voraussetzen. Auf die Nachfrage, wie denn hier die Natur der Zeit verstanden werden soll, wird deshalb, wenn überhaupt, zunächst einmal defensiv geantwortet: die Zeit habe natürlich nicht selbst einen Geist, sondern gemeint sei der Geist (was immer das bedeute) von Menschen oder Gesellschaften, die „in jener Zeit“ leben; natürlich laufe nicht die Zeit, sondern Ereignisse spielten sich mehr oder weniger schnell „in der Zeit“ ab – und so weiter. Wer dann noch einmal fragt, was denn nun mit der Zeit gemeint sei, erntet entweder Kopfschütteln („das weiß doch jeder“) oder wird an Philosophen verwiesen. Diese wiederum haben unterschiedliche Schulen. K. Jaspers (1931) hätte eine andere Antwort gegeben als I. Kant, der zwar in seiner Jugend noch glühender Anhänger I. Newtons war, Kant (1755), später aber dessen mathematisch-physikalisch definierte absolute Zeit, Newton (1687), aus der realen Welt in den inneren Sinn unseres Wahrnehmungsapparats verschob und sie als „reine Anschauung“ verstand, die aller Beobachtung vorausgeht, Kant (1781).

Zwar wurde Newtons Zeit durch Einsteins Relativitätstheorien gehörig modifiziert, doch muss die Kantsche Sicht deswegen nicht aufgegeben werden. Als Physiker bekenne ich mich zu diesem Zeitbegriff. Man mag es als Verlust beklagen, dass er nicht mehr die ursprüngliche Komplexität besitzt und Aussagen wie „diese Zeit ist schnell vergangen“ einen Sinn abspricht, obwohl doch jeder sie versteht. Auf der anderen Seite ist es für unser Verständnis der Natur von unschätzbarem Wert, einfache und wohl definierte Begriffe zu haben, mit denen man sich präzise ausdrücken kann. Der Zeitbegriff gehört ganz elementar dazu. Aber ist er wirklich einfach? Ich möchte in diesem Beitrag zeigen, wie man zu verschiedenen Aspekten unterschiedlicher Auffassung sein kann und dass grundlegende Fragen bis heute nicht entschieden, vielleicht auch gar nicht entscheidbar sind. Als Kriterium soll dabei nicht

gelten, ob eine Aussage im mathematischen Sinne wahr oder falsch sei, sondern für Physiker kommt es darauf an, ob die Vorstellung, die er von einem Begriff hat, eine Entsprechung in seinen Beobachtungen besitzt, mit anderen Worten: ob sein in der reinen Anschauung geformtes Konstrukt auf die reale Welt „passt“.

Mathematische Vorbemerkungen

Vor Einstein verstand man die Zeit als eindimensionale Mannigfaltigkeit – um einen mathematischen Begriff zu verwenden, der auf Riemann (1854) zurückgeht –, die unabhängig vom Raum existiert“ und jedem Ereignis der Welt als Label zugeordnet werden kann. Die Mathematik kennt genau zwei solche Mannigfaltigkeiten, wenn man darunter zusammenhängende Mengen versteht, die in jedem ihrer Punkte eine Gerade als Tangente besitzen: die unendliche Linie \mathbb{R}^1 und den Kreis S^1 . Die Linie muss nicht „gerade“ und der Kreis nicht „gleichmäßig gekrümmt“ sein. Alles, was durch stetige Deformation ohne Selbstüberschneidung von der Standardgeraden \mathbb{R}^1 bzw. dem Standardkreis S^1 aus erreicht werden kann, wird als äquivalent angesehen. Denn zwischen \mathbb{R}^1 und \mathbb{R}^1 wie zwischen S^1 und S^1 besteht die Beziehung einer stetigen Punkttransformation, also lediglich einer unterschiedlichen Koordinatenwahl, und so etwas verändert im Sinne des Konventionalismus, Poincaré (1904), nicht das Wesen eines Gebildes. Der mathematisch wesentliche Unterschied von \mathbb{R}^1 und S^1 liegt in ihrer topologischen Struktur: in \mathbb{R}^1 kann man jeden geschlossenen Weg stetig auf einen Punkt zusammenziehen, bei S^1 geht das i. A. nicht, denn man kann den Kreis beliebig oft umfahren und erst danach den Weg schließen; entsprechend kann die „Windungszahl“ jede ganze Zahl n sein, positiv bzw. negativ für die beiden Umlauf-Richtungen. Nun lässt sich aber S^1 auf \mathbb{R}^1 abrollen, wobei jede volle Umdrehung auf \mathbb{R}^1 eine Kopie erzeugt. Auf diese Weise besteht zwischen \mathbb{R}^1 und S^1 die Beziehung, die in der Mathematik als „universelle Überlagerung“ von S^1 durch \mathbb{R}^1 bezeichnet wird: die Abbildung $\mathbb{R}^1 \rightarrow S^1$ ist eindeutig, die umgekehrte $S^1 \rightarrow \mathbb{R}^1$ unendlich vieldeutig.

Bereits hier lassen sich unterschiedliche Auffassungen formulieren. Man kann sich die Zeit als \mathbb{R}^1 vorstellen (so im Kulturkreis des Westens) oder als S^1 (wie im Osten). Man kann dem Konventionalismus anhängen oder – wie die Physiker in der Tradition Newtons – das Ziel anstreben,

eine „gleichmäßig fließende“ Zeit vom Typ \mathbb{R}^1 zu identifizieren. Bevor wir auf diese Unterschiede genauer eingehen, sollen noch Varianten des oben skizzierten Begriffs der Mannigfaltigkeit erwähnt werden. Ihre Eigenschaft der Stetigkeit lässt sich verschärfen zur Differenzierbarkeit – im Rahmen der Newtonschen Physik ist das eine natürliche Forderung, weil ja mit Differentialgleichungen gearbeitet wird. Umgekehrt aber mag man spekulieren, die Zeit (wie auch der Raum) könne statt der glatten, kontinuierlichen eine gekörnte, diskrete Struktur haben. Tatsächlich gibt es darüber einen uralten und immer wiederkehrenden Streit. Euler diskutiert das in seinen Briefen an eine deutsche Prinzessin, Euler (1769), und spricht sich klar für Newtons Standpunkt aus. Beim Versuch, die Gleichmäßigkeit des Zeitflusses in der Natur zu überprüfen, sind Physiker aber bislang nur bis in den Bereich des Femtosekunden-Tickens von Atomuhren vorgestoßen. Von dort sind es immerhin noch fast 30 Größenordnungen bis zur Planck-Skala von 10^{-43} Sekunden, unterhalb derer man sich die Zeit mathematisch zwar immer noch als Kontinuum vorstellen mag, als Physiker aber nicht mehr von einer realen Teilbarkeit im Sinne noch schneller tickender Uhren ausgeht. Das Konstrukt \mathbb{R}^1 der reinen Anschauung gerät da an seine Grenze der Brauchbarkeit für die Physik. Darüber sollte man sich weniger wundern als über die Beobachtung, dass es für eine Spanne von 60 Größenordnungen (zwischen Planck-Skala und Alter des Universums) unverändert Verwendung findet. In anderen Bereichen der Physik ist man froh, wenn ein Konzept – etwa die Differenzierbarkeit von Teilchenbahnen oder das Skalenverhalten von Materialeigenschaften – sich über 6 Größenordnungen hinweg anwenden lässt.

Eindimensionale Mannigfaltigkeiten sind orientierbar, d.h. man kann sie mit einer Richtung ausstatten. Ob die Natur von dieser Möglichkeit eines „Zeitpfeils“ Gebrauch macht, entscheidet nicht die Mathematik, sondern die Beobachtung der realen Welt.

Die Mathematik kennt natürlich auch Mannigfaltigkeiten mit Rand. Die naheliegende Interpretation eines „Anfangs der Welt“, sei es in einem göttlichen Schöpfungsakt oder einem Urknall, wäre, die Zeitachse mit einem Randpunkt beginnen zu lassen. Es fragt sich aber, ob man beim Rückverfolgen der Zeit zu jenem Anfang hin tatsächlich an einen wohl definierten Punkt gelangen würde. Angesichts der hohen Werte von Dichte und Geschwindigkeiten der Materie kurz nach dem „Urknall“ dürfte die Vorstellung einer von Raumdimensionen unabhängigen ein-

dimensionalen Zeit nicht mehr adäquat sein, wie das bereits in Einsteins Relativitätstheorien der Fall ist. Dort ist die Zeit ein nicht isolierbarer Teil einer vierdimensionalen Mannigfaltigkeit; Stringtheorien benötigen gar zehn oder elf Dimensionen. Ob es sinnvoll ist, sich den Anfangszustand des Universums als einen „Rand“ solcher Mannigfaltigkeiten vorzustellen, muss derzeit offen bleiben, zumal Mannigfaltigkeiten mit Rand unter Modellierern des Kosmos generell nicht beliebt sind. Bei unserem gegenwärtigen Verständnis des Weltgeschehens im Ganzen ist bei Aussagen über Anfang und Ende Zurückhaltung geboten.

Schließlich sollte man noch die Frage stellen, ob alles Weltgeschehen sich in einer einzigen Zeit abspielen kann oder ob nicht die allgemeine Relativitätstheorie mit ihrer engen Verknüpfung von Raumzeit und Materieverteilung Singularitäten ins Spiel bringt, an denen sich „die Zeit verzweigen“ oder jedenfalls unstetig verhalten müsste.

Fassen wir zusammen: die Mathematik stellt der „reinen Anschauung“ zur Charakterisierung der physikalischen Zeit Alternativen zur Verfügung:

1. Standardgerade \mathbb{R}^1 oder Standardkreis \mathbb{S}^1
2. allgemeinere Mannigfaltigkeiten R^1 oder S^1
3. differenzierbare oder diskrete Versionen
4. Mannigfaltigkeiten mit oder ohne Orientierung
5. Mannigfaltigkeiten mit oder ohne Rand
6. höher dimensionale Räume mit der Zeit als einer ihrer Dimensionen
7. Möglichkeit oder Unmöglichkeit einer globalen Zeit

Welche Entscheidungen hier zu treffen sind, muss die Naturbeobachtung zeigen. Da diese aber immer nur Ausschnitte des Weltgeschehens ins Auge fassen kann, mag sich ergeben, dass sie je nach dem beobachteten Bereich unterschiedlich getroffen werden können oder müssen.

Unabhängig von ihrem so bestimmten mathematischen Charakter wird Zeit in der Physik als messbar (im Sinne einer Riemannschen oder ggfs. anderen Metrik) vorausgesetzt, d.h. es muss Uhren geben, deren Periode man als Einheit der Zeit verwenden kann. Für Physiker ist Zeit geradezu der Inbegriff dessen, was man mit Uhren misst oder besser: messen können möchte. Nicht alle Uhren eignen sich dafür in gleicher Weise. Die Definition der Zeit über Uhren impliziert einen vielleicht nie endenden Prozess der Idealisierung im Abgleich von realer Welt und

reiner Anschauung. Wir wollen ihn zuerst von langen zu immer kürzeren Perioden hin verfolgen.

Kosmische Zeitalter und Planeten

Grundlage der Zeitmessung waren bis in das Mittelalter hinein kosmische Uhren. Da ist zuerst der Fixsternhimmel, der sich mit gleichförmiger Geschwindigkeit um die Erde dreht. Die Periode dieser Drehung, also die Zeit zwischen zwei Meridiandurchgängen desselben Sterns, ist der *Sterntag* von 23 Stunden 56 Minuten und 4,1 Sekunden. Ihre Achse steht senkrecht auf der Ebene des Äquators und ist zum Polarstern hin gerichtet, doch langsam präzediert diese Richtung auf einem Kreis um den Pol der Ekliptik, also die Senkrechte auf der Ebene der jährlichen Sonnenbahn. Die Periode dieser Präzession ist etwa 25.850 Jahre und wird als *Platonisches Jahr* bezeichnet, auch wenn Platon sie wohl nicht gekannt hat, denn ihre Entdeckung wird Hipparchos zugeschrieben. Als Folge dieser Präzession wandern die Äquinoktien, das sind die beiden Schnittpunkte von Äquator und Ekliptik, in jedem Jahr um etwa 50,3 Bogensekunden entlang der Ekliptik der Sonnenbahn entgegen. Das tropische Jahr – der Lauf der Sonne von Frühlingspunkt zu Frühlingspunkt – ist deshalb etwa 20 Minuten kürzer als das siderische, also die Zeit zwischen zwei Begegnungen mit demselben Fixstern.

Die Bahn der Sonne ist flankiert von den Sternbildern des Tierkreises. Diese wurden im Altertum definiert und sind an ihrer Gestalt leicht zu erkennen, aber sie sind unterschiedlich groß und bilden keine gleichmäßige Einteilung der Ekliptik. Deswegen hat man in der Astrologie schon früh die *Tierkreiszeichen* als Abschnitte von je 30° eingeführt. Man benennt sie nach den Sternbildern, die vor etwa 2000 Jahren in diesen Abschnitten lagen – vom Frühlingspunkt angefangen in Richtung des Sonnenlaufs: Widder, Stier, Zwillinge und so weiter. Wegen der Präzession tritt der Frühlingspunkt im Mittel alle etwa 2150 Jahre in ein neues Sternbild ein. Zu Beginn unserer Zeitrechnung wechselte er aus dem Widder in die Fische, in ca. 600 Jahren wird er aus diesem recht lang gezogenen Sternbild in das des Wassermanns hinüber gleiten. Aber wo auch immer er gerade liegt: für die Astrologie beginnt dort der Tierkreisabschnitt des Widders, d. h. sie nimmt den Einfluss der Sonne auf menschliches Schicksal über die Jahreszeiten ernster als den der Sterne.

Als Manfred Stöckler am 23. Juni geboren wurde, war die Sonne kurz zuvor in das Sternbild der Zwillinge getreten und etwa gleichzeitig in das Tierkreiszeichen Krebs.

G. de Santillana und H. v. Dechend glauben, dass die Kenntnis der Präzession sehr viel älter ist als allgemein angenommen. In „Die Mühle des Hamlet“, Santillana und von Dechend (1969), interpretieren sie mit dieser Annahme Mythen der Welt. Die jeweils ca. 2150 Jahre, während derer sich der Frühlingspunkt in einem Sternbild aufhält, verstehen sie als *Zeitalter*, und als „Goldenes Zeitalter“ gilt die Phase vor über 6000 Jahren, als der Frühlingspunkt noch im Sternbild der Zwillinge lag und somit Äquator, Ekliptik und Milchstraße sich dort trafen.

Die Sonne als hellster der sieben „Wandelsterne“ definiert also die Ekliptik. Auch die anderen sechs, der Mond und die fünf klassischen Planeten, bleiben stets in der Nähe dieser Linie am Himmel. Sie alle wandern im Mittel wie die Sonne von West nach Ost (wenn sie im Süden stehen). Ihre Bahnen gelten einerseits als Ausdruck der kosmischen Ordnung, andererseits bieten sie bei genauerem Hinschauen ein verwirrendes Bild, denn ihre Positionen am Sternhimmel und ihre Konstellationen relativ zueinander ändern sich auf schwer zu prognostizierende Weise. Man sah dies als Widerspiegelung irdischen Geschehens an, deren Verfolgung und Interpretation die hohe Kunst von Priester-Astrologen war – ein schwieriges Geschäft, zumal Planeten nur beobachtet werden können, wenn sie am hinreichend dunklen und klaren Nachthimmel stehen. Heute können wir die Planetenbewegung im Zeitraffer über Jahre am Bildschirm verfolgen und dabei erahnen, welch gewaltige Leistung Kepler vollbrachte, als er darin einfache Ellipsenbahnen erkannte. Ein statischer Text wie dieser kann davon nur einen schwachen Eindruck geben, indem er Bilder der Bahnen einzelner Planeten zeigt.

Abbildung 1 stellt die Bahnen in ekliptikaler Projektion dar. Die Sonne bewegt sich vom rechten Rand (1. Januar) zum linken (31. Dezember) entlang der Abszisse, die den Winkel der ekliptikalen Länge anzeigt. Information über den Zeitverlauf steckt in den Farben, die sich nach jeweils 29,53 Tagen, einem mittleren Monat, ändern. Der erste Monat ist rot, die letzten 11 Tage des Jahres tragen die Farbe schwarz. Bei genauem Hinsehen erkennt man, dass im Winter pro Zeiteinheit ein größerer Winkelbereich überstrichen wird als im Sommer. Die Ordinate zeigt die ekliptikale Breite von $-9,2^\circ$ bis $+9,2^\circ$ an. In dieser Darstellung steckt bereits ein

„Geradebiegen“ gegenüber dem, was man in einem auf den Äquator oder gar einen Horizont bezogenen Koordinatensystem beobachten würde, aber diese Art der Umrechnung war schon im Altertum geläufig. Die vier Zeilen zeigen, von oben nach unten, die Bahnen von Merkur, Venus, Mars und Jupiter+Saturn, jeweils über einen kürzeren Zeitraum links und über einen längeren rechts. Dass Venus die größten Schwankungen der Breite zeigt, liegt an ihrer Nähe zur Erde. Bei der Interpretation der Bilder sind Sonne und Planeten immer gleichzeitig zu betrachten.

Das erste Bild oben links zeigt den Lauf des Merkur für 2011. Anfang Januar steht er westlich und oberhalb der Sonne, kann daher am Morgen gesehen werden. Bis zur zweiten Märzhälfte hat er die Sonne überholt und steht am Abendhimmel, von dem er sich aber rasch wieder rückläufig zurückzieht. Das rechte Bild der ersten Zeile zeigt Merkur für die drei Jahre 2011 bis 2013. Für denselben Zeitraum zeigt die zweite Zeile links die Bahn der Venus, die ähnliche, aber weitere Schleifen um die Sonne zieht. Rechts erkennt man an der Bahn für 2014–22, dass sie sich nach acht Jahren beinahe schließt: 8 Erdjahre sind nur etwa 2,3 Tage länger als 5 synodische Perioden der Venus. Im Bezugssystem der Sterne bedeutet das, dass 13 siderische Venusjahre mit 8 Erdjahren übereinstimmen – eine Resonanz, die im Kalender der Maya eine wichtige Rolle spielte. Die dritte Zeile zeigt Mars, links für zwei, rechts für zwölf Jahre. Seine rückläufigen Phasen ereignen sich, wenn er der Sonne gegenüber steht, was alle 2,135 Jahre vorkommt. Bei Jupiter und Saturn (vierte Zeile) gibt es diese Schleifen beinahe in jedem Jahr: bei Jupiter 11 Mal in 12 Jahren, bei Saturn 28 Mal in 29 Jahren, denn Jupiters Periode am Sternhimmel ist 11,86 Jahre, die des Saturn 29,46 Jahre. Das ist sehr nahe der Resonanz 2:5 – fünf Jupiterjahre sind nur knapp 5 Erdmonate länger als zwei Saturnjahre. Rechnet man etwas großzügig die Perioden als 12 bzw. 30 Jahre, dann stehen die zwei Großplaneten zum 60. Geburtstag erstmals beide wieder dort, wo sie zum Zeitpunkt der Geburt standen (die genaue Rechnung gibt 59,60 Jahre). Da 60 Jahre in früheren Zeiten als ein gesegnetes Alter galten, wurde dieser kosmischen Periode besondere Würde zugemessen.

Begegnungen von Jupiter und Saturn, sogenannte „große Konjunktionen“, finden alle 20 Jahre statt, wenn nämlich Saturn $2/3$ und Jupiter $5/3$ ihrer Bahn vollendet haben. Diese Begegnungen sind dann allerdings um 120° entlang der Ekliptik verschoben. Drei aufeinander folgende große Konjunktionen finden in den drei „Häusern“ (= Tierkreiszeichen)

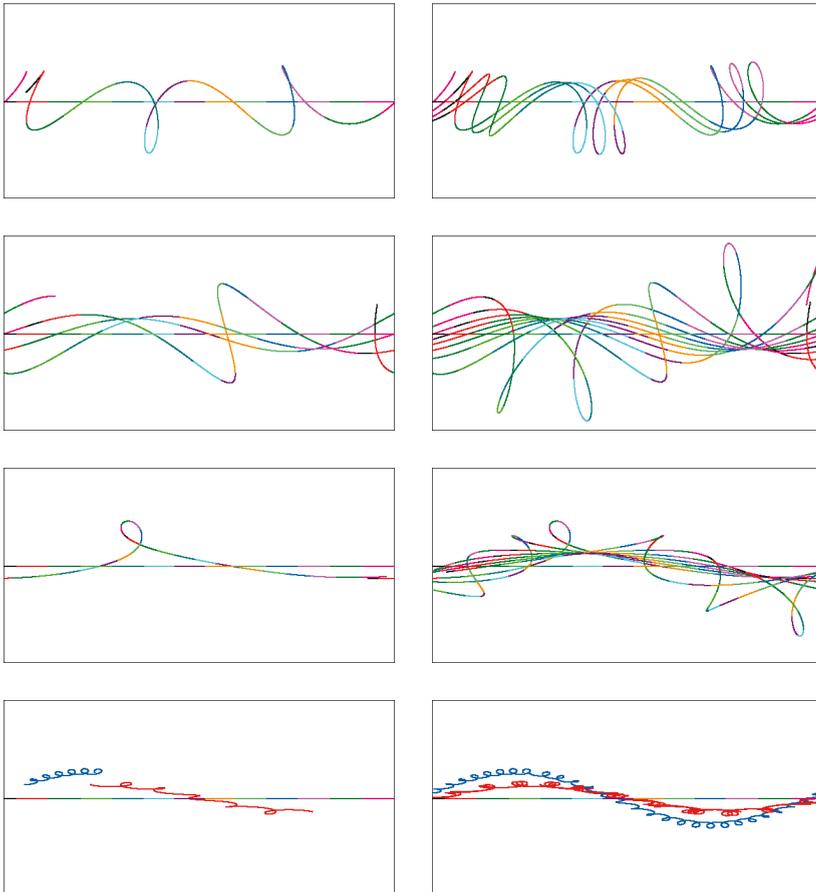


Abb. 1: Planetenbahnen in ekliptikalen Koordinaten. Die Abszisse ist die Ekliptik, auf der die Sonne von rechts (West) nach links (Ost) läuft. Die Farbwechsel finden hier alle 29,53 Tage statt und markieren so die Zeit; die letzten 11 Tage des Jahres sind schwarz. Die vertikale Koordinate ist die ekliptikale Breite von $-9,2^\circ$ bis $+9,2^\circ$. Die Farben der Planetenbahnen (außer bei Jupiter und Saturn) entsprechen und ändern sich zugleich mit denen der Sonne. 1. Zeile: Merkur links 2011, rechts 2011–13. 2. Zeile: Venus links 2011–13, rechts 2014–22. 3. Zeile: Mars links 2011–12, rechts 2011–23. 4. Zeile: Jupiter (rot) und Saturn (blau) links 2011–16, rechts 2011–39.

eines *Trigons* statt, z.B. 1981 in der Waage, 2000 in den Zwillingen, 2020 im Wassermann. Diese drei Häuser bilden in der Astrologie das *Luft-Trigon*, die anderen drei Trigone werden den Elementen Wasser, Feuer und Erde zugeordnet. Nun ist der Winkelabstand zweier großer Konjunktionen nicht genau 120° , sondern etwa 3° weniger (wozu die Präzession 10 % beiträgt). Deswegen wandern diese Konjunktionen alle etwa 200 Jahre von einem Trigon in das nächste. Manfred Stöckler hat das in seinem Leben einmal erlebt, da die große Konjunktion 1961 im Steinbock die letzte im *Erd-Trigon* war. Als *Trigonen-Zeitalter* gelten die 800 Jahre, in denen die großen Konjunktionen einmal durch alle vier Trigone laufen. Für Tycho Brahe und Kepler war das noch eine relevante Gliederung der Weltgeschichte: Mit der Konjunktion von 1583 im Wasser-Trigon war das siebte Zeitalter seit der Schöpfung zu Ende gegangen, die von 1603 leitete mit dem Eintritt in ein Feuer-Trigon das 8. Zeitalter ein

Sonne, Mond und Kalender

Drei kosmische Uhren sind es vor allem, die für unser Leben eine Rolle spielen: die tägliche Rotation der Erde (beobachtet als Rotation der Sonne oder des Sternhimmels), die synodische Periode des Mondes (beobachtet als Wiederkehr von Neu- oder Vollmond) und der Jahresrhythmus der Sonne. Die tägliche Rotation aller Himmelskörper verläuft von Ost nach West (weil die Erde sich von West nach Ost dreht), während Mond und Sonne sich auf dem Hintergrund der Sterne von West nach Ost bewegen. Die drei Uhren sind untereinander inkommensurabel; ein Monat hat $29,53 \pm 0,3$ Tage, ein Jahr $365,242 \pm 0,005$. Das zeigt erstens, dass die drei Perioden nicht in rationalen Verhältnissen stehen, und zweitens, dass diese Verhältnisse nicht konstant sind. Vor allem der Monat schwankt in seiner Länge: im Sommer ist er um etwa zwei Prozent kürzer als im Winter. Dagegen schwankt die Länge des Jahres nur um etwa 10^{-5} . Jedem dieser drei Vorgänge entspricht annähernd eine Kreisbewegung am Himmel. Es liegt daher nahe, den Lauf der Zeit selbst als etwas Zyklisches anzusehen, genauer: als eine Hierarchie von Zyklen. Man zählt die jeweils kürzeren nur so lange durch, bis ein längerer ausgefüllt ist: die Tage von 1 bis ungefähr 30, die Monate von 1 bis ungefähr 12. Vielen Kulturen ist der Gedanke vertraut, dass die

Jahre ebenfalls Zyklen bilden, die man Epochen nennen könnte, etwa Zyklen von 60 oder 800 Jahren, wie sie aus dem Zusammenspiel von Jupiter und Saturn resultieren, s. oben. Insgesamt ergibt sich ein Bild, bei dem der kleine Kreis S^1 des Tages in dem größeren S^1 des Monats abrollt und dieser in dem noch größeren S^1 des Jahres. Ob dieses nun zu einem weiteren Zyklus gehört (vielleicht gar zu einer Hierarchie von Zyklen wie im alten Indien) oder auf der unendlichen Zahlengeraden abgezählt wird, hängt vom Kulturkreis ab.

Bei uns wird diese Zeit nach dem Schema *dd.mm.yy.* angegeben, wobei die Zahl der Tage zwischen 28 und 31 variiert, $dd \in \{1, \dots, 31\}$, die der Monate konstant ist, $mm \in \{1, \dots, 12\}$, und die der Jahre fortlaufend wächst, $yy \in \mathbb{Z}$. Im Kalender der Maya dagegen, um ein anderes Beispiel zu nennen, Meyer (n. d.), benutzt man fünf Zyklen, die je für sich immer gleich lang sind, und notiert *baktun.katun.tun.uinal.kin.*, wobei die Länge der Zyklen hier von rechts nach links zunimmt: *kin* $\in \{0, \dots, 19\}$ nummeriert die Tage, ein *uinal*-Zyklus hat 20 Tage. Davon wiederum gibt es 18, *uinal* $\in \{0, \dots, 17\}$, so dass ein *tun* $18 \cdot 20 = 360$ Tage hat, während ein normales Sonnenjahr 0.0.1.0.5. lang ist. Die *tun* $\in \{0, \dots, 19\}$ und *katun* $\in \{0, \dots, 19\}$ bilden wieder 20-er Zyklen, und $20 \cdot 20 = 400$ *tun* machen ein *baktun* von 144.000 Tagen aus. Von diesen soll es seit Beginn der Welt aber nur 13 geben, der 12.19.19.17.19. wäre demnach der letzte Tag – nach unserem Kalender ist das der 20. Dezember 2012.

Der Mayakalender benutzt als einzige Einheit der Zeit den Tag; der Mond kommt in ihm nicht vor, das Sonnenjahr und die Phasen der Venus werden mit Hilfe astronomischen Wissens auf der Zeitachse verortet. Die meisten anderen Kalender verwenden als Taktgeber neben der Erde noch die Sonne oder den Mond oder beide. Im alten Ägypten war es eine *fiktive* Sonne, deren Jahr als 365 Tage definiert wurde – in Rom verbessert zu 365,25 (julianisches Jahr). Der islamische Kalender hält sich an den realen Mond und definiert den Monat als Spanne von einem (sichtbaren) Neumond zum nächsten; je 12 dieser Monate werden zu einem „Jahr“ zusammengefasst, das gegenüber dem Sonnenjahr um ca. 11 Tage verkürzt ist. Interessanter sind Lunisolarkalender, weil sie es mit drei Uhren zu tun haben. Im Osten und im Westen hat man sie unterschiedlich konstruiert. Der chinesische Kalender ist auf die *beobachteten* Bewegungen am Himmel gegründet und respektiert die Unabhängigkeit der drei Uhren, während die jüdischen und christlichen Kalender den Tag als Einheit wählen und die Längen von Monat und Jahr als rationale

Vielfache des Tages definieren. Entsprechend zählte man in China die Tage, Monate und Jahre je für sich in Zyklen von 60, während im Westen die Zählung der Tage in jedem neuen Monat und die der Monate in jedem neuen Jahr von vorne beginnt. Heute wird der 60-er Zyklus in China allerdings nur noch für Jahre verwendet; Tage werden von 1 bis 29 oder 30 gezählt, je nach der Länge des aktuellen synodischen Monats, und Monate von 1 bis 12, wobei in Jahren mit 13 Monaten eine Monatsnummer doppelt vergeben wird, Aslaksen (n. d.).

Der chinesische 60-er Zyklus setzt sich zusammen aus zwei Teilzyklen, von denen einer den Himmel, der andere die Erde repräsentiert. Der „himmlische Stamm“ *Tian Gan* ist ein Rad mit 10 Zähnen, während das Rad *Di Zhi* der „irdischen Äste“ 12 Zähne hat. Sie rollen aneinander ab, wie es Abbildung 2 für 1951, M. Stöcklers Geburtsjahr, und 1952 zeigt. In dieses Bild fließen alte Vorstellungen über die Beziehung des Himmels zur Erde ein. Der himmlische Stamm trägt je eine *Yin*- und eine *Yang*-Version der fünf Elemente der chinesischen Astrologie, die den fünf Planeten entsprechen: Jupiter – Holz, Mars – Feuer, Saturn – Erde, Venus – Metall, Merkur – Wasser. In Abbildung 2 sind sie durch die bei uns üblichen Planetensymbole dargestellt. *Yin* und *Yang* sind die beiden komplementären Prinzipien, die alles chinesische Denken durchziehen; sie entsprechen Mond und Sonne (und werden hier durch deren Symbole bezeichnet), Nacht und Tag, weiblich und männlich, mild und streng. Zum Jahr 1951 gehört die *Yin*-Version der Venus, chinesisch *Xin* genannt. Die irdischen Äste entsprechen den Doppelstunden eines Tages, beginnend um 11 Uhr nachts. Populär, aber vergleichsweise jung ist die Assoziation dieser Tageszeiten mit Tieren, die dann besonders aktiv sein sollen, von 11 bis 1 Uhr nachts z. B. die Ratte. Dem Jahr 1951 war die morgendliche Zeit von 5 bis 7 Uhr zugeordnet: es war ein Jahr des Hasen, *Mao Tu*. Die Abbildung zeigt, wie beide Räder von Jahr zu Jahr um einen Zahn weiterlaufen. Da 60 das kleinste gemeinsame Vielfache von 10 und 12 ist, ist dies auch die Periode des Zyklus. 2011 ist also wieder ein Jahr des Hasen.

Das Wesen des chinesischen Kalenders ist aber nicht diese Zählung, sondern die Art, wie die drei Perioden von Erde, Mond und Sonne in Beziehung gesetzt werden. Grundsätzlich gibt es zwei Prinzipien für die Konstruktion eines lunisolaren Kalenders: die „mathematische“ und die „astronomische“ Methode. Als mathematische Kalender bezeichnet man solche, bei denen die *mittleren* Längen der Monate und Jahre aus

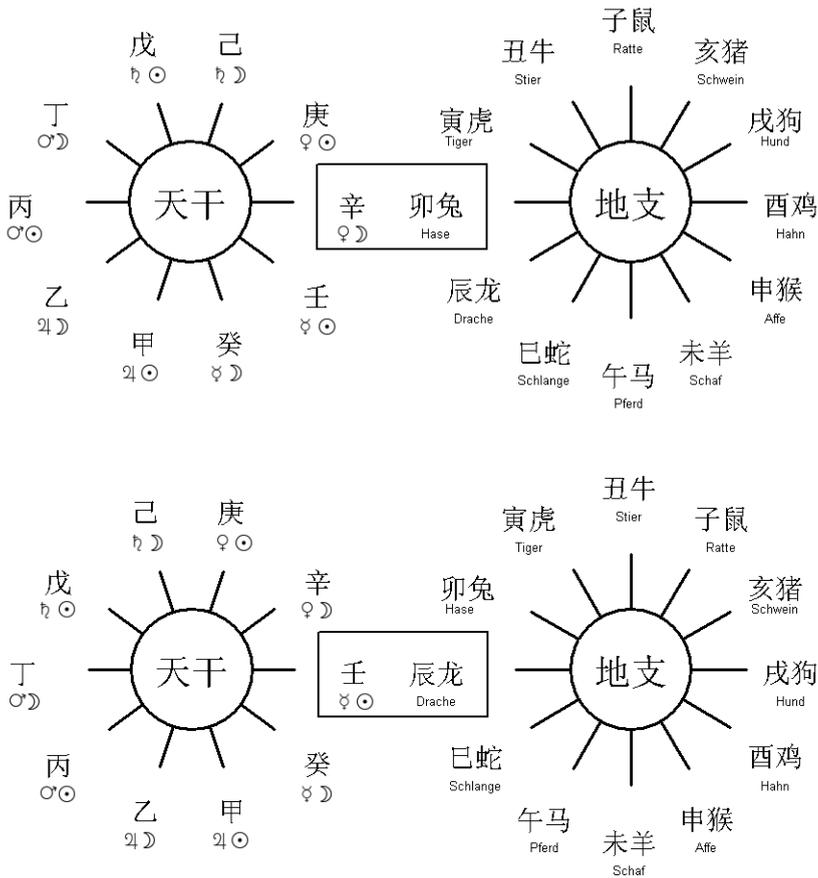


Abb. 2: Himmlischer Stamm (links) und irdische Äste (rechts) der chinesischen Jahreszählung. Das rechte Rad dreht sich im Uhrzeigersinn, das linke entgegengesetzt. Oben 1951/2011, unten 1952/2012.

Langzeitbeobachtungen entnommen und dann zur Grundlage eines Algorithmus für die näherungsweise Bestimmung von Monats- und Jahresanfängen gemacht werden. Dies ist die Tradition der westlichen Kalender, während in China die astronomischen Daten der Neumonde als Monatsanfänge gelten und die Wintersonnenwenden als Anfänge der Sonnenjahre (Bezugsort ist Peking). Ein solcher Kalender ist nicht leicht im Voraus zu berechnen, dafür kann er den Bezug zum kosmischen Geschehen nicht verlieren. Sonnenfinsternisse können nur an

einem Monatsersten, Mondfinsternisse am 15. eines Monats stattfinden. Während das Sonnenjahr *Sui* die Jahreszeiten definiert und damit die wirtschaftliche Seite des Lebens regiert, ist der Mond für die Feste maßgeblich, denn er spendiert nächtliches Licht. Deshalb ist das Neujahrsfest der Beginn eines Mondjahrs *Nian*; es beginnt bei Neumond und hat seinen Höhepunkt am nächsten Vollmond. Die Kopplung von *Sui* und *Nian* geschieht mit der Regel, dass der Beginn des Mondjahres der zweite Neumond nach der Wintersonnenwende ist. In nicht ganz regelmäßiger Folge haben dann die Monate 29 oder 30 Tage, die Jahre 365 oder 366 Tage und 12 oder 13 Monate.

Auch bei den westlichen Lunisolarkalendern, Richter (2007), definiert die Sonne das weltliche und der Mond das rituelle Jahr. In römisch-julianischer Tradition wird dabei der Sonne in einem Maße Priorität eingeräumt, dass unsere Monate mit dem Mondlauf nichts mehr zu tun haben. Die Länge des Jahres wird *definiert* als 365,25 Tage, und in ziemlich willkürlicher, historisch gewachsener Weise werden diese Tage auf immer 12 Monate verteilt. Es wird außerdem definiert, dass der fiktive 21. März dieses Kalenders Frühlingsanfang sei, unbekümmert darum, ob an diesem Tag die Sonne wirklich von Süden her den Äquator überschreitet. Zur Bestimmung von Ostern, des wichtigsten christlichen Festes, wird ein im Hintergrund mitlaufender ebenfalls fiktiver Mond herangezogen: Ostern soll der erste Sonntag nach dem ersten Vollmond im Frühling sein. Diese Festsetzung wurde 325 in Nicäa getroffen und geht auf den biblischen Bericht zurück, der die Auferstehung zeitlich mit dem jüdischen Passahfest korreliert. Passah aber war und ist noch heute der 15. *Nissan*, der erste Vollmond im Frühling, durch den mit dem 1. *Nissan* der Beginn des jüdischen Mondjahres festgelegt ist. Im jüdischen Kalender beginnen Monate wie in China jeweils mit einem Neumond, allerdings mit einem mathematisch bestimmten. Es wird nämlich *definiert*, dass die Länge des Monats $765.433/25.920 = 29,530594\dots$ Tage sei – ein Wert, der im 4. Jahrhundert unserer Zeitrechnung festgelegt wurde und erstaunlich gut mit dem astronomischen Mittelwert 29,530589 übereinstimmt (die Differenz beträgt nur 0,4 Sekunden!). In diesem Sinne gibt der jüdische Kalender dem Mond die Priorität. Das Sonnenjahr ist auf ihn dadurch bezogen, dass der erste Tag des 7. Monats *Tishri* als Neujahr gilt. Wie aber wird im jüdischen Kalender das Datum des Frühlingsanfangs bestimmt, und wie im christlich-julianischen das Datum des Frühlingsvollmonds?

Beide Kalender benutzen die aus Babylon bekannte *Metonische* Beziehung zwischen Monat und Jahr: 19 Jahre werden 235 Monaten gleichgesetzt. Die kleine Diskrepanz von nur zwei Stunden wird als Fehler in Kauf genommen. Im julianischen Kalender wird dann aus der Länge des Sonnenjahres die des Monats zu $365,25 \cdot 19/235 = 29,530851\dots$ Tagen berechnet. Im jüdischen Kalender wird umgekehrt aus der Länge des Monats die des Jahres zu $29,530594 \cdot 235/19 = 365,2468\dots$ Tagen berechnet. In beiden Kalendern driftet der berechnete Frühlingsanfang gegenüber dem astronomischen in Richtung Sommer, beim jüdischen etwa halb so schnell wie beim julianischen. Letzterer war im 16. Jahrhundert um 10 Tage aus dem Ruder gelaufen, was die gregorianische Reform von 1582 dadurch korrigierte, dass sie einen Reset der Sonne um 10 Tage und des Mondes um 3 Tage vornahm, die Länge des Sonnenjahres auf 365,2425 herabsetzte (der astronomische Mittelwert ist 365,2422) und das Metonische Verhältnis von 19/235 auf $19 \cdot 300\,000 / (235 \cdot 299\,996 + 123)$ änderte, womit der Monat 29,530 587... Tage lang wurde. Der jüdische Kalender ist seit dem 4. Jahrhundert unverändert, so dass der gregorianische im Westen nun derjenige ist, der am besten mit der astronomischen Realität korrespondiert. Genau das aber ist für die orthodoxen Christen der Grund, ihn nicht zu übernehmen, denn da der jüdische Kalender in Richtung Sommer driftet, kommt es vor, dass das gregorianische Ostern vor dem jüdischen Passahfest liegt – was nach dem biblischen Verständnis der Orthodoxen nicht sein darf. Der alte julianische Kalender garantiert in diesem Punkt Sicherheit.

Der Vergleich der Kalender offenbart tief liegende Unterschiede der Zeitvorstellung zwischen Ost und West, Needham and Ling (1959). In China sind die drei Perioden von Erde, Mond und Sonne gleichberechtigte fundamentale Einheiten, die in diesem Sinne drei „eigene Zeiten“ definieren; es wird kein Versuch unternommen, sie aufeinander zu beziehen oder auf eine zugrunde liegende fließende Zeit aufzusetzen. Abstrakte oder idealisierende Begriffsbildungen sind der chinesischen Kultur fremd. (So hat die chinesische Mathematik zwar viele Resultate und Algorithmen gekannt, jedoch keine an der Logik orientierte Beweistechniken nach Art des Euklid, Wulff (2006).) Im Westen dagegen wird der Gang der „einen Zeit“ zunächst durch den Tag bestimmt, während das Jahr und der Monat als rationale Vielfache davon definiert werden. Das ermöglicht zwar eine leichte langfristige

Berechnung aller Kalenderdaten, Gauß (1800), aber es wird erkauft mit einer tendenziell wachsenden Diskrepanz zwischen Vorstellung und Wirklichkeit.

Es ist interessant, dass sowohl die gregorianische Kalenderreform von 1582 als auch die chinesische von 1633/1645 das Werk deutscher Jesuiten waren. Der Bamberger Christoph Clavius, Mathematiker am *Collegio Romano*, modifizierte den julianischen Kalender in denkbar milder Weise so, dass Änderungen der Schaltungen von Sonnen- und Mondjahr nur an Jahrhundertgrenzen vorgenommen werden müssen, Clavius (1612). Sein Schuler Matteo Ricci begründete die China-Mission der Jesuiten; dessen Nachfolger Johann Schreck („Terrentius“) und Adam Schall von Bell durften den chinesischen Kalender überarbeiten, Schall von Bell (1645). Es kann aber keine Rede davon sein, dass sie den westlichen Kalender nach China brachten, wie oft behauptet wird. Sie respektierten die Vorgaben der chinesischen Tradition ebenso wie Clavius die der christlichen.

Uhren

Newton stellt sich die Zeit nicht als das Ticken von Uhren vor, sondern als etwas gleichmäßig Fließendes. Lässt sich dieses Fließende näher identifizieren? und wie sollte man dessen Gleichmäßigkeit prüfen? Wenn wir etwa das siderische Jahr als Periode einer Uhr U_1 ins Auge fassen, könnte man den Winkel φ der ekliptikalen Länge der Sonne als das Fließende dieser Uhr ansehen. Seine Gleichmäßigkeit ist aber nur in Bezug auf eine andere, schneller tickende Uhr U_2 feststellbar. Als solche kommt zum Beispiel der Sonnentag in Frage, definiert als Periode von Mittag zu Mittag. Nennen wir $\varphi(n)$ den Winkel φ am Mittag des Tages n , dann läuft U_1 in Bezug auf U_2 gleichmäßig, wenn für alle n der Winkelfortschritt zum nächsten Tag derselbe ist: $\varphi(n+1) - \varphi(n) = \text{const} =: \Delta\varphi$. Es folgt, dass dann die Länge des Jahres in Tagen immer gleich ist, nämlich $360^\circ/\Delta\varphi$. Wir wissen aber erstens, dass die Länge des Jahres nur bis auf eine Genauigkeit von 10^{-5} konstant ist, und zweitens, dass wegen der Exzentrizität der Erdbahn der Winkel φ im Winter schneller wächst als im Sommer. Also fließt U_1 in Bezug auf U_2 nicht gleichmäßig. Die Sache wird nicht besser, wenn wir als U_2 den Sterntag wählen, also die Zeit zwischen zwei Meridiandurchgängen eines Fixsterns: es wäre pro

Jahr ein Tag mehr zu zählen, aber an der Ungleichmäßigkeit des Winkelfortschritts würde sich nur wenig ändern.

Der Sonnenlauf mit seinem Winkel φ ist also kein befriedigender Repräsentant der absoluten Zeit Newtons. Natürlich ist ihm das bewusst, denn seine Theorie der Planetenbewegung kann ja den Zeitverlauf $\phi(t)$ berechnen! Gerade daraus schließt er – per Umkehrung der Relation – auf die Existenz der absoluten Zeit. (In der Theorie wird übrigens zuerst t als Funktion des Winkels berechnet.) Dem Konventionalisten mag das wie ein Streit um des Kaisers Bart vorkommen, denn wenn es eine umkehrbar eindeutige Beziehung zwischen Winkel und Zeit gibt, kann man ein beliebiges der beiden als Zeit definieren und das andere als theoretisch abgeleitete Größe. Dem Physiker sträuben sich dabei allerdings die Haare: Winkel werden nicht mit Uhren gemessen und Zeiten nicht mit dem Winkelmesser. Wenn Newton implizit annimmt, dass die Zeit auch zwischen den Ticks von U_2 gleichmäßig verläuft, dann sollte es Uhren U_3 geben, die das für U_2 überprüfen.

Zu Zeiten Newtons hatte man Uhren mit Perioden in der Größenordnung von Sekunden, etwa Federn, Pendel oder Unruhen. Damit konnte man die Gleichmäßigkeit der täglichen Rotation der Erde testen und feststellen, dass es erstens zwischen den Dauern von Sterntag und Sonnentag eine recht erhebliche Diskrepanz von bis zu ± 15 Minuten gibt und dass zweitens die Sternzeit deutlich gleichmäßiger fortschreitet als die Sonnenzeit. Als Sternzeit gilt dabei der längs des Äquators gemessene Winkel des Frühlingspunkts; er wächst mit der ziemlich konstanten Rotationsgeschwindigkeit der Erde an. Die Sonnenzeit ist die äquatoriale Länge der Sonne, auch *Rektaszension* genannt. Man liest sie an dem Schatten ab, den der Stab einer Sonnenuhr wirft. Ihr ungleichmäßiger Verlauf hat eine jährlichen Komponente aufgrund der Exzentrizität der Erdbahn und eine halbjährliche aufgrund der Neigung des Äquators gegen die Ekliptik. Wieder erlaubte die Theorie, diese als *Zeitgleichung* bezeichnete Diskrepanz zu berechnen und somit die Ungleichmäßigkeit dem Sonnentag zuzuschreiben. Da aber Sonnenuhren leichter zu beobachten sind als der Frühlingspunkt, begleitete die lokale Sonnenzeit das bürgerliche Leben bis in die Mitte des 19. Jahrhunderts. Nur Astronomen hielten sich an die Sternzeit, die wegen ihrer Abhängigkeit von der geografischen Länge zwar ebenfalls lokal, aber leicht in eine universelle Zeit umrechenbar ist. Erst mit Einführung von Telegrafie und Eisenbahnen wurde die Sternzeit allgemein benutzt, anfangs noch

mit Bezugsorten, die von Land zu Land verschieden waren. Ein globales System von Zeitzonen wurde 1884 auf der Internationalen Meridiankonferenz in Washington D. C. eingeführt; das deutsche Reich übernahm die Mitteleuropäische Zeit per Gesetz von 1893.

Als nächstes ergab sich die Frage, ob der Gang verschiedener Uhren U_3 , also etwa Federn und Pendel, in gleicher Weise Newtons absolute Zeit repräsentiert. Auch dazu benötigte man die Theorie, derzufolge die Periode bei Federn von deren Elastizität (und damit z.B. von der Temperatur) abhängt, bei Pendeln von ihrer Länge und der Schwerebeschleunigung g (und damit vom Ort) sowie von der Amplitude. Die Übereinstimmung von Theorie und Beobachtungen bestätigte das Postulat einer gleichmäßig fließenden Zeit auch unterhalb der Sekundenskala.

Seither wurden der Physik periodische Prozesse mit immer kürzeren Perioden zugänglich. Mit den schwingenden Kristallen von Quarzuhren gelangte man in den Bereich unterhalb von Millisekunden, mit Atomuhren unterschiedlicher Bauart erreicht man inzwischen Femtosekunden. Hat sich im Laufe dieser Entwicklung das Newtonsche Konzept geändert?

Gleich geblieben ist die Spannung zwischen der theoretischen Annahme einer kontinuierlichen Zeit und dem Bemühen der Praktiker, dieser mit immer kürzeren Perioden näher zu kommen. Es sieht nicht so aus, als ließe sich eine stetig fließende Zeit in Strenge jemals experimentell nachweisen. Dagegen ist denkbar, dass unterhalb der Planck-Skala auch in der Theorie kein Prozess mehr existiert, der eine noch kürzere Periode hätte. Dann wäre wohl zuzugeben, dass die Zeit diskret gedacht werden sollte. Doch liegt dieser Bereich so weit unterhalb dessen, was uns derzeit erfahrbar ist, dass man den Unterschied zwischen Rasterung und kontinuierlichem Verlauf getrost ignorieren kann.

Geändert werden musste allerdings die Vorstellung, man könne die Zeit als eindimensionale Mannigfaltigkeit unabhängig vom Raum betrachten. Dies war die unausweichliche Konsequenz von Einsteins erfolgreichem Versuch, die Mechanik mit der Elektrodynamik zu vereinigen, seiner „Relativitätstheorie“.

Die Relativität der Zeit

Wenn Newton von einer absoluten Zeit und einem absoluten Raum spricht, so konzediert er dennoch eine gewisse „Relativität“, insofern er Inertialsysteme mit Raumzeiten (t, \mathbf{r}) und (t', \mathbf{r}') als äquivalent ansieht, wenn sie sich nur durch eine *Galilei-Transformation* unterscheiden,

$$t' = t, \quad \mathbf{r}' = \mathbf{r} - \mathbf{v}t. \tag{1}$$

v ist dabei eine konstante Relativgeschwindigkeit der beiden Bezugssysteme. Äquivalenz bedeutet hier, dass die Bewegungsgleichungen eines Systems sich nicht ändern, wenn die Kräfte nur von den Relativkoordinaten der Teilchen abhängen und deshalb *galileiinvariant* sind, denn $d^2\mathbf{r}'/dt'^2 = d^2\mathbf{r}/dt^2 = d^2\mathbf{r}/dt^2$. Hingegen ändert sich die gleichförmige Geschwindigkeit des Schwerpunkts \mathbf{r}_s sehr wohl: $d\mathbf{r}'_s/dt' = d\mathbf{r}'_s/dt = d\mathbf{r}_s/dt - \mathbf{v}$. An dieses uns allen geläufige Bild sei noch einmal mit dem oberen Teil der Abbildung 3 erinnert.

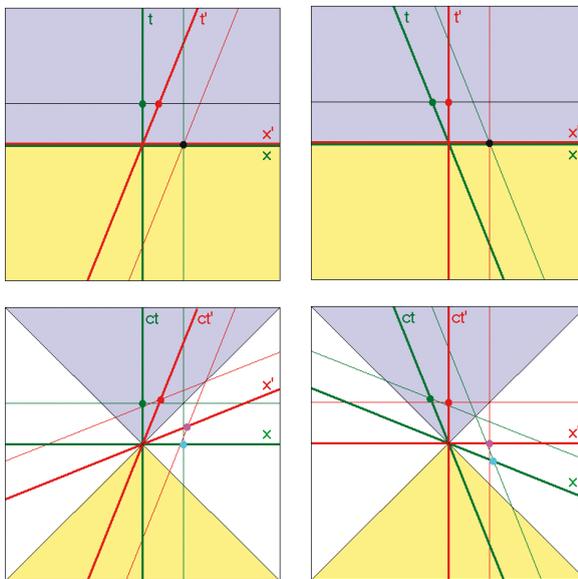


Abb. 3: Galilei- und Lorentz-Transformationen im Vergleich. Grün die Weltlinien von Teilchen, die in (t, x) ruhen, rot die Weltlinien von Teilchen, die in (t', x') ruhen. Oben: $t' = t$ und $x' = x - vt$. Unten: $ct' = \gamma(ct - vx/c)$, $x' = \gamma(x - vt)$.

Links ist (t, x) als kartesisches Koordinatensystem dargestellt, rechts (t', x') . Ein Teilchen, das sich in dieser Welt bewegt, hinterlässt eine Spur $x(t)$ bzw. $x'(t')$, die man als seine „Weltlinie“ bezeichnet. Wenn es in der Raumzeit (t, x) ruht, $dx/dt = 0$, bewegt es sich in diesem Diagramm entlang einer Parallelen zur t -Achse, also auf einer grünen Linie. Ruht es dagegen in der Raumzeit (t', x') , $dx'/dt' = 0$, so bewegt es sich entlang einer Parallelen zur t' -Achse, also auf einer roten Linie. Der zu gleicher Zeit gemessene Abstand zweier Punkte $(t, x_1(t))$, $(t, x_2(t))$ ist unabhängig davon, ob sie in dem einen oder anderen Bezugssystem ruhen. Das illustriert hier der Abstand des schwarzen Punktes vom Ursprung. Punkte auf einer Parallelen zur x - oder x' -Achse haben alle die gleiche Zeit $t = t'$. Die Zeit ist hier universell: man kann alle Punkte r eines Inertialsystems, unabhängig von dessen Bewegung relativ zu anderen Inertialsystemen, zu einer wohldefinierten gleichen Zeit $t = 0$ betrachten; alle Punkte haben dieselbe Zukunft $t > 0$ und dieselbe Vergangenheit $t < 0$.

So selbstverständlich uns dies intuitiv erscheinen mag, so wenig lässt es sich nach Einstein aufrecht erhalten, wenn die Relativgeschwindigkeit $|v|$ gegenüber der Lichtgeschwindigkeit nicht mehr vernachlässigbar klein ist. Dann gilt das bekannte Diktum Minkowskis „Von Stund’ an sollen Raum für sich und Zeit für sich völlig zu Schatten herabsinken und nur noch eine Art Union der beiden soll Selbständigkeit bewahren“, Minkowski (1909). Die erste Zeile der Abbildung 3 muss dann in die zweite abgewandelt werden, wobei die Zeit hier mit der Lichtgeschwindigkeit c multipliziert wurde, die in allen Inertialsystemen dieselbe ist. Wenn sich das Inertialsystem (ct', x') relativ zu (ct, x) mit der Geschwindigkeit v in x -Richtung bewegt, wird der Übergang der Koordinaten jetzt statt durch (1) durch die *Lorentz-Transformation* gegeben,

$$ct' = \gamma(ct - \beta x) \quad x' = \gamma(x - \beta ct) \quad \text{mit } \beta = \frac{v}{c}, \quad \gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \beta^2}}. \quad (2)$$

Unter dieser Transformation bleiben die Maxwell-Gleichungen der Elektrodynamik invariant. Einstein postulierte dasselbe für die Mechanik und modifizierte die Newtonschen Gleichungen entsprechend. Es sind nun nicht mehr Zeitdifferenzen $t_2 - t_1$ und räumliche Abstände $|r_2 - r_1|$, oder besser die differentiellen Unterschiede dt und $|dr|$, je für sich genommen Invarianten bei einem Wechsel des Inertialsystems, sondern nur die Kombination

$$c^2(d\tau)^2 := c^2(dt)^2 - (dr)^2. \quad (3)$$

Die so definierte Zeit $\tau = \tau(t)$ nennt man die Eigenzeit des Teilchens, das sich längs einer Weltlinie $r(t)$ bewegt. Für sie gilt

$$cd\tau = cdt\sqrt{1 - (dr/cdt)^2} = \frac{cdt}{\gamma(t)}. \quad (4)$$

Im Ruhesystem eines Teilchens ist $dr/dt = 0$ und daher die Eigenzeit identisch mit der Koordinatenzeit. Ansonsten gilt für physikalisch reale Teilchen $(dr/dt)^2 < c^2$ und deshalb $d\tau \leq dt$. Die Eigenzeit vergeht also immer langsamer als die Koordinatenzeit eines beliebigen Inertialsystems. Sie verschwindet, wenn $(dr/dt)^2 = c^2$, wenn also das Teilchen, etwa ein Photon, sich mit Lichtgeschwindigkeit bewegt. In der unteren Zeile der Abbildung 3 sind wieder fett grün die Koordinatenachsen des (ct, x) -Systems und fett rot die des (ct', x') -Systems gezeichnet. Hier ändern sich nun auch die Linien konstanter Zeit mit der Transformation. Ein Vergleich der Zeiten für die rot und grün markierten Punkte illustriert rechts wie links, dass die Eigenzeit einer Uhr immer die kleinste ist („Zeitdilatation“ bei Messung aus einem bewegten System). Analog zeigt der Vergleich der magenta und cyan markierten Punkte, dass die zu fester Zeit eines bewegten Systems gemessene Länge eines Maßstabs kürzer ist als die in seinem Ruhesystem gemessene („Lorentz-Kontraktion“).

Lässt man die Relativgeschwindigkeit der beiden Inertialsysteme beliebige physikalisch mögliche Werte zwischen 0 und c annehmen, dann bleiben die Linien $x = \pm ct$ oder $x' = \pm ct'$ doch immer dieselben. Es sind die Weltlinien des Lichts. Zwischen ihnen kann sich im blauen Bereich die physikalische *Zukunft* des Teilchens abspielen, das zur Zeit $t = t' = 0$ im Ursprung $x = x' = 0$ ist; irgendwo im gelben Bereich kann seine *Vergangenheit* gelegen haben. Der weiße Bereich ist physikalisch unzugänglich, aber die Menge aller möglichen Zeitachsen, die durch den Ursprung gehen, schöpft ihn aus, das heißt: jeder seiner Punkte hat in einem geeignet gewählten Inertialsystem die Zeit $t = 0$. Man kann ihn den Bereich der möglichen *Gleichzeitigkeit* des Ursprungs nennen.

Nimmt man noch eine y -Koordinate hinzu, so wird aus den blauen und gelben Bereichen je ein Kegel, der „Vorwärts-“ bzw. „Rückwärts-Lichtkegel“. In der vollen vierdimensionalen *Minkowski-Raumzeit* spricht man verallgemeinert ebenfalls von Lichtkegeln. Mögliche Zeitachsen verlaufen in deren blauem oder gelbem Inneren, drei mögliche kartesische räumliche Achsen im weißen Äußeren. In dieser Weise sind

Raum und Zeit untrennbar miteinander verbunden, dennoch gibt es einen qualitativen Unterschied: ein physikalisches Teilchen kann zwar an einem Ort verharren, an einer Zeit aber nicht. Die Zeit schreitet im Innern des Lichtkegels unweigerlich voran, am langsamsten im Ruhesystem.

Was bedeutet dies nun für den Zeitbegriff? Die Vorstellung der einen universellen Zeit lässt sich nicht halten. Zwei gleich gute Uhren unterscheiden sich nicht vor allem darin, dass sie verschiedene Perioden haben wie etwa eine Feder und ein Pendel, sondern ihre Anzeigen hängen zum einen davon ab, in welchem Inertialsystem die Zeit gemessen wird, zum andern von ihren Weltlinien, also von ihrer Geschichte! Zwei gleich gebaute Uhren gehen nur dann gleich, wenn sie im selben Bezugssystem ruhen. Solange man es nur mit zwei gleichförmig gegeneinander bewegten Inertialsystemen zu tun hat, kann man die Formeln der Lorentz-Transformation benutzen, um die eine Zeitmessung in die andere umzurechnen; dank der Theorie bleiben gleichartige Uhren insofern gleich gute Zeitmesser. Das ist aber nur für infinitesimale Raumzeit-Differenzen der Fall. Denn nicht willkürlich ist die Gleichung (3) differentiell formuliert: für endliche Raumzeit-Abstände gilt sie im Allgemeinen nicht, sondern beim Integrieren kommt es auf den zurückgelegten Weg an. Das wird augenfällig demonstriert beim sogenannten „Zwillingsparadoxon“ (das nach seiner Auflösung natürlich kein Paradoxon mehr ist).

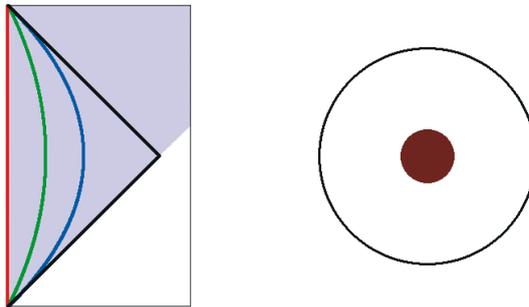


Abb. 4: Links: Zur Wegabhängigkeit der Eigenzeit. Rechts: Bahn eines GPS-Satelliten um die Erde, maßstabsgetreu

Abbildung 4 zeigt im linken Teil vier Bahnen von „Reisenden“, die mit identischen Uhren unterwegs sind. Nach rechts ist eine räumliche x -Koordinate aufgetragen, nach oben die Koordinatenzeit t ; der Vorwärts-Lichtkegel ist blau gefärbt. Die rote Weltlinie ruht in diesem Bezugssystem, die schwarze entspricht einem Photon, das zuerst in positiver x -Richtung läuft und dort gespiegelt wird. Die grüne und die blaue Weltlinie gehören zu Teilchen, die sich nach dem Gesetz $x = vt(1 - t/T)$ bewegen, also mit der Geschwindigkeit v in positiver x -Richtung beginnen und eine konstante Beschleunigung $-2v/T$ erfahren, so dass sie zur Zeit T wieder bei $x = 0$ sind. (So etwas lässt sich zum Beispiel mit geladenen Teilchen in einem konstanten elektrischen Feld realisieren.) Mit Hilfe der Gleichung (4) berechnet man die zwischen Trennung dieser Reisenden bei $(t, x) = (0, 0)$ und Wiedersehen bei $(T, 0)$ verfllossene Eigenzeit T_e als elementares Integral

$$T_e = \int_0^T dt \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2} \left(1 - \frac{2t}{T}\right)^2} = \frac{1}{2} T \left(\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} + \frac{c}{v} \arcsin \frac{v}{c} \right). \quad (5)$$

Für die rote Weltlinie ($v = 0$) gilt natürlich $T_e = T$, für die grüne ($v = c/2$) ist $T_e = 0,957 T$ und für den Grenzfall der blauen ($v = c$) ergibt sich $T_e = 0,785 T$. Entlang der schwarzen Weltlinie vergeht überhaupt keine Zeit, $T_e = 0$ – auf diesen Gedanken war Einstein schon mit 16 Jahren gestoßen (die „Aarau-Frage“, Pais (1982)), als er sich vorstellte, auf einer Lichtwelle zu reiten, da er dann ja keine einzige Schwingung miterleben würde!

Ein Vergleich der Anzeigen identischer Uhren vor und nach unterschiedlichen Wegen durch die Raumzeit zeigt also keine Übereinstimmung. Und das bereits im Rahmen der speziellen Relativitätstheorie (SRT) von 1905. Die allgemeine (ART) von 1915 hat noch viel weitergehende Konsequenzen für den Zeitbegriff.

Zeit und die Gravitation

Der Ausdruck (3) für das infinitesimale Eigenzeitintervall gilt nämlich in Strenge nur für ein Universum ohne Materie; man spricht dann von einer „flachen Metrik“. Sobald aber Massen und damit auch ihre gegenseitigen Anziehungskräfte ins Spiel kommen, ändert sich die Metrik

und damit das, was Uhren messen. Wie sich die Raumzeit-Metrik aus der Materieverteilung (genauer: aus dem Energie-Impuls-Tensor) im Einzelnen ergibt, beschreibt Einsteins Feldgleichung¹. Für unsere Zwecke reicht es, das an einem einfachen Beispiel zu illustrieren. So wie in der Maxwell-Theorie eine Punktladung ein radialsymmetrisches elektrisches Feld erzeugt, erzeugt eine Punktmasse M im ansonsten materiefreien Raum die radialsymmetrische *Schwarzschild-Metrik*

$$c^2(dr)^2 = (1 - r_s/r)c^2(dt)^2 - \frac{(dr)^2}{1 - r_s/r} - r^2(d\tau)^2 - r^2 \sin^2 \tau (d\varphi)^2. \quad (6)$$

Dabei ist t die Zeitkoordinate in dem Bezugssystem, in dem die Masse ruht, r ist die radiale und τ, φ sind die Winkel eines Systems von Kugelkoordinaten. $r_s = 2GM/c^2$ ist der zur Masse M gehörige *Schwarzschild-Radius* und $G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3/\text{kgs}^2$ die Gravitationskonstante. Der Schwarzschild-Radius der Erde ist $r_s = 8,8 \text{ mm}$, für die Sonnenmasse gilt $r_s = 2,95 \text{ km}$ und für das Schwarze Loch im Zentrum unserer Milchstraße mit seinen 4,5 Millionen Sonnenmassen $r_s = 13 \cdot 10^6 \text{ km}$. Mit $M = 0$ geht (6) in die flache Metrik (3) über.

Man erkennt an (6), dass bereits ruhende Uhren ($dr = d\tau = d\varphi = 0$) unterschiedlich gehen, je nachdem, wie weit sie vom Gravitationszentrum entfernt sind. Im Vergleich zu Uhren im materielosen Raum gehen sie im Gravitationsfeld generell langsamer! Das zeigt etwa der Vergleich von Uhren auf der Erde mit gleichartigen Uhren auf einem GPS-Satelliten. Abbildung 4 zeigt rechts maßstabsgetreu die Erde (Radius $r = 6.380 \text{ km}$) und eine GPS-Bahn (Radius $r = 26.580 \text{ km}$, Umlaufzeit ein halber Tag). Der Faktor zwischen dr und dt ist nach Gleichung (6) $\sqrt{1 - r_s/r} \approx 1 - r_s/2r$, was mit dem Radius der Erde $1 - 6,9 \cdot 10^{-10}$ gibt und mit dem des Satelliten $1 - 1,7 \cdot 10^{-10}$. Auf die Gesamtzeit eines Tages bezogen bedeutet dies für die Erdoberfläche, dass Uhren im Vergleich zu Uhren in der flachen Raumzeit um $60 \mu\text{s}$ langsamer gehen, Uhren auf dem Satelliten um $14 \mu\text{s}$. Relativ zu Uhren auf der Erde gehen die Uhren auf dem Satelliten also pro Tag um $46 \mu\text{s}$ schneller. Multipliziert mit der Lichtgeschwindigkeit gibt das eine Wegdifferenz von $13,8 \text{ km}$: ohne Berücksichtigung der ART wäre das GPS-System nicht viel wert! Wir dürfen aber auch den Effekt der SRT nicht ignorieren, der mit der Bewegung der Uhren verbunden ist. Für die Uhr auf dem Satelliten gilt $dr = 0$ (Kreisbahn) und, in geeigneten Polarkoordinaten, $d\tau = 0$, $d\varphi = \omega dt$ mit $\omega = 4\pi/\text{Tag}$. Deshalb ist

$$d\tau = \sqrt{1 - r_s/r - r^2\dot{\phi}^2/c^2} dt \approx (1 - r_s/2r - r^2\omega^2/2c^2)dt. \quad (7)$$

Der Effekt der Gravitation (der Term $r_s/2r$) wurde oben schon diskutiert. Der letzte Term enthält die Bahngeschwindigkeit $v = r\omega$ des Satelliten. Quantitativ ergibt sich, dass dies die GPS-Uhren pro Tag um $7,2 \mu\text{s}$ langsamer gehen lässt als die im Ruhesystem des Erdzentrums. Der entsprechende Effekt für eine Uhr, die auf der Erdoberfläche ruht, ist vergleichsweise gering. Der Radius r hängt von der geografischen Breite ab, ist aber maximal ein Viertel des Radius der GPS-Bahn; die Umlauffrequenz ω ist halb so groß wie die des Satelliten. So bleibt dieser Beitrag jedenfalls kleiner als $0,1 \mu\text{s}$ pro Tag, was immerhin noch einer Distanz von 30m entspricht. Insgesamt ergibt diese Überschlagsrechnung, dass Uhren auf GPS-Satelliten um $(60 - 7) - (14 - 0) = 39 \mu\text{s}$ pro Tag schneller gehen als auf der Erde.

In diesem Beispiel ist der Einfluss der ART bereits stärker als der der SRT. Mit wachsenden Massen und größerer Nähe zu deren Zentrum verändert sich die Raumzeit immer mehr, sofern die Masse M vollständig innerhalb ihres Schwarzschild-Radius r_s liegt. In einem solchen „schwarzen Loch“ (bei $r < r_s$) ist die Lichtkegel-Struktur eine andere als die von außen her gewohnte: in (6) wird nämlich der Faktor bei $(dt)^2$ negativ und der bei $(dr)^2$ positiv. Die Zeit t und die radiale Koordinate r tauschen ihren Charakter in dem Sinne, dass der Vorwärts-Lichtkegel jetzt in Richtung abnehmender Radien liegt, also zum schwarzen Loch hin weist, s. Abbildung 5. So wie man bei $r > r_s$ nicht verhindern kann, dass mit jedem Tick dT einer Uhr die Koordinatenzeit t voranschreitet, lässt sich im Innern des schwarzen Lochs der Absturz zu kleineren r nicht aufhalten, denn $d\tau > 0$ impliziert, dass nicht unbedingt t sich ändert, wohl aber r abnimmt. Die Eigenzeit eines Teilchens, das die Schwarzschild-Grenze überquert, nimmt den Charakter einer räumlichen Koordinate an!

Dabei spürt ein „Reisender“ in diesem Moment nichts Besonderes, gerade so wie ein Kanufahrer auf dem Niagarafluss zunächst nichts bemerkt, wenn er den point of no return passiert. In beiden Fällen dauert es aber nicht mehr lange, bis Fahrer und Uhren zerschellen: bei radialem Absturz vergeht zwischen $r = r_s$ und $r = 0$ die Eigenzeit $t_s = (2/3)(r_s/c)$. Mit der Masse der Sonne sind das nur $6,7 \mu\text{s}$, vom Rand des großen schwarzen Lochs in unserer Milchstraße dauert die direkte Reise ins Zentrum nur 30 s Eigenzeit.

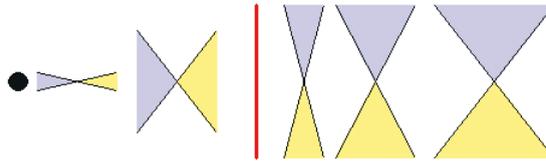


Abb. 5: Lichtkegel in der Umgebung eines schwarzen Loches. Die radiale Koordinate r ist nach rechts, die Koordinatenzeit t nach oben aufgetragen. Für fünf verschiedene Abstände vom Zentrum (schwarz) sind die Lichtkegel skizziert. Die rote Linie zeigt die Lage des Schwarzschild-Radius r_s an.

Und dann? Niemand weiß, wie es „im Auge des schwarzen Loches“ aussieht. Nur so viel ist klar: die Materie dort ist so dicht, dass sie nicht ohne Quantenmechanik beschreibbar ist. Aus den elementaren Konstanten c , G und \hbar , die unser derzeitiges Naturverständnis repräsentieren, lässt sich die Dichte $\rho_{\text{Planck}} = c^5/(\hbar G^2) = 5,2 \cdot 10^{96} \text{ kg/m}^3$ gewinnen; die Sonne wäre dabei auf einen Radius von 10^{-22} m zusammengedrückt. Die heutige Physik ist weit davon entfernt, für derartige Zustände eine Theorie zu besitzen. Am ehrlichsten ist wohl zu sagen, dass nach Ablauf jener Eigenzeit τ_s der Reisende im schwarzen Loch das Ende seiner Zeit erreicht.

Für einen außenstehenden Beobachter ist das auf andere Weise der Fall. Denn für ihn wird die Koordinatenzeit t am Schwarzschild-Radius r_s logarithmisch unendlich. Es dauert „ewig“, bis ein Signal vom Rand des schwarzen Lochs die Außenwelt erreicht, von innen kommt gar nichts mehr. Auch so stellt sich der Absturz als unumkehrbarer Abschied dar.

Abbildung 5 ist nur eine Karikatur dessen, was möglich ist, wenn die Welt mehr als eine Punktmasse besitzt. Wie Lichtkegel durch Massenverteilungen verbogen werden, Kautiken ausbilden und sogar verzweigen können, ist in Perlick (2004) eindrucksvoll beschrieben. Für „die“ Zeit folgt aus all diesem, dass es in der Welt der Physik die eine universelle Zeit nicht gibt, die Newton und Kant sich noch vorstellten. Jede Uhr besitzt mit ihrer eigenen Zeit auch ein Gedächtnis für ihre Geschichte: für die „Weltlinie“, die sie durch die von Materie geprägte Raumzeit genommen hat. Stürzt sie in ein schwarzes Loch, dann hat ihre Zeit – so oder so – ein Ende.

Anfang, Ende und Richtung der Zeit

Hat sie auch einen Anfang? Ist sie auf das Ende hin gerichtet? Wenn sie einen Anfang hatte: was war davor? Wenn sie gerichtet ist: kann die Richtung sich umkehren? – Solche Fragen scheinen viele Menschen zu bewegen, sie sind leicht gestellt und schwer zu beantworten, denn die Erwartungen an eine Antwort lassen sich kaum trennen von den Lebensgeschichten der Fragenden. In seinen Vorlesungen „Die Geschichte der Natur“ schreibt C. F. von Weizsäcker (1948) in ähnlichem Zusammenhang: „An der Stellung zu solchen Fragen offenbaren sich menschliche Haltungen, menschliche Typen, und oft kann man schon voraussagen, wie ein Mensch, den man kennt, sich zu ihnen einstellen wird. Der Gläubige, der Zweifler, der Träumer, der Eiferer, der Pedant haben je ihre eigene Weise der Antwort. Der Mensch sucht in die sachliche Wahrheit der Natur einzudringen, aber in ihrem letzten, unfassbaren Hintergrund sieht er wie in einem Spiegel sich selbst.“

Auch bei Physikern gibt es unterschiedliche Vorstellungen zur Geschichte des Kosmos. Entsprechend zurückhaltend sollte man mit apodiktischen Behauptungen sein, zumal in den letzten zwei Jahrzehnten immer mehr Beobachtungsergebnisse vorgelegt wurden, für deren Interpretation es keine plausible Theorie gibt, sondern lediglich Worte wie „dunkle Materie“ und „dunkle Energie“ oder „Quintessenz“. Vorherrschend ist das sogenannte Standardmodell, wonach es vor etwa 14 Milliarden Jahren ein extrem dichtes und heißes Universum gab, das seither expandiert. S. Weinberg (1977) versuchte, mit einer Vereinigung von Kosmologie und Teilchenphysik dessen „erste drei Minuten“ zu beschreiben. So nachhaltig dieses Buch auch das Weltbild der Physik beeinflusst hat: es ist vor allem Programm geblieben; eine Vereinigung von Quanten- und Gravitationstheorie steht bis heute aus. Deshalb liegt der Anfang im Dunklen. Ein Universum ohne Materie, mit flacher Metrik und einer Zeit ohne Anfang und Ende kann man sich vorstellen, Gegenstand der Physik ist es nicht. Als Physiker mag man von einer Zeit erst reden, wenn es Uhren gibt; wann und wie die erstmals Realität wurden, kann derzeit niemand sagen.

Immerhin ist angesichts der hohen Dichte beim Urknall und der angenommenen Homogenität des frühen Kosmos die Vorstellung nicht abwegig, dass er eine universelle Raumzeit besaß, die erst in dem Maße zerfaserte, in dem sich Zentren der Gravitation bildeten. Während das

Universum als Ganzes expandiert (ohne dass wir eine dafür verantwortliche Kraft benennen könnten), führt die Gravitation zu lokalen Verdichtungen in Sternen, Galaxien und Galaxienhaufen, die bei hinreichender Masseansammlung schließlich zu schwarzen Löchern führen können, in deren Kernen wieder die Dichte des Anfangs herrscht. R. Penrose hat diese Entwicklung von der einen Singularität des Urknalls zu den vielen des späten Kosmos in einem überaus anregenden Buch, Penrose (1999), beschrieben (von dessen allzu spekulativen Vorschlägen zum Verständnis des Bewusstseins man sich nicht irritieren lassen sollte). Selbst wenn der Kosmos seine expansive Phase irgendwann in eine Kontraktion umkehrt (womit nach den Beobachtungen der Nobelpreisträger von 2011 nicht zu rechnen ist, Perlmutter (2003)), wird er am Ende durch eine Kollektion lokaler Singularitäten charakterisiert sein statt wieder durch den homogenen Zustand des Anfangs.

Für die Zeit gewinnen wir daraus das Bild eines Baums, der mit dem Urknall geboren wird und dessen Stamm sich vielfach verzweigt; die Spitzen seiner Äste enden in schwarzen Löchern.

Eine solche Entwicklung unterscheidet zwischen Zukunft und Vergangenheit: die Zeit wird vorgestellt als verzweigte Mannigfaltigkeit mit Richtung, mit einem Anfang und vielen Enden. Für Penrose ist dieser *kosmische Zeitpfeil* sogar die Ursache des zweiten Hauptsatzes der Thermodynamik, Penrose (2001): nur weil der Kosmos expandiert und seine Temperatur als schwarzer Körper lediglich 2,7 K beträgt, wird die Strahlung der Sterne irreversibel nach außen abgegeben, lebt auch die Erde von der Entropieproduktion, die zwischen der Einstrahlung kurzwelligen Sonnenlichts und der Abgabe langwelliger Wärmestrahlung stattfindet.

Der „Zeitpfeil“ ist ein dermaßen vertrautes Phänomen, dass es unsinnig wäre, ihn leugnen zu wollen: der Mensch wird von seiner Mutter geboren und endet als Leiche; niemals hat man das Umgekehrte gesehen. Nun sagen aber die Newtonsche Mechanik, die Maxwell-Theorie und die Quantenmechanik, die fundamentalen Gesetze der Natur seien zeitumkehrinvariant; dem zweiten Hauptsatz wird ein fundamentaler Charakter nicht attestiert. Warum eigentlich nicht? Newton, Maxwell und Schrödinger können in Strenge nur wenige Freiheitsgrade verkraften, ihre Erweiterungen auf Vielteilchen-Systeme (Flüssigkeiten, Plasmen, Festkörper) beziehen dissipative Prozesse *ad hoc* mit ein. Wenn es für eine „saubere Theorie“ schwierig ist, etwa aus Newtons Gesetzen

eine Reibung herzuleiten, dann sollte man das der Theorie anlasten, nicht dem Phänomen. Gleichgewicht und Nichtgleichgewicht im Sinne der Thermodynamik sind Begriffe mit eigenständigem Gewicht, schwer abzugleichen mit den Theorien, die für wenige Freiheitsgrade konzipiert wurden. Das Streben ins Gleichgewicht unter gegebenen Randbedingungen, die damit verbundene Zunahme der Entropie, sollte als fundamentales Gesetz *sui generis* gelten, auch unabhängig vom kosmischen Zeitpfeil, denn es lässt sich ja schon mit einem idealen Gas illustrieren, dessen Volumen plötzlich vergrößert wird. Im Kosmos ist wegen der Dominanz der Gravitation das Streben ins Gleichgewicht aber nicht ein Streben zu räumlicher Gleichverteilung wie in einem idealen Gas, sondern ein Streben hin zu immer stärkerer Konzentration: gegen alle Intuition hat die in einem schwarzen Loch vereinigte Materie eine größere Entropie, als wenn sie irgendwie anders verteilt wäre.

Schlussgedanken

Dem Physiker fällt es schwer oder ist es unmöglich, Zeit losgelöst von Uhren zu denken. Das mag ihn als Pedanten erscheinen lassen. Im Vergleich zu dem, was eine Zeit „erfüllen“ mag, ist das Ticken der Uhren gewiss eine Banalität. Und doch hat das Bemühen um Konsistenz im Vermessen des Naturgeschehens mit Hilfe dieses Tickens zu Folgerungen geführt, die Newton noch ganz fern lagen. Eine einheitliche Zeitstruktur für Mechanik (zunächst ohne Gravitation) und Elektrodynamik konnte Einstein dadurch herstellen, dass, wie Minkowski zuerst klar erkannte, in der speziellen Relativitätstheorie Raum und Zeit zu einer vierdimensionalen Einheit verbunden sind. Zugleich musste die Vorstellung einer universellen Zeit aufgegeben und akzeptiert werden, dass Uhren eine Zeit anzeigen, die von ihrer Geschichte abhängt. Beim Versuch, auch der Gravitation einen Platz in der Theorie zu geben, sah Einstein sich gezwungen, die Raumzeit-Metrik gar als Korrelat der Materieverteilung anzusehen. Danach hat es keinen Sinn, das eine ohne das andere zu denken. Aber wir wissen nicht, wie der globale Anfang war, falls es ihn gab. Wir wissen nicht einmal, wie es im Innern eines schwarzen Loches aussieht „nach dem Ende der Zeit“ all dessen, was dort hineingefallen ist.

Unser Wissen bleibt Stückwerk wie schon zu Zeiten, als Paulus seinen Brief an die Corinthier schrieb (Kap. 13, Vers 9). Wir haben kein globales Bild der vierdimensionalen Raumzeit-Topologie des Kosmos. Alle kosmologischen Modelle machen in dieser Hinsicht ungeprüfte und vielleicht nicht prüfbare Annahmen und setzen damit die lokal bekannten Zusammenhänge fort. Das Bild des „Baums“, der sich aus einfacher Struktur in dunkler Vergangenheit zu einer immer komplexeren Zukunft hin verzweigt, ist, im Sinne von Weizsäckers, auch nur ein Spiegelbild unseres kulturellen Charakters. Die Sprachen des Westens verorten die Vergangenheit *hinter* uns oder tief *unten* in den „Abgründen des Brunnens der Vergangenheit“², wir richten den Blick lieber nach vorne und oben, in die Zukunft eben. Dass aber die umgekehrte Sichtweise ebenfalls möglich ist, zeigt der Sprachgebrauch der Chinesen, für die die Zukunft hinter oder unter ihnen liegt (man kann sie ja noch nicht sehen), während die Vergangenheit vor ihnen emporsteigt. Aus unserer Sicht ist dieser Blick auf die Wurzeln des Baumes gerichtet, die sich ja auch immer weiter verzweigen. Belanglose Bildersymbolik? Vielleicht können beide Seiten voneinander lernen: ein lebendiger Baum hat jedenfalls beides, Krone *und* Wurzeln.

Anmerkungen

- 1 Als eines von vielen guten Lehrbüchern zur allgemeinen Relativitätstheorie sei d’Inverno (1995) empfohlen.
- 2 Thomas Mann, Vorspiel „Höllenfahrt“ zu seinem Roman *Joseph und seine Brüder*.

Literatur

- Aslaksen, H., n.d.: The Mathematics of the Chinese Calendar. In: www.math.nus.sg/aslaksen/calendar/cal.pdf.
- Clavius, C., 1612: Romani Calendarii a Gregorio XIII. P. M. restituti Explicatio. In: Opera Mathematica, Tom. V, Rom 1595 und 1603. Mainz.
- d’Inverno, R. A., 1995: *Einführung in die Relativitätstheorie*. Weinheim: VCH.
- Euler, L., 1769: *Briefe an eine deutsche Prinzessin*. Braunschweig 1986: Vieweg. Erster und zweiter Teil: Leipzig 1769, dritter Teil: St. Peters-

- burg, Riga und Leipzig 1773. Aus dem Französischen übersetzt von A. Speiser.
- Gauß, C. F., 1800: Berechnung des Osterfestes. In: *Monatl. Corresp. zur Beförderung der Erd- und Himmelskunde, Aug. 1800*. Werke VI, 73–79, Göttingen 1874. Erratum: *Z. f. Astron. u. verw. Wissensch.* 1:158, 1816.
- Jaspers, K., 1931: *Die geistige Situation der Zeit*. Berlin, Leipzig: Göschen Bd. 1000.
- Kant, I., 1781: *Kritik der reinen Vernunft*. Hamburg 1956: Felix Meiner. Neudruck der Ausgabe von R. Schmidt 1930.
- Kant, I., 1755: *Allgemeine Naturgeschichte und Theorie des Himmels, oder Versuch von der Verfassung und dem mechanischen Ursprunge des ganzen Weltgebäudes nach Newtonischen Grundsätzen abgehandelt*. Erlangen 1988: H. Fischer. Nachdr. d. Ausg. Königsberg u. Leipzig, Petersen, 1755.
- Meyer, P., n.d.: Der Maya Kalender. In: www.hermetic.ch/caLstud/maya/contg.htm.
- Minkowski, H., 1909: Raum und Zeit. In: 18. Jahresber. d. Deutschen Math.- Vereinigung. Leipzig: Teubner. Vortrag, gehalten auf der 80. Naturforscher-Versammlung zu Köln am 21. September 1908.
- Needham, J. and Ling, W., 1959: *Science and Civilisation in China Vol. 3: Mathematics and the Sciences of the Heavens and the Earth*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Newton, I., 1687: *Philosophia Naturalis Principia Mathematica*. London: Royal Society. A. Motte's Translation revised by F. Cajori, University of California Press, Berkeley 1934.
- Pais, A., 1982: „Subtle is the Lord ...“ *The Science and the Life of Albert Einstein*. New York: Oxford Univ. Press.
- Penrose, R., 1999: *The Emperor's New Mind: Concerning Computers, Minds, and the Laws of Physics*. Oxford: Oxford Univ. Press.
- Penrose, R., 2001: The Schwarzschild Singularity: One Clue to Resolving the Quantum Measurement Paradox. In: *Reviews in Modern Astronomy*, 14, S. 1–14.
- Perlick, V., 2004: Gravitational lensing from a spacetime perspective. In: *Living Rev. Relativity* 7, S. 1–117. [Online Article] <http://www.livingreviews.org/lrr-2004-9>.
- Perlmutter, S., 2003: Supernovae, dark energy, and the accelerating universe. *Physics Today* 56(4), S. 53–60.

- Poincare, H., 1904: *Wissenschaft und Hypothese*. Leipzig: Teubner.
- Richter, P. H., 2007: Kalender und die Gaußsche Osterformel. Was steckt dahinter? In: *Mitt. der Gauß-Ges.* 44, S. 59–78.
- Riemann, B., 1854: Über die Hypothesen, welche der Geometrie zu Grunde liegen. Inauguralvorlesung Universität Göttingen.
- Santillana, G. and von Dechend, H., 1969: *Die Mühle des Hamlet. Ein Essay über Mythos und das Gerüst der Zeit*. Berlin: Kammerer & Unverzagt.
- Schall von Bell, J. A., 1645: *Xiyang Xinfu Lishu*, Vol. 383–387 of Gugong Zhenben Congkan, Haikou 2000: Hainan Publ.
- Weinberg, S., 1977: *The First Three Minutes: A Modern View of the Origin of the Universe*. New York: Basic Books.
- Weizsäcker, C. F. v., 1948: *Die Geschichte der Natur*. Göttingen 1962: Vandenhoeck & Ruprecht.
- Wulff, K., 2006: *Naturwissenschaften im Kulturvergleich*. Frankfurt: Harri Deutsch.

Ulrich Gähde

Theoriegeleitete Bestimmung von Objektmengen und Beobachtungsintervallen am Beispiel des Halleyschen Kometen¹

Zusammenfassung

Den Ausgangspunkt der folgenden Überlegungen bildet eine Fallstudie, die der Entdeckung und theoretischen Beschreibung des Halleyschen Kometen gewidmet ist. Es wird gezeigt, dass bei diesem System die Menge der involvierten Objekte und die Zeitintervalle, über die sich die Beobachtung der Bahnen dieser Objekte erstreckt, in theorieabhängiger Weise bestimmt werden – und zwar in Abhängigkeit von genau derjenigen Theorie, die anschließend zur theoretischen Beschreibung des Systems eingesetzt wird. Metatheoretische Konsequenzen, die sich aus diesem Umstand insbesondere für das strukturalistische Theorienkonzept ergeben, werden im Detail analysiert.

Abstract

The starting point of the following considerations is a case study concerning the discovery of Halley's comet and the theoretical description of its path. It is shown that the set of objects involved in that system and the time interval during which their paths are observed are determined in a theory dependent way – thereby making use of the very theory later used for that system's theoretical description. Metatheoretical consequences this fact has with respect to the structuralist view of empirical theories are discussed in detail.

Einleitung

Objektmengen und Beobachtungsintervalle, die in Modellen der klassischen Mechanik auftreten, gelten als Standardbeispiele für Terme, die auf Beobachtbares referieren. Im Hinblick auf die Objektmenge liegt diese Annahme *prima facie* zumindest dann nahe, wenn es sich bei ihren Elementen um makroskopische Objekte handelt. In Bezug auf das Beobachtungsintervall könnte man wie folgt argumentieren: „Man

wird doch wohl wissen, wann man ein bestimmtes Objekt beobachtet hat und wann nicht“ und in diesem Zusammenhang auf Labortagebücher oder Aufzeichnungen in Observatorien verweisen.

Die Aufgabe der Fallstudie im folgenden Abschnitt besteht darin zu zeigen, dass diese scheinbar triviale Annahme zahlreiche versteckte Schwierigkeiten enthält. In dieser Fallstudie wird die Geschichte der Entdeckung und theoretischen Beschreibung des Halleyschen Kometen kurz dargestellt. Mit ihrer Hilfe wird verdeutlicht, dass es Fälle gibt, in denen die Objektmenge sowie das Beobachtungsintervall in theoriebeladener Weise bestimmt werden – und zwar unter Rückgriff auf genau diejenige Theorie, die anschließend zur theoretischen Beschreibung des Systems herangezogen wird.

Im dritten Abschnitt wird diese Fallstudie wissenschaftstheoretisch ausgewertet. Dabei wird zunächst erläutert, warum die Geschichte der Erforschung von Kometen aus wissenschaftstheoretischer Sicht besonders aufschlussreich ist: Bei der theoretischen Beschreibung dieser Objekte musste vielfach auf Daten zurückgegriffen werden, die im Rahmen unterschiedlichster Deutungen dieser Phänomene – in Kuhnscher Terminologie: im Rahmen unterschiedlichster Paradigmata – gewonnen und dann in das Newtonsche Paradigma übersetzt worden waren. Besondere Aufmerksamkeit wird den Konsequenzen gewidmet, die sich aus der Fallstudie für eine Variante der semantischen Theorienauffassung, das strukturalistische Theorienkonzept, ergeben. Diese Konsequenzen betreffen unter anderem die theorieabhängige Bestimmung von Basismengen, den für diesen wissenschaftstheoretischen Ansatz zentral bedeutsamen Begriff der ‚intendierten Anwendung‘, das Auseinanderklaffen von Beobachtungsintervall und Intervall der theoretischen Beschreibung sowie den Ergänzungsvorgang von Datenstrukturen zu Modellen einer Theorie. Den Abschluss bilden Bemerkungen zum Begriff der „wissenschaftlichen Entdeckung“, die an einschlägige Überlegungen Thomas Kuhns anknüpfen und diese am Beispiel des Halleyschen Kometen illustrieren.

Fallstudie: Theorienabhängige Bestimmung von Basismengen am Beispiel des Halleyschen Kometen

Die in der Antike einflussreichste Erklärung für das Phänomen der Kometen findet sich Aristoteles *Metereologie* (Buch I, 338b–345a). Aristoteles deutet Kometen darin nicht als supralunare astronomische Objekte, sondern betrachtet sie vielmehr als sublunare atmosphärische Phänomene.² Seiner Meinung nach handelt es sich um Lichterscheinungen, die dadurch entstehen, dass heiße Ausdünstungen der Erde in der Atmosphäre aufsteigen und sich dort unter bestimmten Bedingungen entzünden – ein Umstand, der nach Aristoteles' Überzeugung im Zusammenhang damit zu sehen ist, dass Kometen häufig bei windigen und trockenen Wetterlagen zu beobachten sind. Ein wesentlicher Grund dafür, dass Aristoteles die Kometen als atmosphärische Phänomene und nicht als Himmelskörper ansah, scheint in der Tatsache gelegen zu haben, dass ihm das Auftreten unregelmäßiger, nicht prognostizierbarer Phänomene in dem durch strikte Gesetze beherrschten supralunaren Bereich als nicht annehmbar erschien. Die von Aristoteles begründete Sichtweise von Kometen hat die naturphilosophische Diskussion bis in das sechzehnte Jahrhundert geprägt. Sie wurden als nicht-prognostizierbare Phänomene betrachtet und – insbesondere im Mittelalter – als Schicksalsboten gedeutet, die Katastrophen wie Seuchen, Kriege oder Ähnliches ankündigten.³

Das aristotelische Paradigma wurde erst nachhaltig erschüttert, als Tycho de Brahe durch Parallaxenmessung am Kometen von 1577 zeigen konnte, dass dieser weiter von der Erde entfernt sein musste als der Mond und es sich damit eindeutig um ein astronomisches Objekt handelte.⁴ Obwohl Tycho seine Messungen mit großer Genauigkeit durchführte und dokumentierte, wurde seine Entdeckung keineswegs sofort allgemein anerkannt. So spottete Galilei über die „tychonischen Affenplaneten“ und hielt an der Auffassung fest, dass es sich bei Kometen um atmosphärische Erscheinungen (genauer: um Reflektionen des Sonnenlichts an der Atmosphäre) handeln würde.⁵ Ein Grund für Galileis ablehnende Haltung könnte in seiner Befürchtung gelegen haben, dass Kometen durch ihre stark exzentrischen Bahnen die Stabilität des heliozentrischen Weltbildes gefährden würden. Auch ein zweiter Grund für die Vorbehalte, mit denen Tychos Entdeckung aufgenommen wurde, hängt mit der Exzentrizität der Kometenbahnen zusammen: Tychos

Messungen ergaben, dass die Kometen bei ihrer Bahnbewegung die planetenträgenden Schalen durchstoßen müssten, von deren Existenz allgemein ausgegangen wurde. Irgendeine Hemmung der Kometenbewegung konnte jedoch nicht beobachtet werden.

Auch nachdem sich Tychos Einsicht durchgesetzt hatte, dass es sich bei Kometen um astronomische Objekte handelt, wurde zunächst weiterhin davon ausgegangen, dass sie einmalige und zudem nicht prognostizierbare Phänomene darstellten. Schlüsselrollen bei der Aufgabe dieser These spielten zum einen Isaac Newton, zum anderen der englische Astronom Edmond Halley. Halley hatte den Kometen von 1682 beobachtet und die Bahndaten zu ermitteln versucht. Als er zwei Jahre später Newton in Cambridge besuchte, fragte er diesen zunächst nach der Bahnbewegung, die ein Planet unter dem Einfluss der Gravitationskraft der Sonne ausführen würde, sofern diese Kraft umgekehrt proportional zum Quadrat des Abstandes zwischen den beiden Objekten sei. Newton antwortete, dass sich ein solches Objekt auf einer Ellipse bewegen würde.⁶ Als Halley ihn um einen Beweis bat, schickte ihm Newton wenig später ein neunseitiges Manuskript, das zu einem Ausgangspunkt für Newtons Hauptwerk, die *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*, werden sollte. 1687 erschien die erste Auflage der *Principia*, deren Veröffentlichung Halley wesentlich gefördert hatte. Sie enthielt eine ausführliche Behandlung von Kometenbahnen, in der Newton die Auffassung vertrat, dass sich Kometen auf Kegelschnitten bewegen. Damit schloss er nicht aus, dass sich zumindest einige dieser Objekte auf geschlossenen Bahnen um die Sonne bewegen und wiederkehren.⁷ Die verfügbaren Beobachtungsdaten zeigten allerdings, dass diese Ellipsenbahnen – anders als die nahezu kreisförmigen Umlaufbahnen der Planeten – dermaßen langgestreckt sein mussten, dass sie in Sonnennähe durch parabolische Bahnen approximiert werden konnten.⁸ Die Beobachtungsmöglichkeiten für Kometen waren außerordentlich eingeschränkt: Nur der kleinste Teil ihrer Bahn, bei dem sie sich in der Nähe der Sonne bewegten, konnte beobachtet werden. Auf der Basis dieser Daten schien es nahezu unmöglich zu entscheiden, ob es sich bei ihren Bahnen um Ellipsen, Parabeln oder Hyperbeln handelte.

Hier setzte Halleys Überlegung an: Falls ein Komet sich auf einer geschlossenen Bahn bewegte, konnte es sein, dass er bereits mehrfach aufgetreten und auch beobachtet worden war. Bei vermeintlich verschiedenen Kometen, über deren Beobachtung in der Vergangenheit

berichtet worden war, konnte es sich in Wirklichkeit um ein und dasselbe Objekt handeln. Vor dem Hintergrund dieser Überlegung suchte Halley in historischen Aufzeichnungen über Kometen nach möglichen Kandidaten für wiederkehrende Objekte. Eine von ihm 1705 erstellte Tabelle enthielt die errechneten Bahndaten von 24 Kometen, die zwischen 1337 und 1698 beobachtet worden waren.⁹ Halley bemerkte, dass sich die drei Kometen von 1531, 1607 und 1682 nicht nur alle retrograd (d.h. entgegengesetzt zur Umlaufrichtung der Planeten) um die Sonne bewegten, sondern zudem in zahlreichen weiteren Eigenschaften übereinstimmten. Ein weiteres Indiz dafür, dass es sich in der Tat um dasselbe Objekt handelte, bestand darin, dass sie in annähernd gleichen zeitlichen Abständen auftraten: So lagen zwischen den Kometen von 1531 und 1607 76 Jahre und zwischen den Kometen von 1607 und 1682 75 Jahre. Die Differenz zwischen den Umlaufzeiten erklärte Halley zutreffend mit dem unterschiedlichen Einfluss der Planeten, insbesondere des massereichen Jupiter. Zugleich sagte er auf Grund seiner Bahnberechnungen die Wiederkehr des Kometen für das Ende des Jahres 1758 bzw. Anfang 1759 voraus.¹⁰ Wesentlich für die folgenden Überlegungen ist, dass diese Vorhersage keineswegs nur auf eine Extrapolation der genannten Zeitintervalle zwischen vorangegangenen Beobachtungen des Kometen beruhte, sondern ihr vielmehr eingehende Bahnberechnungen zu Grunde lagen.

Die Bestätigung seiner Vorhersage hat Halley, der 1742 starb, nicht mehr erlebt. Am 25. Dezember 1758 beobachtete der sächsische Landwirt und Amateur-Astronom Johann Georg Palitzsch in der Nähe von Dresden als Erster die Wiederkehr des Kometen; diese Beobachtung wurde vier Wochen später von dem ‚professionellen‘ Pariser Astronomen Charles Messier bestätigt.¹¹ Halleys Leistung wurde als „Vorhersage des Unvorhersagbaren“ gefeiert und als eindrucksvolle Bestätigung der Newtonschen Theorie betrachtet.

Einige metatheoretische Konsequenzen der Fallstudie

Die Geschichte der Entdeckung und Erforschung des Halleyschen Kometen weist mehrere Aspekte auf, die aus wissenschaftstheoretischer Perspektive besonderes Interesse beanspruchen können. Auf einige ausgewählte Aspekte wird nun näher eingegangen. Besondere Aufmerk-

samkeit wird dabei Konsequenzen gewidmet, die sich aus der Fallstudie für das strukturalistische Theorienkonzept ergeben.¹² Dabei wird deutlich werden, dass eine Analyse der geschilderten wissenschaftshistorischen Vorgänge im Rahmen dieses Ansatzes auf erhebliche Probleme stößt, die sich insbesondere aus der theorienabhängigen Bestimmung von Objektmengen und Beobachtungsintervallen ergeben und deren Lösung einschneidende Veränderungen an diesem Ansatz erfordern.

1. Dass die Geschichte der Erforschung von Kometen wissenschaftstheoretisch besonders aufschlussreich ist, hängt mit einem scheinbar nebensächlichen Detail ihrer Bahnen zusammen: Diejenigen Kometen, die sich auf geschlossenen elliptischen Bahn bewegen, besitzen im Allgemeinen stark exzentrische Umlaufbahnen und weisen zudem lange Umlaufzeiten auf. Die langen Umlaufzeiten hatten zur Folge, dass sich Astronomen wie Halley oder seine Zeitgenossen beim Versuch der Berechnung der Bahnen von Kometen sowie der Vorhersage ihrer Wiederkehr nicht allein auf eigene Beobachtungen stützen konnten, sondern notgedrungen auf historische Zeugnisse über frühere Kometenbeobachtungen zurückgreifen mussten. So beruhte Halleys bereits erwähnte Tabelle mit den Bahndaten von 24 Kometen auf Beobachtungen, die sich über einen Zeitraum von mehr als 350 Jahren erstreckten.¹³ Ein wesentlicher Teil dieser Daten war – in Thomas Kuhns Terminologie formuliert – im Rahmen von Paradigmen der Kometenforschung erhoben worden, die sich von Newtons Paradigma, in dessen Rahmen sie von Halley genutzt wurden, stark unterschieden.¹⁴

In der Fallstudie wurden drei Paradigmen der Kometenforschung genannt: a) Kometen als sublunare atmosphärische Phänomene, b) Kometen als supralunare astronomische Objekte, die nur einmal auftreten, nicht prognostizierbar sind und Unheil ankündigen, und c) Kometen als astronomische Objekte, von denen sich einige auf geschlossenen elliptischen Bahnen bewegen, die wiederkehren können und deren Auftreten zumindest im Prinzip prognostizierbar ist. Das Paradigma bestimmte wesentlich, welche Beobachtungsdaten für relevant erachtet, erhoben und aufgezeichnet wurden. Solange Kometen als atmosphärische Lichterscheinungen aufgefasst wurden, beschränkte man sich darauf, Ort und Zeitpunkt des Auftretens festzuhalten, ihre Bahn qualitativ zu beschreiben und ihre Gestalt zu schildern.¹⁵ Nachdem Astronomen erkannt hatten, dass es sich bei Kometen um supralunare astronomische Objekte handelte, sahen sie sich mit einer

anspruchsvolleren Aufgabe konfrontiert: Sie mussten versuchen, die Bahn des Kometen für das Zeitintervall möglichst genau zu erfassen, in dem sich das Objekt hinreichend nahe zur Erde befand, um mit den verfügbaren Hilfsmitteln beobachtet werden zu können. Für Astronomen, die wie Halley von einer möglichen Wiederkehr von Kometen überzeugt waren, stellte sich die zusätzliche Aufgabe, die Periode des Umlaufs des Kometen um die Sonne zu bestimmen und so eine Vorhersage seiner Wiederkehr zu ermöglichen.

Die folgenden Überlegungen beziehen sich ausschließlich auf diejenigen in der Fallstudie dargestellten Forschungen zum Halleyschen Kometen, die im Rahmen des zweiten und dritten Paradigmas durchgeführt wurden, bei denen also bereits von Tychos Einsicht ausgegangen wurde, dass es sich bei Kometen um astronomische Objekte handelt. Die entsprechenden Untersuchungen werden nun aus dem Blickwinkel des strukturalistischen Theorienkonzepts analysiert: Die Fallstudie wird als Testinstanz für diesen Ansatz herangezogen. Dabei werden erhebliche Probleme dieser wissenschaftstheoretischen Konzeption deutlich. Um dies näher erläutern zu können, muss zunächst die strukturalistische Sichtweise des Zusammenhangs zwischen theoretischer Beschreibung und Ergänzung kurz rekapituliert werden.

2. Im strukturalistischen Theorienkonzept wird bekanntlich von einer – keineswegs unproblematischen – Unterscheidung zwischen theoretischen und nichttheoretischen Termen ausgegangen; diese Unterscheidung wird jeweils auf eine konkrete empirische Theorie relativiert. So handelt es sich nach strukturalistischem Credo bei der Massen- und Kraftfunktion um theoretische Terme bezüglich der Newtonschen Mechanik, während die Ortsfunktion als nichttheoretisch bezüglich dieser Theorie eingestuft wird. Die intendierten Anwendungen einer Theorie werden durch sog. partielle Modelle repräsentiert. Diese bestehen aus nichttheoretischen Funktionen sowie den Basismengen, auf denen sie definiert sind. Im Fall der Newtonschen Mechanik bestehen die intendierten Anwendungen bzw. die sie repräsentierenden partiellen Modelle aus einer Objektmenge P , einem Beobachtungsintervall T sowie einer Ortsfunktion s , die jedem Objekt aus P zu jedem Zeitpunkt aus T einer Ortsvektor zuordnet. Die theoretische Beschreibung einer solchen intendierten Anwendung wird im strukturalistischen Ansatz als Ergänzungsbildung gedeutet: Die Aufgabe besteht darin, ein partielles Modell durch Anfügung geeigneter theoretischer Funktionen zu

einem Modell zu komplettieren. Im Fall der Newtonschen Mechanik bedeutet das, dass eine Massen- sowie eine Kraftfunktionen gefunden werden müssen, die zusammen mit der als nichttheoretisch angenommenen Ortsfunktion die Axiome der Newtonschen Theorie erfüllen.

Schon ein kurzer Blick auf das Beispiel des Halleyschen Kometen zeigt, dass diese Sichtweise allzu vereinfacht ist. So ist etwa die Annahme, dass die als nichttheoretisch angenommene Ortsfunktion bereits vor der theoretischen Beschreibung bzw. Ergänzungsbildung vollständig vorliegt, in diesem Fall offenbar nicht erfüllt. Wie zuvor erläutert, weisen elliptische Kometenbahnen häufig eine starke Exzentrizität auf. Auf Grund dieses Umstandes sowie der Tatsache, dass es sich bei Kometen um vergleichsweise kleine und nicht-selbstleuchtende Objekte handelt, kann nur ein winziger Teil ihrer Bahn direkt mit Hilfe von Teleskopen beobachtet werden. Dagegen muss der größte Teil ihrer Bahn – etwa, wenn sie sich außerhalb der Umlaufbahnen der äußeren Planeten bewegen oder wenn sie durch die Sonne verdeckt werden – theoretisch berechnet werden. Bei diesen Berechnungen wurde von Halley und zeitgenössischen Astronomen auf Newtons Theorie zurückgegriffen. Die Annahme, dass bereits vor der Ergänzungsbildung die (nach strukturalistischer Auffassung bezüglich der klassischen Mechanik nichttheoretische) Ortsfunktion vollständig bekannt ist, ist hier offenbar schlicht falsch.

Um dieses Problem zu beheben, wurde eine liberalisierte Definition der Ergänzungsfunktion vorgeschlagen, die statt von partiellen Modellen von sog. Datenstrukturen ausgeht.¹⁶ Dadurch kann unter anderem dem Umstand Rechnung getragen werden, dass in einigen intendierten Anwendungen empirischer Theorien auch Funktionswerte nichttheoretischer Funktionen ergänzt werden müssen. Durch diese Liberalisierung der Ergänzungsfunktion wird die Bedeutung der Theoretisch-nichttheoretisch-Unterscheidung für die Ergänzungsbildung offenbar eingeschränkt.

3. Eine weitere Schwierigkeit besteht darin, dass zur Zeit Halleys die Ortsbestimmung von Kometen mit gravierenden Schwierigkeiten behaftet war. Direkt gemessen werden konnten nur die Winkel, unter denen ein Komet beobachtet wurde. Seine Entfernung wurde unter erheblichen theoretischen Annahmen und mit großer Ungenauigkeit abgeschätzt; dabei kamen parallaktische Verfahren zum Einsatz. Auch Tycho (zutreffende) Feststellung, dass sich der Komet von 1533 außer-

halb der Umlaufbahn des Mondes und, wie er vermutete, auch außerhalb der Umlaufbahn einiger Planeten bewegte, beruhte auf einem derartigen Verfahren zur Parallaxenmessung. Dieses Verfahren lieferte jedoch nur eine Abschätzung der Mindestentfernung, in der sich der Komet von der Erde befand, keineswegs jedoch dessen Entfernung selbst und damit auch keinen Funktionswert der zugehörigen Ortsfunktion.

Aus strukturalistischer Perspektive betrachtet bedeutet das, dass statt der vermeintlich vorgegebenen Funktionswerte der Ortsfunktion nur (vergleichsweise starke) einschränkende Bedingungen vorlagen, die die Ortsfunktion zu erfüllen hatte; diese einschränkenden Bedingungen legte Halley seinen Bahnberechnungen zu Grunde.

4. Ungeachtet der zuvor geschilderten Liberalisierung des Ergänzungskonzepts wurde im Strukturalismus stets wie selbstverständlich davon ausgegangen, dass die in intendierten Anwendungen auftretenden Basismengen unabhängig von derjenigen Theorie bestimmt werden können, mit der diese Anwendungen theoretisch beschrieben werden sollen. Wie problematisch diese Annahme ist, zeigt das Beispiel des Halleyschen Kometen. So sahen Astronomen vor Halley in den Kometen von 1531, 1607 und 1682 drei verschiedene Objekte. Im Gegensatz dazu erkannte Halley durch seine Analyse ihre Bahndaten im Licht der Newtonschen Theorie, dass es sich um ein und denselben Kometen handeln musste.¹⁷ Die Menge der Objekte, deren Bewegungen theoretisch zu beschreiben war, wurde zumindest in diesem Fall offenbar in theorieabhängiger Weise bestimmt.

5. Die theorienabhängige Bestimmung von Objektmengen hat Auswirkungen in Bezug auf weitere Basismengen: die zugehörigen Beobachtungsintervalle. Ein Astronom, der wie selbstverständlich davon ausging, dass es sich bei den Kometen von 1531, 1607 und 1682 um drei verschiedene Objekte handelte, konnte sich bei seinen Berechnungen nur auf eine begrenzte Beobachtungsbasis stützen: Er konnte nur auf Beobachtungs- bzw. Messdaten zurückgreifen, die in einem der drei genannten Jahre gewonnen worden waren. Dagegen konnte ein Astronom, der im Licht der Newtonschen Theorie sowie der Forschungen Halleys bereits von der Identität der drei Objekte überzeugt war, bei seinen Berechnungen von einer breiteren Datenbasis ausgehen: Er konnte Daten verwenden, die in den drei Zeitintervallen in den Jahren 1531, 1607 und 1682 erhoben worden waren, in denen der Komet der

Erde hinreichend nahe kam, um beobachtet werden zu können. Man könnte hier von einem ‚segmentierten Beobachtungsintervall‘ sprechen.¹⁸ Es sei hier nur am Rande angemerkt, dass im strukturalistischen Ansatz bisher keine Möglichkeit vorgesehen ist, derartige segmentierte Beobachtungsintervalle zu erfassen.¹⁹

Entscheidend ist im vorliegenden Kontext die Tatsache, dass im Fall des Halleyschen Kometen nicht nur die Objektmenge, sondern auch das Beobachtungsintervall in theorienabhängiger Weise bestimmt wird – und zwar in Abhängigkeit von derjenigen Theorie, die anschließend zur theoretischen Beschreibung des Systems eingesetzt wird. Die in der Einleitung erwähnte, scheinbar triviale Behauptung „Man wird doch wohl wissen, wann man etwas beobachtet hat“ erweist sich hier als problematisch: Es geht nicht nur darum, ob bzw. wann überhaupt beobachtet wurde, sondern wann ein *bestimmtes* Objekt beobachtet wurde. Dieses Objekt kann aber – wie das Beispiel des Halleyschen Kometen zeigt – selbst in theorienabhängiger Weise bestimmt sein.

6. An dieser Stelle wird eine weitere problematische Annahme deutlich, von der der Strukturalismus im Hinblick auf das Beobachtungsintervall ausgeht: Es wird angenommen, dass das Beobachtungsintervall identisch ist mit demjenigen Zeitintervall, über das sich die theoretische Beschreibung erstreckt.²⁰ Formal kommt dieser Umstand darin zum Ausdruck, dass in partiellen Modellen, die intendierte Anwendungen repräsentieren, dasselbe Zeitintervall T auftritt wie in den Modellen, zu denen sie ergänzt werden. Dass dies eine kontrafaktische Annahme darstellen kann, lässt sich am Beispiel von Kometen gut illustrieren: Kometen, die sich auf geschlossenen elliptischen Bahnen bewegen, können nur während eines im Vergleich mit ihrer gesamten Umlaufzeit kurzen Zeitintervalls beobachtet werden. Dagegen soll ihre theoretische Beschreibung ihre gesamte Umlaufbahn um die Sonne erfassen. Mit anderen Worten: Das Beobachtungsintervall wird eine echte Teilmenge desjenigen Zeitintervalls sein, über das sich die theoretische Beschreibung erstreckt; diese ist deutlich stärker als die Datenbasis, auf der sie beruht. Auch bei Kometen, die sich auf parabolischen oder hyperbolischen Bahnen bewegen, wird man sich um eine theoretische Beschreibung ihrer Bahn bemühen, die über den vergleichsweise kurzen Zeitraum hinausreicht, in dem sie beobachtbar sind. Um diesen Sachverhalt deutlich zu machen, sollte zwischen beiden Zeitintervallen klar unterschieden werden.

7. Die Möglichkeit einer theorieabhängigen Bestimmung der Objektmenge sowie des Beobachtungsintervalls hat erhebliche Auswirkungen auf das Konzept intendierter Anwendungen. Das lässt sich wie folgt zeigen: In strukturalistischen Rekonstruktionen der klassischen Mechanik stellen die Objektmenge P und das Beobachtungsintervall T Basismengen dar, die sowohl in partiellen Modellen als auch in Modellen der Theorie auftreten.²¹ Wird an der Annahme festgehalten, dass intendierte Anwendungen durch partielle Modelle repräsentiert werden, so überträgt sich die Theorieabhängigkeit der Bestimmung dieser Basismengen auf die betreffende intendierte Anwendung selbst. Diese kann nicht mehr als unabhängig von der Theorie vorgegeben betrachtet werden, die zu ihrer Beschreibung eingesetzt wird. Vielmehr wird sie bereits im Licht dieser Theorie bestimmt.

Für diese Sichtweise lassen sich im Fall des Halleyschen Kometen durchaus Plausibilitätsbetrachtungen ins Feld führen. So wird ein zur Zeit Tychos forschender Astronom, der Kometen für nicht wiederkehrende astronomische Objekte hält, die zugehörigen intendierten Anwendung deutlich anders konfigurieren als ein Astronom, der wie Halley vor dem Hintergrund der Newtonschen Theorie von der Möglichkeit einer Wiederkehr überzeugt ist. Ein Astronom vor Halley wird – strukturalistisch formuliert – die Bewegung jedes der drei Kometen von 1531, 1607 und 1682 durch eine eigene intendierte Anwendung zu erfassen versuchen und davon ausgehen, dass die Bahnen der drei Himmelskörper in guter Näherung unabhängig voneinander beschrieben werden können.²² Sein Ziel wird insbesondere darin bestehen, die Bewegung der drei – vermeintlich verschiedenen – Objekte in Sonnennähe möglichst genau zu beschreiben und eine Vorhersage darüber formulieren, wann und in welchem Abstand sie Sonne und Erde passieren. Möglicherweise wird er sich weiterhin dafür interessieren, in welcher Richtung die Kometen das – wie auch immer interpretierte²³ – Sonnensystem wieder verlassen.

Dagegen wird ein Astronom, der wie Halley von einer möglichen Wiederkehr von Kometen überzeugt ist, die zugehörigen intendierten Anwendungen in wesentlich andersartiger Weise konfigurieren. Ihm stehen zwei verschiedene Möglichkeiten offen: Entweder er fasst mehrere Umläufe des Kometen in einer einzigen komplexen intendierten Anwendung zusammen und versucht diese theoretisch zu beschreiben. Oder er fasst jeden einzelnen Umlauf des Kometen als eigene intendier-

te Anwendung auf. In diesem Fall muss er sicherstellen, dass die in den verschiedenen Anwendungen auftretenden Ortsfunktionen ‚nahtlos‘ aneinander gefügt werden können. Im Rahmen des strukturalistischen Ansatzes kann diese Forderung durch einen Constraint für die Ortsfunktion erfasst werden. Bei der theoretischen Beschreibung der drei intendierten Anwendungen müssen weitere Constraints erfüllt sein, die sich an die theoretischen Funktionen richten. So muss insbesondere gefordert werden, dass dem Kometen – da es sich nach Voraussetzung jeweils um dasselbe Objekt handelt – bei der theoretischen Ergänzung der drei intendierten Anwendungen jeweils annähernd dieselbe Masse zugeordnet werden – eine Forderung, die ein Astronom vor Halley offenbar nicht zu berücksichtigen brauchte.²⁴

Dass diese zweite Beschreibungsalternative mehr als eine theoretische Möglichkeit ist, zeigen die Berechnungen, die Alexis-Claude Clairaut mit seinen Mitarbeitern im Jahr 1757, also ein Jahr vor der Wiederkehr des Halleyschen Kometen, durchführte. Clairauts Ziel bestand darin, den Zeitpunkt der Wiederkehr möglichst genau zu berechnen. Dazu analysierten sie zunächst die verfügbaren Daten in Bezug auf das Auftreten des Kometen im Jahr 1531. Auf der Basis dieser Daten und Berechnungen formulierten sie eine Retrodiktion: Sie versuchten, die (zum Zeitpunkt ihrer Berechnungen bereits erfolgte) Wiederkehr des Kometen im Jahr 1607 ‚vorherzusagen‘ und verglichen dann die berechneten Daten über dessen Wiederkehr mit den Beobachtungsdaten. Die Differenz zwischen berechneten und beobachteten Daten verwendeten sie, um ihre Annahmen über die Bahn des Kometen sowie den Einfluss der Planeten auf diese Bahn zu korrigieren. In analoger Weise formulierten sie eine Retrodiktion über das Auftreten des Kometen im Jahr 1682, korrigierten erneut ihre Annahmen und kamen zu dem Schluss, dass der Komet 1759 wiederkehren und im April seine größte Annäherung an die Sonne erreichen würde. Obwohl Clairauts Analyse wesentlich subtiler als die von Halley vorgenommenen Bahnberechnungen war, stimmte Halleys Prognose letztlich besser mit dem beobachteten Datum der Wiederkehr des Kometen überein.²⁵

Die Erforschung des Halleyschen Kometen liefert damit ein zumindest *prima facie* plausibles Illustrationsbeispiel für die Sichtweise, dass bereits die Konfiguration intendierter Anwendungen im Licht derjenigen Theorie erfolgen kann, die anschließend zu ihrer theoretischen Beschreibung herangezogen wird: Nur ein Astronom, der von der – im Licht der

Newtonschen Theorie gewonnenen – Einsicht überzeugt war, dass sich Kometen auf geschlossenen Ellipsenbahnen um die Sonne bewegen können, konnte sich die Beschreibung eines oder mehrerer Umläufe dieser Objekte sowie die Vorhersage ihrer Wiederkehr zum Ziel setzen und die intendierten Anwendungen entsprechend konfigurieren.

8. Wie zuvor dargestellt, kann die theoretische Beschreibung eines Systems nach strukturalistischer Auffassung als ein Ergänzungsvorgang aufgefasst werden, bei dem partielle Modelle den Ausgangspunkt bilden: diese partiellen Modelle sollen durch Anfügung geeigneter theoretischer Funktionen zu Modellen der Theorie komplettiert werden. Häufig wird dieser Ergänzungsprozess durch die Axiome der Theorie nicht eindeutig bestimmt sein, sondern sich vielmehr ein partielles Modell zu mehreren verschiedenen Modellen ergänzen lassen. Dieser Spielraum wird erst durch die zusätzliche Forderung nach Gültigkeit von Spezialgesetzen, Hilfhypothesen, Randbedingungen etc. eingeschränkt. Weitere einschränkende Bedingungen ergeben sich durch die Forderung nach bestehenden Querverbindungen zwischen den theoretischen Beschreibungen verschiedener intendierter Anwendungen, die im strukturalistischen Ansatz durch Constraints und Links erfasst werden. Durch die hypothetische Formulierung immer neuer Spezialgesetze entsteht ein erhebliches Immunisierungspotential, mit dem sich empirische Theorien gegen konfligierende Beobachtungsbefunde zur Wehr setzen können. Wie wirkungsvoll dieses Potential zur Abwehr von Anomalien eingesetzt werden kann, wurde an anderer Stelle am Beispiel der Verteidigungsanstrengungen der klassischen Physik gegen die Perihel-Anomalie des Merkur im Detail erläutert.²⁶

Wenn auch der Zielpunkt des Ergänzungsprozesses – also das Modell, zu dem eine intendierte Anwendung ergänzt werden soll – durch die Axiome der Theorie im Allgemeinen unterbestimmt bleibt, so liegt doch nach herkömmlicher strukturalistischer Auffassung zumindest dessen Ausgangspunkt, das betreffende partielle Modell, eindeutig fest – und zwar unabhängig von der Theorie, auf die anschließend beim Ergänzungsprozess zurückgegriffen wird. Auch diese strukturalistische Grundüberzeugung muss im Licht der Fallstudie offenbar revidiert werden: Nicht nur der Zielpunkt, sondern auch der Ausgangspunkt der Ergänzungsbildung wird hier in theorieabhängiger Weise bestimmt. Um derartige Ergänzungsprozesse metatheoretisch abbilden zu können, sind offenbar grundlegende Modifikationen am struktura-

listischen Konzept der theoretischen Beschreibung intendierter Anwendungen erforderlich. Die Frage, wie diese Modifikationen im Einzelnen auszusehen haben und wie sie formal präzisiert werden können, erfordert jedoch eine eigene Untersuchung und kann in dieser Arbeit nicht beantwortet werden.

9. Zum Abschluss sei noch einmal auf eine Beziehung zwischen der Fallstudie und Überlegungen Thomas Kuhns hingewiesen. Kuhn hat die Auffassung vertreten, dass es sich bei wissenschaftlichen Entdeckungen im Allgemeinen um komplexe und zudem zeitlich ausgedehnte Prozesse handelt, bei denen neue Tatsachen und Theorien eng ineinander verwoben sind. Diese These hat er detailliert am Beispiel der Entdeckungsgeschichte des Sauerstoffs erläutert.²⁷ Wem sollte man die Entdeckung des Halleyschen Kometen zuschreiben? Demjenigen, der in prähistorischer Zeit das Objekt zum ersten Mal beobachtet und – wenn überhaupt – in einer uns nicht mehr zugänglichen Weise gedeutet hat? Oder derjenige Wissenschaftler, der den Kometen beobachtet und im Rahmen eines wissenschaftlichen Weltbildes zu deuten versucht hat, ihn aber als atmosphärisches Phänomen missverstand? Oder Tycho, der erstmals erkannte, dass es sich um ein astronomisches Objekt handelte, jedoch nicht von einer Wiederkehr ausging? Oder schließlich Halley, der als Erster nachwies, dass es sich bei dem Kometen von 1682 um ein wiederkehrendes Objekt handelte, das – wie er bereits wusste – 1531 und 1607 beobachtet worden war? Halley selbst jedenfalls stellte im Hinblick auf seine erfolgreiche Vorhersage der Wiederkehr des Kometen fest: „You see, therefore, an agreement of all the elements in these three, which would be next to a miracle if they were three different comets; or, if it was not the approach of the same comet towards the sun and the earth in three different revolutions, in an ellipsis around them. Wherefore, if according to what we have already said, it should return again about the year 1758, candid posterity will not refuse to acknowledge that this was first discovered by an Englishman“.²⁸

Anmerkungen

- 1 Ich danke Manfred Stöckler für zahlreiche anregende Diskussionen, die ich mit ihm über die Rolle des Modellbegriffs in der Wissenschaftstheorie führen konnte und von denen dieser Aufsatz in vielfältiger Weise profitiert hat.

- 2 Aristoteles grenzt sich damit von einer Auffassung ab, die er einigen Vertretern der pythagoreischen Schule zuschreibt. Danach handelt es sich bei Kometen um Planeten, die in großen Zeitabständen erscheinen und sich nur wenig über den Horizont erheben; vgl. Aristoteles *Metereologie* (Buch I, 342b). Die Überzeugung, dass es sich bei Kometen um Himmelskörper und nicht um atmosphärische Phänomene handelt, wurde im Altertum bereits von einer Reihe von Autoren vertreten. So vertritt etwa Seneca in Buch VII seiner *Naturales Quaestiones* (um 64 n. Chr.) diese Auffassung nachdrücklich und beruft sich dabei auf Apollonios von Myndos; vgl. Gaulty (2004, S. 143–164) und Waiblinger (1977, S. 83–85). Dennoch war die aristotelische Auffassung bis zur frühen Neuzeit maßgebend. Für den Hinweis auf Seneca und Apollonios von Myndos danke ich einem unbekanntem Gutachter.
- 3 Vgl. Griesser (1985, S. 13 f., S. 91 ff.).
- 4 Tycho schreibt dazu: „Das aber eigentlich zu erfahren habe ich großen Fleiß angewendet weil hier die ganze Wissenschaft vom Ort und Eigenschaften der Kometen gelegen ist, und habe ich aus vielerlei Beobachtungen mit zugehörigen Instrumenten beobachtet und durch Dreieckslehre gefunden, daß dieser Komet so weit von uns gewesen, dass seine größte Parallaxe beim Horizont nicht größer als 15' sein könnte und eher etwas kleiner als größer gefunden. (...) Hieraus folgt aus der geometrischen Rechnung, dass dieser Komet wenigstens 230 Erdhalbmesser von der Erde entfernt gestanden sei. (...) Deshalb kann die aristotelische Philosophie hierin nicht richtig sein, die lehrt, daß am Himmel nichts Neues entstehen und dass alle Kometen im oberen Teil der Luft sich befinden.“ (Aus: *De cometa anni 1577, Opera Omnia IV*, Kopenhagen 1922; deutsche Übersetzung zitiert aus Zinner (1951, S. 297 f.). Vgl. dazu auch Cook (1998, S. 205) und Hoskin (1997, S. 101 ff.). Informationen zur Geschichte der Entfernungsbestimmung mit Hilfe von Parallaxenmessungen finden sich in Hoskin (1997, S. 210 ff.).
- 5 Vgl. Gerlach (1961, S. 90).
- 6 Vgl. Hoskin (1997, S. 157).
- 7 Vgl. Newton (1687). Die zweite und dritte Auflage der *Principia*, die 1713 bzw. 1725 erschienen, enthielten detailliertere Berechnungen der Kometenbahnen.
- 8 Vgl. Hoskin (1997, S. 172).
- 9 Vgl. Cook (1998, S. 213).
- 10 Vgl. Hoskin (1997, S. 173).
- 11 Vgl. Wakefield (2005, S. 179).
- 12 Eine Analyse der Entdeckung und theoretischen Beschreibung des Halleyschen Kometen aus der Perspektive der von Cartwright vorgeschlagenen Variante der semantischen Theorienauffassung wird in Gähde (2008) vorgenommen; dort findet sich zugleich eine Erwiderung Cartwrights.
- 13 Vgl. Hoskin (1997, S. 172).
- 14 Eine notwendige (aber keineswegs hinreichende) Anforderung an eine vertretbare Deutung der Kuhnschen Inkommensurabilitätsthese scheint

- mir darin zu bestehen, dass sie mit derartigen erfolgreichen Datentransfers zwischen verschiedenen Paradigmen vereinbar sein muss.
- 15 So finden sich bereits in Aristoteles' *Meteorologie* (Buch I, 342b–346b) nähere Ausführungen zur Bewegung und auch zur Gestalt von Kometen; dabei geht er unter anderem ausführlich auf das Aussehen und die Ausrichtung von Kometenschweif ein.
 - 16 Bei Datenstrukturen handelt es sich um Substrukturen sog. potentieller Modelle; vgl. Balzer/Lauth/Zoubek (1993).
 - 17 Es wäre jedoch voreilig, daraus den Schluss zu ziehen, dass es sich bei der Objektmenge um einen theoretischen Term (im Hinblick auf die Newtonsche Theorie) handeln würde: Das würde – zumindest nach dem von Sneed angegebenen Kriterium – voraussetzen, dass die Objektmenge in *allen* Anwendungen der Theorie in theorieabhängiger Weise bestimmt würde; vgl. Sneed (1979, S. 33). Dagegen zeigt das Beispiel des Halleyschen Kometen nur, dass dies in mindestens einer intendierten Anwendung der Fall ist.
 - 18 Die Segmentierung des Beobachtungsintervalls wird durch verschiedene weitere Umstände verstärkt. So kann ein Komet selbstverständlich nicht beobachtet werden, solange er von der Sonne verdeckt wird; auch in unmittelbarer Sonnennähe ist die Beobachtung zumindest problematisch. Schließlich können nur sehr helle Kometen auch am Tag beobachtet werden.
 - 19 Formal kommt dieser Umstand darin zum Ausdruck, dass das in einer intendierten Anwendung auftretende Beobachtungsintervall durch ein einziges Intervall reeller Zahlen erfasst werden soll.
 - 20 Statt 'Beobachtungsintervall' müsste es genauer heißen ‚dasjenige Zeitintervall, für das Funktionswerte der nichttheoretischen Funktionen vorliegen‘.
 - 21 Vgl. Sneed(1979, S. 114 ff.).
 - 22 Diese Bemerkung ist mit einer vorsichtigen Einschränkung zu versehen: Auch in dem Fall, in dem die drei – vermeintlich verschiedenen – Objekte durch drei intendierte Anwendungen erfasst werden, müssen – strukturalistisch formuliert – ihre theoretischen Beschreibungen durch bestimmte Constraints verknüpft sein. So müssen insbesondere bei der theoretischen Beschreibung dieser drei Anwendungen der Sonne und den anderen Himmelskörpern selbstverständlich stets dieselben Massen zugeordnet werden.
 - 23 So vertrat etwa Tycho de Brahe eine Vorstellung vom Aufbau des Sonnensystems, die sich stark vom kopernikanischen System unterschied: Nach Tychos Auffassung bewegten sich Mond und Sonne um die Erde, während die übrigen Planeten Bahnen um die Sonne beschrieben; vgl. Hoskin (1997, S. 113).
 - 24 Der vorsichtige Zusatz ‚annähernd‘ wurde eingefügt um dem Umstand Rechnung zu tragen, dass Kometen bei jeder Annäherung an die Sonne Materie – und damit Masse – durch Ausgasung verlieren. Dieser Sachverhalt ist offenbar für diejenigen strukturalistischen Rekonstruktionen der klassischen Mechanik problematisch, die den Identitätsconstraints für die Massenfunktion bereits im Basiselement des zugehörigen Theorien-

Netzes berücksichtigen und damit dessen Geltung in allen Anwendungen der Theorie fordern.

25 Vgl. Hoskin (1997, S. 173).

26 Vgl. Gähde (2002).

27 Vgl. Kuhn (1969, dt. 1976, S. 66) in der deutschen Ausgabe.

28 Diese Aussage findet sich in der zweiten Ausgabe von Halleys posthum erschienenen *Tabulae Astronomicae*; vgl. Halley (1752).

Literatur

Balzer, Wolfgang, Lauth, Bernhard, Zoubek, Gerhard, 1993: A Model for Science Kinematics. In: *Studia Logica* 52, S. 519–548.

Cook, Alan, 1997: Edmond Halley. Charting the Heavens and the Seas. Oxford: Oxford University Press.

Gauly, Bardo Maria, 2004: Senecas Naturales Quaestiones: Naturphilosophie für die römische Kaiserzeit. In: *Zetemata. Monographien zur Klassischen Altertumswissenschaft*, Heft 122, München: Beck.

Gähde, Ulrich, 2002: Holism, Underdetermination, and the Dynamics of Empirical Theories. In: *Synthese* 130, S. 69–90.

Gähde, Ulrich, 2008: Nancy Cartwright on Theories, Models, and their Application to Reality: A Case Study. In: Hartmann, Stephan; Hofer, Carl; Bovens, Luc (Hg.): *Nancy Cartwright's Philosophy of Science*. New York: Routledge.

Gerlach, Walter, 1961: Johannes Kepler. Der Ethiker der Naturforschung. In: *Naturwissenschaften*, Vol. 48, S. 85–96.

Griesser, Markus, 1985: *Die Kometen im Spiegel der Zeiten*. Bern: Hallwag.

Halley, Edmond, 1752: *Astronomical tables with precepts both in English and in Latin for computing the places of the Sun, Moon, Planets, and Comets*. London.

Hoskin, Michael (Hg.), 1997: *Cambridge Illustrated History of Astronomy*. Cambridge: Cambridge University Press.

Kuhn, Thomas Samuel, 1970: *The Structure of Scientific Revolution*, 2nd ed., Chicago: The University of Chicago Press, deutsche Übersetzung, 1976: Die Struktur wissenschaftlicher Revolutionen, zweite und um das Postkriptum von 1969 ergänzte Auflage, Frankfurt: Suhrkamp.

Newton, Isaac, 1687: *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*. London.

- Sneed, Joseph. D., 1979: *The Logical Structure of Mathematical Physics*, second revised edition. Dordrecht:Reidel.
- Waiblinger, Franz Peter. 1977: Senecas Naturales Quaestiones. Griechische Wissenschaft und römische Form, Zetemata. *Monographien zur Klassischen Altertumswissenschaft*, Heft 70, München: Beck.
- Wakefield, Julie, 2005: *Halley's Quest. A Selfless Genius and his Troubled Paramore*. Washington: Joseph Henry Press.
- Zinner, Ernst, 1951: *Astronomie – Geschichte ihrer Probleme*. Freiburg und München, Karl Alber Verlag.

Dennis Lehmkuhl

On Time in Spacetime

Abstract

It is often claimed that relativity theory falls short of giving an account of ‘the flow of time’ and ‘the arrow of time’. Some claim that hence either one or both of these concepts do not correspond to objective reality, others infer that relativity theory is wrongfully ‘spatialising’ time. I investigate *how much* of our normal conception of time is enduring in relativity, even in the absence of a clear representation of flow. It is shown that the conformal structure of spacetime allows for a clear distinction between past, present and future, and that the class of temporally orientable spacetimes allows for an ‘arrow of time’. Finally, I briefly discuss the class of Friedmann universes, to which our universe seems to belong, and which is indeed temporally orientable.

Zusammenfassung

Es wird häufig behauptet, dass die Relativitätstheorie keine adäquate Beschreibung des ‚Zeitflusses‘ und des ‚Zeitpfeils‘ enthalte. Einige ziehen daraus die Schlussfolgerung, dass beiden Konzepten nichts in der objektiven Realität entspreche, andere ziehen den Schluss, dass die Relativitätstheorie die Zeit fälschlicherweise ‚verräumliche‘. Ich untersuche, *wie viel* von unserer altergebrachten Zeitvorstellung in der Relativitätstheorie überdauert, selbst in der Abwesenheit einer klaren Repräsentation von ‚Zeitfluss‘. Ich zeige, dass die konforme Struktur der Raumzeit eine klare Unterscheidung von Vergangenheit, Gegenwart und Zukunft erlaubt, und dass die Klasse der zeitlich orientierbaren Raumzeiten die Repräsentation einer ‚Zeitpfeils‘ durchaus erlaubt. Schließlich diskutiere ich kurz die Klasse der Friedmann Raumzeiten, zu welcher unser Universum zu gehören scheint, und welches tatsächlich zeitlich orientierbar ist.

Introduction

It has often been claimed that relativity theory (both special and general) would not measure up to giving an adequate account of time. In particu-

lar, it has been claimed that the unification of space and time to *spacetime* would 'spatialise' time, for two reasons: i) it does not offer a representation of the 'flow of time' (also called the 'passage of time') we seem to experience; ii) it does not offer a representation of an 'arrow of time'.

The first reason depends on the second in its characterisation but not vice versa. The 'flow of time' is often described by reference to an arrow of time: the 'now' is supposed to flow from past to future; what was future becomes now and then past, what was past always remains past. On the other hand, it is quite possible to believe in an arrow of time without believing into the objectivity of 'the flow of time'.

Let us look at the two alleged temporal inadequacies of relativity theory in turn. It is indeed true that the sense of a flow of time is not represented in the theory. Even worse, in so far as the idea of a flow of time rests on the idea of an objective 'now' that flows from past into future, special relativity speaks against the existence of such a flow in that it speaks against the existence of an objective now. For one of the first consequences derived from special relativity by Einstein (1905a), even before Minkowski (1908a) introduced the concept of spacetime, was the relativity of simultaneity, the fact that observers in different states of motion differ about what happens 'now'. And none of them is right, there is just no fact of the matter about which events are simultaneous to each other and which are not. Connected to that, there is no fact of the matter whether there is a particular *duration* between two events: observers in different states of motion will differ about how long ago it was that moon station alpha exploded. I, located on earth and sharing its relative velocity with respect to the moon, will say that it exploded 5 years ago. My brother, the fast traveling astronaut, will claim that it exploded 2 years ago. So I will say that the explosion of the moon station was already in the past 3 years ago, while he will disagree. And none of us is more right than the other.

This is strange, and it is understandable that it inspires fear about the end of the fundamentality of time. Those who feel this fear are not normally consoled by the fact that space does not fare much better: just like there is no objective fact about the duration between two events, there is also none about the spatial distance between them. I myself think that the University is but 2 km away from my house; my fast flying brother, again, disagrees and claims it is but 1.2 km. And yet again, none of us is more right than the other.

At first sight, it seems that all relativity theory offers us for consolation is that even though space and time lose their objective nature, this is not the end of objectivity as such: whereas spatial and temporal distances are observer-dependent, *spatiotemporal distances*, spacetime-distances, are the same for all observers, *they* are truly objective.

But there is more to say about time in the context of relativistic theories than the common focus on the questions of a ‘passage of time’ and an ‘arrow of time’ might lead one to think. I will argue that even in the absence of an account of passage and arrows, there is quite a bit of the old concept of time left in relativity theory. In particular, there is a good reason for speaking of spacetime, rather than of a 4-dimensional space. The reason is that the conformal structure of spacetime ensures that there is always a clear distinction between the three space-dimensions and the one time dimension, a difference that allows us to distinguish between past and future and causes and effects. This structure carries over to general relativity, albeit only locally, as every general relativistic spacetime locally has the properties of special relativistic Minkowski spacetime. Whereas special relativity describes exactly one possible universe, namely one in which we live in Minkowski spacetime, general relativity describes an infinity of possible universes, only one of which is ours (and we’re not even sure which). I will argue that it is indeed true that a generic general relativistic spacetime does not offer a continuous distinction between past and future, in a sense to be specified. However, I will argue that the spacetime in which we actually think we happen to live, a particular *Friedmann spacetime*, allows for such a distinction, and I point out which properties a spacetime has to have for this to be case.

Conformal structure and the signature of the metric

In relativity theory physical spacetime is represented by a pair $(M, g_{\mu\nu})$, where M is a manifold of events and $g_{\mu\nu}$ a metric tensor field that gives the spacetime-distances between each pair of events/points of the manifold. The main difference between special relativity theory (SR) and general relativity theory (GR) is that in SR $g_{\mu\nu}$ is the same at every point of spacetime, whereas it is a dynamical field capable of varying from point to point in GR. In both cases, however, $g_{\mu\nu}$ is defined uniquely:

even though there are different coordinate representations of $g_{\mu\nu}$ available, there is only one metric tensor.¹

Any metric tensor $g_{\mu\nu}$ defines a so-called *conformal structure* on the spacetime manifold M . Weyl (1921) was the first one to clearly distinguish conformal structure from metric structure, showing that the former is more fundamental than the latter: you can have a spacetime with conformal but no metric structure, but you cannot have a spacetime with a metric that does not also have conformal structure.

We will see that it is this structure which allows us to distinguish between past and future, cause and effect.

We speak of spacetime as being endowed with a *conformal structure*, if, for any point p of spacetime, there is a set of paths passing through p whose tangent vectors v^μ at p satisfy the equation

$$\bar{g}_{\mu\nu} v^\mu v^\nu = 0, \quad (1)$$

with $\bar{g}_{\mu\nu}$ being an invertible, symmetric second-rank tensor of Lorentzian signature.²

How are conformal structure $\bar{g}_{\mu\nu}$ and metric structure $g_{\mu\nu}$ related? Well, note that the definition of a conformal structure does not say that there needs to be *one* second-rank tensor $\bar{g}_{\mu\nu}$ defined for every point of spacetime. In fact, equation (1) holds for a whole *equivalence class of metrics*, even at the same point p . For if we have a particular metric $g_{\mu\nu}$ for which equation (1) holds, then the transformation $g_{\mu\nu} \rightarrow \lambda^2 g_{\mu\nu}$, where λ is an arbitrary smooth function, is a symmetry of equation (1); the metrics are said to be *conformally equivalent*.³

We will now see that in order to have an n -dimensional *spacetime*, in contrast to an n -dimensional *space*, it is enough to have a conformal structure defined on the manifold M .⁴

If we assume that the manifold M is four-dimensional, then the requirement for its conformal structure to be of *Lorentzian* signature (rather than of *Riemannian* signature) gives us *precisely* the distinction between a four-dimensional *space* and a four-dimensional *spacetime*.

Let us look at metric tensors in particular in order to understand what the signature of a tensor is and how it relates to the question of what time is in a spacetime setting; recall that a conformal structure $g_{\mu\nu}$ is nothing else but an equivalence class of metric tensors $\bar{g}_{\mu\nu}$.

For a metric tensor of *Riemannian* signature, the squared distance ds^2 between any two points is given by

$$ds^2 = +dw^2 + dx^2 + dy^2 + dz^2 := r_{\mu\nu} dx^\mu dx^\nu \quad (2)$$

where $r_{\mu\nu}$ is the metric tensor. The equation is the four-dimensional equivalent of Pythagoras' Theorem, $ds^2 = +dx^2 + dy^2$, which gives the squared distance between two points in a two-dimensional space (i. e., an ordinary surface). One says that the metric $r_{\mu\nu}$ in equation (2) has the signature $sign = (+ + +)$.

On the other hand, for a manifold endowed with a metric of *Lorentzian* signature, the squared distance between any two points is given by

$$ds^2 = +dx^2 + dy^2 + dz^2 - dt^2 := g_{\mu\nu} dx^\mu dx^\nu \quad (3)$$

We see that the metric $g_{\mu\nu}$ has the signature $sign = (+ + -)$, which is the defining property of a metric having a Lorentzian signature.⁵

Now, a metric or conformal structure of Lorentzian signature (and *only* those of Lorentzian signature) defined on the manifold determines a light cone structure in the tangent space of the manifold.

This works in the following way. If a conformal structure is defined on the manifold M , then we can classify the tangent vectors to each point p of M in the following way:

- A vector v^μ is called a *timelike* vector if $v^\mu v_\mu > 0$,
- A vector v^μ is called a *lightlike* vector if $v^\mu v_\mu = 0$,
- A vector v^μ is called a *spacelike* vector if $v^\mu v_\mu < 0$,
- A vector v^μ is called a *causal* vector if it is either timelike or lightlike.

This classification is only possible if a conformal structure is defined, for we need a $\bar{g}_{\mu\nu}$ in order to raise and lower indices; only then does it make sense to speak of v^μ and v_ν as the same object, distinguished merely by having an upper index in one case and a lower index in the other case.⁶

The classification of vectors above carries over to a classification of *curves*, i. e. paths in spacetime. The set of all smooth curves can be characterised in the following way:⁷

- A *timelike curve* has timelike tangent vectors at every point along the curve.
- A *lightlike curve* has lightlike tangent vectors at every point along the curve.
- A *spacelike curve* has spacelike tangent vectors at every point along the curve.
- A *causal curve* is either timelike or lightlike.

Three kinds of curves and what they represent

So far, this is all just mathematics: a conformal structure allows us to distinguish between three different kinds of vectors and hence curves. The crux lies in what these three kinds of curves are capable of representing in the real world. Lightlike vectors have the property that independently of the coordinate system chosen, the magnitude of their tangent vectors ($|v| = v^\mu v_\mu$) does not change (in fact if it were to change then the vector would not fulfil the definition of being a lightlike vector anymore, namely the demand that $|v| = 0$). Thus, given the postulate of special relativity that light has the same vacuum velocity in every coordinate system (every frame of reference), and given that vectors can represent velocities, lightlike vectors (or rather lightlike curves) are fit to represent the paths of light rays through spacetime. Correspondingly, the magnitude of a timelike vector changes depending on the reference system chosen; there are many different ways of fulfilling the condition that $|v|$ has to be greater than zero. Furthermore, the velocity of objects whose paths in spacetime can be represented by timelike curves is always less than the velocity of those represented by lightlike curves. For these two reasons, timelike curves are fit to describe the paths of observers and other material objects: they are always less fast than light, and the judgement of how fast they actually are depends on the coordinate system chosen. Finally and for the same reasons, spacelike curves are fit to represent hypothetical objects moving faster than light.

Objects moving faster than the speed of light, although not yet observed, do not violate the laws of relativistic physics. Rather, the only thing that is forbidden is that an object that moves with less than the speed of light could *ever* be accelerated to the speed of light or beyond. Similarly, no particle that ever moves faster than the speed of light could slow down to light speed or below; and no particle ever moving at light speed could decelerate to less than light speed or accelerate to more than light speed.

This already gives us half of the answer to the question of why the set consisting of all timelike curves and all lightlike curves of a given spacetime has been termed the set of *causal curves*. If we want to influence something at another spacetime point, we can only do so if we can send either a material signal (a massive particle, a canon ball) or a signal from our spacetime point to the events at the spacetime point we want

to influence. And given what was said above, all these curves lie either on the interior (timelike curves) or on the boundary (lightlike curves) of the light cone.⁸

What remains is the question of what distinguishes the backward light cone from the forward light cone. Traditionally, the forward light cone of a given spacetime point (which represents our position) is identified with all *future* events which we can have an influence on, whereas the backward light cone is identified with all those past events that have or might have influenced us. In both cases the reason is that causal curves connect us to all events in our forward and backward light cone, respectively. And indeed, it is only because of the fact that the light cone comes in two halves that we can even consider identifying one half with the causal future and one half with the causal past. But this only shows that light cone structure makes it *possible* to distinguish between past and future, not that the identification of the forward cone with the causal future and of the backward cone with the causal past is actually justified. In the next section, we will discuss necessary conditions which, if they are not fulfilled, amount to such a justification not being possible.

Temporal orientability of spacetimes and the nature of causality

We have seen that once we have a light cone structure in place at every point p of spacetime, we can distinguish between the forward cone and the backward cone of the light cone. In Minkowski spacetime, i. e. in special relativity, directions can be compared across all of spacetime, and all forward cones point in the same direction in spacetime. Thus, the light cone structure is capable of accounting for certain things we expect to hold in order to call something ‘the causally accessible future’. In particular, even though my astronaut brother and myself differ about which events are simultaneous to which (because we move relative to one another), we *do* to a large extent agree that we have a chance of meeting again ‘in the future’. In other words, there is always a joint point ‘in the future’, namely a future that we think is reachable for both of us. This joint future exists if both of our forward cones to contain partly the same spacetime points; his future cone and my future cone overlap.

The condition is fulfilled for Minkowski spacetime, but not for every possible general relativistic spacetime. More precisely, the set of spacetimes which are of the kind such that the forward cones of every point in spacetime overlap, so that we can agree that there is at least *some* ‘shared future’, is called the set of *temporally orientable spacetimes*. A necessary and sufficient condition for a spacetime to be temporally orientable is that there exists a smooth non-vanishing timelike vector field τ^μ on spacetime.⁹

It is only in temporally orientable spacetimes that the concept of a ‘shared future’ (and that of a ‘shared past’) for all different spacetime points (and thus different observers) can even be defined. Thus, in order to give an account of which past events *have or might have* influenced us, and which future events we *could* influence, we need a spacetime of the form $(M, \bar{g}_{\mu\nu}, \tau^\mu)$: a manifold with conformal structure that is temporally orientable.

This suggests that one could make the concept of a ‘shared future’ (and similarly that of a ‘shared past’) precise in the following way: Two points p and q of spacetime $(M, \bar{g}_{\mu\nu}, \tau^\mu)$ have a ‘shared future’ if their future light cones overlap to some extent. If we denote by C_p^f the set of all causal curves corresponding to the forward cone of a point $p \in (M, \bar{g}_{\mu\nu}, \tau^\mu)$, and by C_q^f the set of all causal curves corresponding to the forward cone of another point $q \in (M, \bar{g}_{\mu\nu}, \tau^\mu)$, then the two points p, q have a *shared future* if and only if $C_p^f \cap C_q^f \neq \emptyset$.¹⁰

The possibility of shared futures and pasts is a relation between two objects/observers. But we also need a time-orientable spacetime in order to be able to say that one person, by herself, has always been moving towards spacetime points which had been in her future before she encountered them. In a spacetime that is not temporally orientable, there is not in general a fact of the matter about whether a given spacetime point is in my future or in my past, for in such a spacetime a light cone could rotate when moving from spacetime point to spacetime point. What was my forward cone would then be my backward cone. In so far as my forward cone is supposed to represent my causal future, this would amount to my future becoming my past, while my past becomes my future. Either we bite the bullet and accept that this can happen in certain spacetimes, or we say that in spacetimes that are not temporally orientable the backward and forward light cone do not represent causal past and future, respectively, that in such spacetimes the distinc-

tion between past and future cannot be made globally. In this case and in such spacetimes, the distinction between past and future would be an entirely local phenomenon. However, since our lives are, in a sense, rather non-local phenomena in virtue of being *curves* from spacetime point to spacetime point, this would be rather disconcerting.¹¹

This discomfort can come in various strengths. It could be that I cannot really say whether a given spacetime point is in my future or in my past; but as long as I do not encounter it *twice*, I may be able to cope with this inability.

This requirement is formalised in the weakest of a hierarchy of *causality conditions*, and called *the chronology condition*. It demands of a spacetime that there are *no* smooth closed time-like curves between any two points. Thus, in a spacetime that abides by the chronology condition, I will not be able to pass the same spacetime point twice. Hence, in turn, in such a spacetime, classic time travel scenarios like Lewis [1976] imagining himself going back in time with a time machine and then telling himself how to build the time machine in the first place are not possible.¹²

What about *our* spacetime?

Every solution of Einstein's field equations describes a possible universe. We have strong reasons to believe that our universe corresponds to one of the so-called *Friedmann-Lemaître-Robertson-Walker spacetimes*, which I will call Friedmann spacetimes for short. The main reason for believing that we live in a Friedmann spacetime is Hubble's discovery of the redshift of the light from all galaxies we can observe; this redshift is interpreted as the galaxies 'moving away' from us, which in turn is interpreted as space expanding. Thus, according to this picture, we live in a universe that is spatially expanding in time; it is also assumed that the universe is spatially homogenous and isotropic at large scales, a combination of conditions often termed 'the cosmological principle'.

Some expanding universe theorists assumed that the expansion must have started from a finite size and then started to expand. It would be a bit like following an eagle back to when it was only an egg: it does not get smaller than that. Eddington and Lemaître in particular suggested

that the universe started as a static Einstein universe and then ‘decayed’ into an expanding universe.¹³ However, if we allow the expansion to go back in time until the beginning, we obtain a genuine singularity, which had long been thought to be a mathematical artifact.¹⁴ But the discovery of the cosmic microwave background, and in particular its immense uniformity, by Penzias and Wilson in 1965 convinced the community that the expansion going all the way back to the beginning of the universe was far more feasible than many had thought. Thus, the consensus is now that our universe is described by a Friedmann solution, i. e. is a spatially expanding, spatially homogenous and isotropic universe.

Now, it can be shown that a Friedmann spacetime is temporally orientable, that it accords to the chronology condition and has no closed timelike curves. Thus, it fulfills the conditions to be able to make a continuous, global distinction between past and future.

However, this does not mean that a Friedmann spacetime allows for a straightforward description of a ‘passage of time’ and/or an ‘arrow of time’. The ability to distinguish between past and future is perfectly compatible with rejecting the idea of a ‘now’ objectively moving from the past to the future.¹⁵

This is less than some might have hoped for. However, we have seen that even without a clear account of ‘passage’, there is a clear distinction between a four-dimensional *space* and a four-dimensional *spacetime*: a distinction between past and future, either locally or even globally, depending on the kind of spacetime. Furthermore, we have seen that it is only in temporally orientable spacetimes like a Friedmann spacetime that we can give a straightforward account of things that we can influence in the future and that might have influenced us in the past. Given all this, I do not miss an account of passage that much. And for those who do I say: a bird in the hand is worth more than two in the bush.

Notes

- 1 SR and GR differ in this respect from other spacetime theories like Rosen’s bimetric theory and Brans-Dicke theory, in which two metric tensors, respectively, are defined. See Rosen (1973), Brans and Dicke (1961) and Dicke (1962) for some of the original articles and Will (1993) for a comparison of different alternative spacetime theories with GR and SR. The uniqueness of $g_{\mu\nu}$ in SR and GR is obtained by demanding that the metric

- be compatible with the connection $\Gamma^{\nu}_{\mu\sigma}$, i.e. with the affine structure of spacetime. See Wald (1984) for details.
- 2 ‘Invertible’ means that there is a to every $\bar{g}^{\mu\nu}$ such that $\bar{g}_{\mu\nu}\bar{g}^{\mu\nu} = 1$; ‘symmetric’ means that $\bar{g}_{\mu\nu} = \bar{g}_{\nu\mu}$; ‘second-rank tensor’ means that $\bar{g}_{\mu\nu}$ is a multilinear map $\bar{g}_{\mu\nu} : V_p \times V_p \rightarrow \mathbb{R}$ where V_p is the tangent space defined at a point p and \mathbb{R} the set of real numbers; what ‘Lorentzian signature’ means will be described below.
 - 3 Since for any member of the equivalence class the length of a vector is given by $l = \sqrt{\bar{g}_{\mu\nu}v^{\mu}v^{\nu}}$, a conformal structure does not distinguish between vectors with different lengths but identical direction. However, it gives an account of the *relative* length of two vectors at a point, and of the angles between them.
 - 4 But of course, given that having metric structure implies having conformal structure, everything we say below applies to a general relativistic spacetime $(M, g_{\mu\nu})$ as well (alongside the bigger class of spacetime theories in which we have *only* conformal structure defined on M).
 - 5 In general a Lorentzian metric for a manifold of dimension n has signature $sign = (n - 1, 1)$, where $n - 1$ is the number of plus-signs, 1 the number of minus-signs.
 - 6 This slightly vague statement has a precise counterpart: The tangent space V_p at the point p and the dual tangent space V_p^* , with their elements $v^{\mu} \in V_p$ and $v_{\mu} \in V_p^*$ have a unique isomorphism between them only if a conformal structure $\bar{g}_{\mu\nu}$ is defined on the manifold. Thus it is only in this case that there is a unique vector (v^{μ}) associated to every dual vector (v_{μ}); which allows us to identify them (‘call them by the same name’).
 - 7 A *curve* in spacetime representing the worldline of an observer is defined to be a map $C : \mathbb{R} \rightarrow M$. If the curve is a *smooth* one, then the map is C^{inf} differentiable.
 - 8 See Weinstein (2006) for an analysis of the question of whether superluminal signalling is possible, and what it would actually amount to.
 - 9 Compare Wald (1984), p. 189-9, and Malament (2012), p. 131.
 - 10 A ‘shared past’ is defined similarly.
 - 11 See e.g. Hawking and Ellis (1973), section 6.4, for concrete examples of spacetimes that are not temporally orientable.
 - 12 See Earman et al. (2009) and Smeenk and Wüthrich (2011) for detailed discussions of closed time-like curves and discussions of the possibility or impossibility of time travel in the context of GR; and see Hawking and Ellis (1973), section 6.4, Wald (1984), chapter 8, and Malament (2012), section 2.2 for more and stronger causality conditions.
 - 13 See Smeenk [forthcoming], especially p. 26, for more on this.
 - 14 This point of view was overthrown by the singularity theorem by Geroch, Hawking and Penrose, which show that singularities are a genuine feature of GR. See Earman (1995) for a conceptual analysis.
 - 15 Some philosophers hope that a Friedmann spacetime would allow for an account of passage that solves the problems encountered in Minkowski spacetime. But see Bourne (2004) for a critical analysis of these claims.

References

- Bourne, C. , 2004: Becoming inflated. In: *British Journal for the Philosophy of Science* 55(1), 107–119.
- Brans, Carl H., and Dicke, Robert H., 1961: Mach's principle and a relativistic theory of gravitation. In: *Physical Review* 124(3), 925–935.
- Dicke, Robert H., 1962: Mach's principle and invariance under transformation of units. In: *Physical Review* 125(6), 2163–2167.
- Earman, John, 1995: *Bangs, Crunches, Whimpers, and Shrieks: Singularities and acausalities in relativistic spacetimes*. Oxford: Oxford University Press.
- Earman, John, Smeenk, Chris and Wüthrich, Chris, 2009: Do the laws of physics forbid the operation of time machines? In: *Synthese* 169(1), 91–124.
- Einstein, Albert, 1905: Zur Elektrodynamik bewegter Körper. In: *Annalen der Physik* 17, 891–921. Reprinted as Document 23, of Volume 2, Collected Papers of Albert Einstein.
- Hawking, Stephen and Ellis, George, 1973: *The Large Scale Structure of Space-Time*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Lewis, David, 1976: The paradoxes of time travel. In: *American Philosophical Quarterly* 13(2), 145–152.
- Malament, David, 2012: *Topics in the Foundations of General Relativity and Newtonian Gravitation Theory*. Chicago: University of Chicago Press.
- Minkowski, Hermann, 1908: Raum und Zeit, *Talk given at the 80th Tagung deutscher Naturforscher und Ärzte in Cologne, 21.9.1908*. Reprinted in Lorentz, Einstein, Minkowski 1982.
- Rosen, Nathan, 1973: A bi-metric theory of gravitation. In: *General Relativity and Gravitation* 4(6), 435–447.
- Smeenk, Chris, forthcoming: Einstein's role in the creation of relativistic cosmology. In: M. Janssen and C. Lehner (eds): *The Cambridge Companion to Einstein*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Smeenk, Chris and Wüthrich, Chris, forthcoming: Time travel and time machines. In: *The Oxford Handbook on Time*. Oxford: Oxford University Press.
- Wald, Robert M., 1984: *General Relativity*. Chicago: University of Chicago Press.

- Weinstein, Steven, 2006: Superluminal signaling and relativity. In: *Synthese* 148(2), 381–399.
- Weyl, Hermann, 1921: Zur Infinitesimalgeometrie: Einordnung der projektiven und konformen Auffassung. In: *Nachrichten der Königlichen Gesellschaft der Wissenschaften zu Göttingen, Mathematisch-Physikalische Klasse*, 99–112.
- Will, Clifford M, 1993: *Theory and Experiment in Gravitational Physics*. Cambridge: Cambridge University Press.

Gerhard Vollmer

Gretchenfragen an den Naturalisten

Zusammenfassung

Eine philosophische Haltung kann man auf verschiedene Weisen charakterisieren. Hier versuchen wir zu sagen, wie der Naturalist auf bestimmte *Kernfragen* antwortet. Die Fragen stammen aus sehr verschiedenen Gebieten; das Themenspektrum ist deshalb recht bunt. Es gibt aber durchaus Ordnungsgesichtspunkte: Wir beginnen mit (Fragen zu) eher abstrakten Gegenständen wie Logik, Mathematik, Metaphysik, kommen dann zu Problemen des Realismus. Und da Naturalisten im Allgemeinen Realisten sind, werden die anschließenden Fragen über Wahrheit, Naturgesetze, Weltentstehung, Kosmologie, Evolution, Leib-Seele-Problem, Willensfreiheit, Religion, Moral und Pseudowissenschaften vor einem realistischen Hintergrund beantwortet.

Abstract

A philosophical position may be characterized in different ways. Here we try to say how the naturalist answers certain *crucial questions*. The questions come from very different areas; the spectrum of subjects is therefore quite mixed. There are, however, aspects of order: We start with (questions about) abstract subjects like logic, mathematics, metaphysics, then turn to problems of realism. And since in general naturalists are realists, the following questions on truth, laws of nature, origin of the universe, cosmology, evolution, body-mind-problem, freedom of the will, religion, moral, and pseudoscience, are answered against a realistic background.

Eine Art Einleitung

Eine philosophische Haltung kann man auf verschiedene Weisen kennzeichnen: Man kann ihre *Hauptthesen* vorstellen; man kann sie über die Behauptungen charakterisieren, die sie *verneint*, insbesondere darüber, wie sie einer bis dahin weithin vertretenen Auffassung widerspricht; man kann – mit etwas mehr Aufwand – zu einem philosophischen Problem ein *Spektrum* von möglichen Antworten auffächern und deutlich

machen, wo die fragliche Haltung in diesem Spektrum steht. Manchmal lässt sich ein bezeichnendes *Schlagwort* formulieren, beim Naturalismus etwa die These, überall in der Welt gehe es mit rechten Dingen zu. Die hier genannten Möglichkeiten sind weder vollständig noch schließen sie einander aus; viel eher können sie einander ergänzen.

Ich habe schon einmal versucht, den philosophischen Naturalismus über zwölf Thesen zu charakterisieren, die mir wichtig schienen.¹ Im Folgenden wähle ich einen anderen Weg: Ich versuche zu sagen, wie der Naturalist auf bestimmte *Kernfragen* antwortet. Es sind Fragen, auf die auch ganz andere Antworten möglich sind und vertreten werden.

Das Spiel mit Frage und Antwort könnte an einen Katechismus erinnern, wie ihn die christlichen Kirchen und andere Religionen zusammenstellen, um allen Interessierten, gläubigen wie ungläubigen, einen Einblick in die Grundzüge des jeweiligen Glaubens zu geben. Tatsächlich bin ich versucht, beim vorliegenden Text von einem „Katechismus des Naturalisten“ zu sprechen – wie es ja auch einen Atheismus-Katechismus gibt.² Ich fürchte jedoch, dass man die versteckte Ironie nicht gleich bemerkt oder zwar bemerkt, aber übelnimmt. Der Naturalist ist nämlich ungläubig, in religiöser Hinsicht also entweder Agnostiker oder Atheist, und da wäre es ja doch paradox, wenn man ausgerechnet für seine Haltung einen Katechismus zusammenstellen wollte. Auch sagt ein Katechismus zwar nicht jeder Leserin, wohl aber jedem Gläubigen, was er als Mitglied der jeweiligen Religionsgemeinschaft zu glauben hat. Diese Haltung widerspricht dem naturalistischen Ansatz in doppelter Weise: Erstens geht der Naturalist im Allgemeinen von der Fehlbarkeit und Vorläufigkeit unseres Wissens aus, was Religionen nicht tun. Deshalb und zweitens widerstrebt es dem Naturalisten, anderen Menschen bestimmte Überzeugungen aufdrängen zu wollen. So habe ich mich für die „Gretchenfragen“ entschieden; auch sie weisen immer noch eine gewisse Ironie auf, da sie ja im Original nach Fausts *religiösen* Überzeugungen fragen.

Genau genommen gibt es – schon in Goethes Faust – *zwei* Gretchenfragen: „Wie hast du’s mit der Religion?“ (Zeile 3415) und etwas später und genauer „Glaubst du an Gott?“ (Zeile 3426). In beiden Fällen antwortet Faust ausweichend, um Gretchen nicht zu verlieren. Auch im folgenden Text werden diese beiden Fragen (unter *Religion*) getrennt gestellt und beantwortet. Doch haben wir es zum Glück nicht nötig, unsere Meinung wortreich zu verbergen. Vielmehr geht es uns gerade

darum, auf klare Fragen – notfalls auch auf unklare Fragen – klare Antworten zu geben.

Vorgestellt werden die üblichen Antworten von Naturalisten, manchmal auch mögliche Alternativen. Aber natürlich sind sich Naturalisten nicht in allen Fragen einig. Dargestellt wird also letztlich der Naturalismus des Autors – allerdings in der Hoffnung, dabei den Auffassungen vieler weiterer Naturalisten gerecht zu werden.

Wie soll man den Text lesen? Am besten natürlich von Anfang bis Ende, durchaus aber auch so, dass man den Text überfliegt und bei jenen Fragen weiterliest, welche die Neugier wecken. Um das Überfliegen zu erleichtern, sind im Folgenden alle Themen und Fragen zusammengestellt.

1. *Abstrakte Gegenstände: Logik, Mathematik, Metaphysik*
 - 1.1 Was ist die Natur der Logik?
 - 1.2 Was ist die Natur der Mathematik?
 - 1.3 Das Anwendungsproblem: Wieso taugt die Mathematik (so gut) zur Beschreibung unserer Welt?
 - 1.4 Was ist Metaphysik? Brauchen wir sie?
2. *Probleme des Realismus*
 - 2.1 Ontologischer, erkenntnistheoretischer oder methodologischer Realismus?
 - 2.2 Was ist für den Naturalisten Wahrheit?
3. *Der Aufbau der Welt*
 - 3.1 Was sind Naturgesetze?
 - 3.2 Warum gelten Naturgesetze?
 - 3.3 Ist die Welt deterministisch? Gibt es Zufall?
4. *Kosmologie*
 - 4.1 Wie ist die Welt entstanden?
 - 4.2 Gibt es für den Urknall ein Vorher?
 - 4.3 Ist die Welt unendlich?
 - 4.4 Wie steht der Naturalist zum anthropischen Prinzip?
 - 4.5 Gibt es Mehrfachwelten?
5. *Evolution*
 - 5.1 Welche Rolle spielt die Evolution?
 - 5.2 Was ist und wie entsteht Komplexität?
 - 5.3 Gibt es Emergenz? Stellt das den Reduktionismus in Frage?
 - 5.4 Wie ist das Leben entstanden?

- 5.5 Wie entstand der Mensch?
- 5.6 Entstehung der Sprache
- 5.7 Wie erklären wir Zweckmäßigkeit in der Natur? Teleologie oder Teleonomie?
- 5.8 Hat das Universum, das Leben, der Mensch, die Evolution, die Geschichte einen Sinn?
- 6. *Leib-Seele-Problem*
- 6.1 Wie steht der Naturalist zum Leib-Seele-Problem?
- 6.2 Gibt es eine unsterbliche Seele?
- 6.3 Gibt es Zombies?
- 6.4 Wie ist das Bewusstsein entstanden?
- 6.5 Gibt es außerirdisches Leben, außerirdische Intelligenz?
- 6.6 Gibt es Künstliche Intelligenz? Kann es sie geben?
- 6.7 Ist der Mensch dem Computer, allgemeiner jeder Maschine überlegen?
- 7. *Willensfreiheit*
- 7.1 Hätte ich auch anders handeln können?
- 7.2 Wenn nein: Kann der Determinist dann überhaupt noch von Willensfreiheit reden?
- 7.3 Was ist dann Verantwortung?
- 7.4 Kann man dann noch strafen?
- 8. *Religion*
- 8.1 Wie hast du's mit der Religion? (Gretchenfrage 1)
- 8.2 Glaubst du an Gott? (Gretchenfrage 2)
- 8.3 Gibt es einen schlüssigen Gottesbeweis?
- 8.4 Agnostizismus oder Atheismus?
- 8.5 Religiöse Erlebnisse – was ist davon zu halten?
- 8.6 Gibt es Engel, Teufel, Dämonen, Gespenster, Geister?
- 8.7 Gibt es Wunder?
- 9. *Moral*
- 9.1 Ist eine naturalistische Moralbegründung möglich?
- 9.2 Bausteine einer naturalistischen Moralbegründung
- 9.3 Evolutionäre Ethik
- 10. *Para- und Pseudowissenschaften*
- 10.1 Parapsychologische Phänomene und Theorien – was ist dran?
- 10.2 Typische Kandidaten für Pseudowissenschaften

1 Abstrakte Gegenstände: Logik, Mathematik, Metaphysik

1.1 Was ist die Natur der Logik?

Der Begriff *Logik* wird sehr unterschiedlich gebraucht. In einem recht weiten Sinne meint man damit nicht mehr als *Struktur* oder als *argumentative Struktur*. Wir halten uns jedoch an die engere Bedeutung; danach ist Logik die *Lehre vom korrekten Schließen*. Sie ist eine Strukturwissenschaft, die mit Sprache und Denken, vor allem aber mit Argumentieren zu tun hat.

Enthält die Logik *empirische* Elemente? Im Allgemeinen wird diese Frage verneint, und es gilt als das große Verdienst von Gottlob Frege (1848–1925), die Logik von aller Psychologie und damit vom Psychologismus befreit zu haben. Die Regeln der Logik gelten dann als konventionell, als unbewusste Vereinbarungen, zu denen es – mindestens im Prinzip – Alternativen geben könnte.

Aber auch dann – und gerade dann – lässt sich sinnvoll fragen, warum sich Menschen gerade auf diese Regeln geeinigt haben und warum sie mit diesen Regeln erfolgreich waren. Die Fragen nach Erklärung und Begründung der logischen Regeln ist also auch dann berechtigt, wenn es sich dabei um Konventionen handelt. Ebenfalls berechtigt wäre die Frage, ob diese Konventionen sich in unserem Erbgut niedergeschlagen haben. An der Möglichkeit, die Logik als formales System aufzufassen, ändert sich dadurch natürlich nichts.

Was also ist die Natur der logischen Gesetze? Wir unterscheiden drei Auffassungen: Ontologik (logische Gesetze als allgemeinste Naturgesetze), Psychologik (logische Gesetze als Denkgesetze im deskriptiven oder im normativen Sinne) und Glossologik (Logik als Struktur argumentativer Sprachen). Auf den ersten Blick kommen für den Naturalisten alle drei in Frage. Die berechtigte Kritik an den beiden ersten, die wir hier nicht wiedergeben, lässt uns jedoch die dritte bevorzugen.

Einen naturgesetzlichen, psychologischen oder moralischen Zwang zur Logik allgemein oder zu einer bestimmten Logik gibt es anscheinend nicht. Warum also sollen wir logisch denken, warum korrekt schließen, warum widerspruchsfrei argumentieren? Die einzige befriedigende Antwort lautet: Weil wir dann besser leben! Wie aber kommt es dann, dass wir mit unserer üblichen Logik besser leben als

mit einer anderen und auch besser als ganz ohne Logik? Darauf gibt es zwei mögliche Antworten: Entweder leben wir besser, weil unsere *Mitmenschen* ebenso denken und wir uns dadurch leichter verständigen und einigen können. Oder wir leben besser, weil wir dadurch mit unserer *nichtmenschlichen Umwelt* besser zurechtkommen. Die beiden Möglichkeiten schließen einander nicht aus: Es könnte sein, dass alle Menschen ähnlich denken, nicht weil es ihnen jemand vorgeschrieben hat oder weil sie sich darauf geeinigt haben, sondern weil mit dieser Art zu schließen alle Menschen ihre Umwelt gemeinsam besser bewältigen.

So können wir die *Logik als die Struktur beschreibender und argumentativer Sprachen* auffassen. In dieser Deutung würden wir von *Glossologie* sprechen (nach dem griechischen Wort *glossa, Sprache*). Ein Motiv für die Verwendung dieser Logik liegt dann darin, dass wir in einer logisch strukturierten Sprache Welt beschreiben können, dass wir diskutieren, Zweifel äußern, nein sagen, Alternativen erwägen, Folgerungen ziehen und Annahmen aus ihren Folgerungen widerlegen können. Mit diesen Forderungen kann man immerhin eine *Minimallogik* gewinnen.³

Eine solche Begründung der Logik ist allerdings nur eine relative: Als Voraussetzung hat sie den Wunsch, in einer bestimmten Weise miteinander umzugehen, insbesondere miteinander zu diskutieren und dabei Argumente gelten zu lassen. Jemanden, der diesen Wunsch gar nicht hat, kann man nicht zwingen, zu reden oder zu diskutieren, also auch nicht zwingen, die logischen Schlussregeln anzuerkennen. Wer sich aber verständlich machen möchte, braucht Sprache. Wer darüber hinaus argumentieren möchte, braucht Logik.

1.2 Was ist die Natur der Mathematik?

Historisch wird Mathematik mit zunehmender Abstraktion als Wissenschaft von Raum, Zahl, Menge, Struktur aufgefasst. Mathematik hat zwar einen realistischen Hintergrund; nicht zufällig bedeutet ‚Geometrie‘ ja ‚Erdvermessung‘. Im modernen Sinne ist sie jedoch weder eine Geistes- noch eine Naturwissenschaft, sondern eine *Strukturwissenschaft* wie Logik, theoretische Informatik, Theorie formaler Sprachen, Kybernetik, Systemtheorie, Algorithmentheorie. Sie sagt uns nichts

über die Welt, sondern entwirft Strukturen, die bei der Beschreibung der Welt hilfreich sein können.

In den Naturwissenschaften gehören zu den Strukturen reale Objekte und ihre Wechselwirkungen. Der Strukturbegriff in der Mathematik ist jedoch gänzlich abstrakt. Er umfasst alle Arten von Beziehungen zwischen den Elementen eines abstrakten Systems. Um sie mit realen Strukturen in Beziehung zu setzen, bedarf es entsprechender Zuordnungen, also zusätzlich einer *Interpretation* der abstrakten Begriffe.

Zur Philosophie der Mathematik gehören einige typische Probleme:

– *Was ist die Natur, genauer die Existenzweise mathematischer Objekte, etwa von Zahlen?*

Wir unterscheiden fünf Positionen:

(1) *Platonismus* (Platon): Die Objekte der Mathematik existieren in einem eigenen, von der materiellen Welt unabhängigen Reich wie die platonischen Ideen. Sie werden dort von uns *entdeckt*. Der Platonismus ist zwar bequem, wird aber für die Mathematik nur noch von wenigen vertreten. Ein Problem dabei ist, ob in diesem Ideenhimmel auch widersprüchliche Konzepte, Aussagen oder Theorien beheimatet sein können. Es ist sogar äußerst fraglich, ob man dort *Unendliches* unterbringen kann, unendliche Mengen etwa oder sämtliche Stellen der Dezimalbruchentwicklung der irrationalen Kreiszahl π . Ein weiteres Problem ist, ob alle Menschen in gleicher Weise fähig sind, diese Ideen zu schauen. Angesichts sehr unterschiedlicher Mathematikbegabungen neigen wir dazu, diese Frage zu verneinen. Aber woher wissen wir dann, ob jemand über die von ihm beanspruchte Ideenschau auch wirklich verfügt?

(2) *Logizismus* (Gottfried Wilhelm Leibniz, Gottlob Frege, Bertrand Russell, Rudolf Carnap): Mathematik kann und soll auf die Logik zurückgeführt, reduziert werden. Dieses Programm hat interessante, zum Teil durchaus unerwartete Ergebnisse hervorgebracht, insbesondere die Rückführbarkeit aller üblichen Zahlensysteme auf die Theorie der natürlichen Zahlen. Es ist aber nachweislich nicht gänzlich durchführbar. Vertretbar ist also allenfalls der Standpunkt „so reduktionistisch wie möglich“.

(3) *Formalismus* (David Hilbert): Ein mathematisches Gebilde existiert, wenn es im Rahmen einer vorliegenden Theorie widerspruchsfrei angenommen werden kann. Dieser Existenzbegriff hat nichts mit der

Existenz realer Objekte zu tun: Reale (oder konkrete) Objekte haben physikalische Eigenschaften, in allen Fällen Energie, häufig auch Masse, Entropie, Ladung, Geschwindigkeit. Viele Mathematiker sind – wenn sie sich über Grundlagenprobleme überhaupt Gedanken machen und über ihre Meinung Auskunft geben können – Formalisten, in der Regel aus Tradition und Bequemlichkeit; doch lässt sich etwa die Widerspruchsfreiheit der Mathematik – entgegen Hilberts Hoffnung – über den formalistischen Ansatz nicht beweisen.

(4) *Intuitionismus* (Luitzen E. J. Brouwer, Arend Heyting), *Konstruktivismus* (Paul Lorenzen, Errett Bishop, Rudolf Taschner): Ein mathematisches Gebilde existiert, wenn es über schlüssige Argumentationsschritte *konstruiert* werden kann. Solche Konstruktionen sind aber nur für endliche Gebilde durchführbar. Der Intuitionist muss deshalb auf einige mathematische Sätze verzichten, insbesondere auf solche, die nur über indirekte Beweise gesichert werden können.

(5) *Konzeptualismus* (Ebbinghaus): Die Gegenstände der Mathematik sind abstrakte Konzepte. Sie entwickeln sich in langen geistesgeschichtlichen Prozessen, werden von Mathematikern durch Diskussion ausgeformt, bis sie einheitlich benutzt werden, und können dann weiter untersucht werden. Hier wird also die Rolle der Wissenschafts- und Begriffsgeschichte besonders betont.⁴

Naturalisten sind sich hier nicht einig. Die Standardposition – nicht nur der Naturalisten, sondern wohl der meisten Mathematiker – ist der *Formalismus*: Mathematische Objekte sind abstrakte Objekte, die zunächst mit der realen Welt nichts zu tun haben. Mathematische Strukturen (Zahlen, Dreiecke, Funktionen und ihre Eigenschaften) werden nicht entdeckt, sondern *erfunden*; sie sind Fiktionen. Hat man aber einige Objekte erfunden und einige ihrer Eigenschaften sprachlich charakterisiert, so kann man durch logische Ableitung *entdecken*, welche Eigenschaften sie außerdem noch haben.

– *Gibt es Unendliches in der Mathematik und in welchem Sinne?*

Das potenziell Unendliche ist unproblematisch: Es gibt keine größte Zahl und keine andersartige Grenze, über die hinaus man nicht zählen könnte. Im Hinblick auf das aktual Unendliche herrscht dagegen Uneinigkeit. Es leuchtet ein, dass man vom Endlichen nicht durch eine endliche Zahl von Operationen zum Unendlichen kommt. Deshalb lehnen die Intuitionisten das aktual Unendliche völlig ab. Die Forma-

listen haben dagegen keine Hemmungen, beispielsweise die Existenz einer unendlichen Menge axiomatisch zu fordern, wobei Widersprüche, insbesondere Antinomien, natürlich vermieden werden müssen. Allerdings hat sich gezeigt, hat insbesondere Kurt Gödel 1931 nachgewiesen, dass solche Widerspruchsfreiheit nicht für die gesamte Mathematik bewiesen werden kann.

Mit dem Naturalismus, der die Mathematik als Strukturwissenschaft begreift, sind beide Positionen vereinbar. Der Naturalist steht also im mittelalterlichen Universalienstreit (Welchen Status haben Allgemeinbegriffe?) eindeutig auf der Seite der *Nominalisten*: Allgemeinbegriffe sind Abstraktionen; sie haben keine reale Existenz.

Mit der Frage nach der raumzeitlichen *Unendlichkeit der Welt* hat das Unendliche in der Mathematik zunächst nichts zu tun. (Dazu auch Kap. 4.3.) Es leuchtet aber sofort ein, dass der Kosmologe dankbar ist, wenn ihm der Mathematiker Theorien des Unendlichen als Werk- und Denkzeug zur Verfügung stellt.

– *Welchen ontologischen Status hat die Cyberwelt?*

Die Cyberwelt ist nicht real, sondern ein Konstrukt. (In dem gleichbedeutenden Ausdruck *virtuelle Welt* ist das von vornherein deutlich.) Materie und Energie spielen dort keine wesentliche Rolle, wohl aber der Informationsaspekt. Dasselbe gilt für den Cyberspace, der natürlich mit dem physikalischen Raum nichts zu tun hat. Dass jemand sich in die Fiktionen der Cyberwelt so hineinversetzen kann, *als ob sie real wären*, was Vorteile und Nachteile hat, ist ein psychologischer Befund.

Es gibt allerdings Autoren, welche nicht nur Materie und Energie, sondern auch Information ontologisch deuten, Edward Fredkin etwa, William Poundstone oder Stephen Wolfram (und wohl auch Carl Friedrich von Weizsäcker in seiner Ur-Theorie). Alle stützen sich auf die Theorie der zellulären Automaten und dort vorzugsweise auf John Conways „Spiel des Lebens“. Aber natürlich muss man unterscheiden zwischen bloßen Regeln, nach denen Veränderungen ablaufen, und den realen Objekten, auf welche diese Regeln angewandt werden.

1.3 *Das Anwendungsproblem: Wieso taugt die Mathematik (so gut) zur Beschreibung unserer Welt?*

Die Mathematik ist eine Strukturwissenschaft: Sie schafft und untersucht Strukturen, keine Dinge. Nach dem ontologischen Realismus (s. Kap. 2.1) ist die reale Welt strukturiert. Die exakten Naturwissenschaften, beginnend mit Pythagoras, versuchen, die von der Mathematik entworfenen und untersuchten Strukturen zur Beschreibung der Welt anzuwenden. Dazu geben sie den abstrakten Termen der mathematischen Theorie reale Interpretationen. Voraussetzung ist, dass die Natur bei aller Komplexität auch *einfache* Strukturen aufweist, die sich vergleichsweise leicht durchschauen lassen. Eine Garantie, dass dies immer gelingt, gab es weder damals noch heute. Doch war dieser Ansatz seit Pythagoras, spätestens aber seit Newton, so erfolgreich, dass wir wohl nie aufhören werden, ihn zu verfolgen.⁵

Genauer könnte man auch fragen: Wieso sind *wir Menschen* fähig, Mathematik zu betreiben und anzuwenden? Für den Naturalisten sind die meisten Fähigkeiten des Menschen Ergebnisse der biologischen Evolution. Allerdings ist die Mathematik als wissenschaftliche Disziplin erst einige Jahrtausende alt. Diese Zeitspanne reicht nicht aus, um über die natürliche Auslese *spezielle* mathematische Fähigkeiten auszubilden. Wir besitzen jedoch zahlreiche *allgemeine* Fähigkeiten wie Sprechen, Abstrahieren, Verallgemeinern, Begriffe bilden, die *in ihrer Gesamtheit* – neben vielem anderen – auch mathematisches Denken ermöglichen. Diese Fähigkeiten sind nicht bei allen Menschen gleich gut entwickelt. Es ist deshalb kein Wunder, dass nicht alle Menschen Mathematiker sind oder werden möchten. Angesichts der Verschiedenheit der Menschen ist das nicht anders zu erwarten.

1.4 *Was ist Metaphysik? Brauchen wir sie?*

Metaphysik ist die Lehre von den ersten und den letzten Dingen. Sie befasst sich mit Gegenständen, die der Erfahrung nicht zugänglich sind, die also jenseits aller möglichen Erfahrung liegen. Sie ist transempirisch, aber nicht notwendig transrational.

Auch für den Naturalisten ist Metaphysik unverzichtbar; schon der ontologische Realismus, den er in der Regel vertritt (vgl. Kap. 2.1), ist

eine metaphysische Hypothese. Da wir jedoch an wahren Aussagen interessiert sind und Irrtümer aufdecken und beseitigen möchten, bevorzugen wir prüfbar oder wenigstens kritisierbare Aussagen. Deshalb gilt: So wenig Metaphysik wie möglich! Der Naturalist vertritt also eine Minimalmetaphysik oder – deutlicher – ein Minimierungsprogramm.

Wir unterscheiden gute (kritisierbare) und schlechte (unkritisierbare, dogmatische) Metaphysik.⁶ Man kann mit Hilfe dieser Alternative ein ganzes Spektrum von Metaphysiken aufspannen: Je klarer und durchsichtiger ein metaphysisches System ist, desto besser ist es kritisierbar und desto leichter kann sich der Naturalist damit anfreunden. Der ontologische Realismus (es gibt eine reale Welt; dazu Kap. 2.1) ist zwar letztlich metaphysisch, weil nicht empirisch prüfbar; er ist aber sehr wohl kritisierbar: Ich könnte eines Morgens aufwachen und den Eindruck haben, ich sei ganz allein auf der Welt, könnte sogar alle realen Gegenstände für Halluzinationen halten. Vermutlich würde ich mich dabei nicht besonders wohlfühlen; vielleicht würde ich sogar in eine psychiatrische Anstalt gesteckt; aber all das würde mich nicht argumentativ zwingen, meine solipsistische Position aufzugeben. Es sind also Erfahrungen *denkbar*, die meinen metaphysischen Realismus in Frage stellen. In diesem Sinne gehört der Realismus zur guten Metaphysik.

2. Probleme des Realismus

2.1 *Ontologischer, erkenntnistheoretischer, methodologischer Realismus*

Der Naturalist ist im Allgemeinen auch *Realist*. Entsprechend der üblichen Einteilung in Ontologie (Wie ist die Welt aufgebaut?), Erkenntnistheorie (Was können wir darüber wissen?) und Methodologie (Wie erlangen wir solches Wissen?) unterscheiden wir im Folgenden (a) ontologischen, (b) erkenntnistheoretischen und (c) methodologischen Realismus. Der Naturalist ist in der Regel Realist in allen drei Hinsichten. Hier besteht jedoch keine Einigkeit: Auch viele Konstruktivisten sind zwar keine Realisten, würden sich aber durchaus als Naturalisten bezeichnen. Und viele anerkennen und benützen die naturalistische *Methode*, sind also methodologisch gesehen Realisten, legen sich aber ontologisch und erkenntnistheoretisch nicht fest. Manche folgen viel-

leicht sogar sonntags anderen Maximen als werktags. Ein konsequenter Naturalist wird solche Widersprüche bei sich vermeiden, bei anderen aber ertragen.

a) *Ontologischer Realismus*

Der ontologische Realismus heißt auch – manchmal etwas spöttisch – metaphysischer Realismus. Seine Grundannahme lautet: Es gibt eine Welt „da draußen“, in ihrer Existenz und in ihren Eigenschaften unabhängig von unserem Bewusstsein.

Das Mobiliar dieser Welt ist äußerst sparsam: Raum-Zeit, Materie (Teilchen und Felder) und Energie. Sollte sich herausstellen, dass die Grundstrukturen unserer Welt nicht Raum und Zeit sind, sondern etwa die Strings der Stringtheorie oder die Schleifen der Loop-Quantengravitation, so wäre das weder für den Realisten noch für den Naturalisten bedenklich: Unser Bild von der Welt ist natürlich geprägt durch die Bedingungen in der Welt der mittleren Dimensionen, im *Mesokosmos*, und es ist denkbar, ja geradezu zu erwarten, dass dieses Bild jenseits des Mesokosmos korrigiert werden muss. Innerhalb des Mesokosmos können wir dann trotzdem an den vertrauten Raum-Zeit-Strukturen festhalten.

Die reale Welt ist evolutionär, vergänglich, quasi-kontinuierlich (es gibt absoluten Zufall; vgl. Kap. 3.3), zusammenhängend, aber separabel: Einige Wechselwirkungen sind schwächer als andere, sodass man Dinge zerlegen und voneinander trennen kann. Oder sodass wenigstens der Fehler nicht gar zu groß ist, wenn man sie als getrennt betrachtet und behandelt, obwohl sie – wie die Quarks – „eigentlich“ gar nicht trennbar sind.

Was spricht für den ontologischen Realismus? Manchmal heißt es, das beste Argument für den Realismus sei der *Erfolg* realistischer Theorien. Dieses Argument ist nicht besonders überzeugend; denn auch eine falsche Theorie kann erfolgreich sein. Es gibt aber ein besseres Argument, nämlich das *Scheitern* von Theorien. Denn woran sollte eine Theorie scheitern, wenn nicht daran, dass es tatsächlich eine Welt gibt, die anders ist, als die Theorie annimmt? Wir wissen damit immerhin einiges darüber, wie diese Welt *nicht* ist; wie sie ist, müssen wir dann allerdings immer noch herausfinden.⁷

Der ontologische Realismus ist eine kritisierbare metaphysische Hypothese. Es kann sich herausstellen, dass die Welt, von der wir etwas

wissen können, von unserer Zugangsweise doch nicht gänzlich unabhängig ist, dass also die Wechselwirkung mit dem Beobachter oder mit dem Beobachtungsgerät für unser Weltbild eine konstitutive Rolle spielt. Die jüngeren Ergebnisse der Quantenphysik scheinen das für die Ebene der Mikrowelt zu lehren. Der Naturalist wird diese Einsichten anerkennen. Seine Maxime kann deshalb nur lauten: *Soviel Realismus wie möglich.*

b) Erkenntnistheoretischer Realismus

Er ist erkenntnisoptimistisch, fallibilistisch, intersubjektiv orientiert, tendenziell objektivistisch, projektiv, evolutionär.

Der Naturalist ist hypothetischer *Realist*. Deshalb deutet er die Sinnesempfindungen als *Projektionen* der äußeren Welt auf seine Peripherie und versucht, aus den Signalen diese äußere Welt zu rekonstruieren (projektive Erkenntnistheorie). Bei der Projektion geht in der Regel Information verloren. Diese Information wird bei der Rekonstruktion versuchsweise zurückgewonnen, bleibt jedoch immer hypothetisch. Deshalb ist der Naturalist – ganz im Sinne Poppers – *Fallibilist*: Er ist sich bewusst, dass er sich irren kann und tatsächlich oft irrt. Er sucht jedoch gezielt nach Fehlern, fremden wie eigenen, und versucht, sie zu beseitigen. So hofft er, der Wahrheit wenigstens näher zu kommen.

Die Irrtumsanfälligkeit der Menschen erklärt der Naturalist im Sinne der Evolutionären Erkenntnistheorie: Danach ist Erkennen eine Gehirnfunktion und unser Erkenntnisvermögen ein Ergebnis der biologischen Evolution. Sinnesorgane, Zentralnervensystem und Gehirn entstanden nicht eigentlich als Erkenntnisorgane, sondern als Überlebensorgane; deshalb ist es nicht überraschend, dass sie zur Erkenntnis der Welt teilweise, aber eben nicht ideal taugen.

Gibt es Unerkennbares?

Sind einige Wissensbereiche der menschlichen Erkenntnis grundsätzlich verschlossen? John Milton (1608–1674) lässt in „Paradise Lost“ Adam nach den Gesetzen der Himmelsmechanik fragen, worauf ihm der Engel Raphael verkündet: „Vor Mensch und Engel barg das Übrige der große Meister weislich als Geheimnis, dass es bewundert, nicht bekrittelt werde.“ (Buch 8, 72–74)

Der Naturalist hält das für falsch: Es mag unlösbare Probleme geben, Probleme, deren Lösungen zu schwierig, zu zeitraubend, zu teuer sind.

In der Algorithmentheorie gibt es dafür gute Beispiele. Doch Geheimnisse im Sinne uns vorenthaltenen oder verbotenen Wissens gibt es nicht. Zwar sind wir evolutiv auf die Welt der mittleren Dimensionen, auf den *Mesokosmos*, zugeschnitten, doch können wir diesen Mesokosmos überschreiten. Die wichtigste Leiter für den Ausstieg aus dem Mesokosmos ist die Sprache. Weitere Leitern sind alle Denkzeuge: Schrift, Buchstabenschrift, Lautschrift; Zahlen, Zählen, Rechnen, Mathematik, Algorithmen. Mit ihrer Hilfe können wir auch Bereiche erkunden, die außerhalb des Mesokosmos liegen.

Unser Wissen ist zwar grundsätzlich fehlbar und deshalb immer vorläufig; es gibt aber gute *Argumente*, viele Hypothesen für wahr und einige sogar für objektiv zu halten bzw. einige Hypothesen für bessere Kandidaten bei der Wahrheitssuche zu halten als andere.

Verhältnis zum Konstruktivismus

Der Konstruktivist sieht die von uns erlebte Welt als bloße Konstruktion an. Eine reale Welt, eine Welt „da draußen“, mag es dabei zwar geben; sie ist jedoch unerkennbar und kann schadlos ignoriert werden. Aber: Wer als Konstruktivist *konsequent* sein möchte, müsste eigentlich Solipsist werden: Das Einzige nämlich, dessen ich mir sicher sein kann, ist mein eigenes Bewusstsein jetzt.⁸

Der radikale Konstruktivist ist offenbar nicht konsequent. Wer jenseits seines augenblicklichen Bewusstseins noch Weiteres anerkennt – seine Vergangenheit, seinen Körper, andere Wesen mit Bewusstsein, andere Menschen, deren Vergangenheit und Zukunft, die Möglichkeit, mit ihnen zu kommunizieren, Raum und Zeit allgemein –, der sollte wiederum konsequent sein und hypothetischer Realist werden!

Die entscheidende Frage ist nicht, ob unsere Weltbilder *Konstruktionen* sind (das sind sie auch für den Naturalisten) oder ob sie Konstruktionen unseres *Gehirns* sind (das sind sie ebenfalls), sondern ob diese Konstruktionen *Rekonstruktionen* von Äußerem sind. Kant und andere Konstruktivisten müssen einräumen, dass sie davon *nicht die geringste Ahnung* haben; der Realist dagegen meint, dass er die Welt da draußen *einigermaßen korrekt rekonstruiert* und in diesem Sinne erkennt. Allerdings beansprucht er auch in diesem Falle kein sicheres Wissen.

c) *Methodologischer Realismus*

Er sucht die Frage zu beantworten, wie wir das uns im Prinzip zugängliche Wissen über die reale Welt (deskriptiv) erreichen oder (normativ) anstreben sollten. Er ist erfahrungswissenschaftlich orientiert, kritisch-rational, falsifikationistisch.

Der Naturalist folgt hier Poppers Falsifikationsprinzip: Eine gute erfahrungswissenschaftliche Theorie muss an der Erfahrung scheitern können! Das ist eine Forderung; leider ist sie nicht immer erfüllbar. Wo sie es nicht ist, dort muss das Prädikat „erfahrungswissenschaftlich“ vorläufig verweigert werden.

Ist eine Theorie tatsächlich nicht prüfbar, so sollte sie wenigstens anderweitig *kritisierbar* sein. Diese Forderung gilt für alle wissenschaftlichen, ja sogar für alle *rationalen* Unternehmungen; Kritisierbarkeit ist danach das beste Kriterium für Wissenschaftlichkeit und allgemein für Rationalität. Dagegen ist Dogmatismus keine rationale Einstellung. Nach diesem Kriterium lassen sich zahlreiche Auffassungen und Methoden als irrational ausweisen. Das methodologische Leitmotiv des Realisten lautet also: *Kühne Hypothesen und strenge Kritik!*

Die Kritisierbarkeit steigt mit der Präzision und der Einfachheit der Aussagen. Die Mathematik ist ein gutes Mittel, um Aussagen zu präzisieren. Deshalb ist Mathematik ein gutes, sogar ein unentbehrliches Werkzeug zur Beschreibung der Welt.

2.2 *Was ist für den Naturalisten Wahrheit?*

Da der Naturalist, wie wir betont haben, im Allgemeinen Realist ist, vertritt er einen realistischen, d. h. korrespondenztheoretischen Wahrheitsbegriff. Nahezu alle Wahrheitstheorien benützen diesen Wahrheitsbegriff für ihre *Wahrheitsdefinition*; denn ohne Realitätsbezug ist der Wahrheitsbegriff leer. Hinsichtlich ihrer *Wahrheitskriterien* können sie sich jedoch erheblich unterscheiden.

Im Folgenden beschränken wir uns auf *beschreibende* Aussagen. (Normen, also Aussagen, die etwas gebieten, verbieten oder erlauben, können nicht wahr oder falsch sein, ebenso wertende Aussagen, Frage- und Ausrufesätze. Logisch wahre Aussagen, also Tautologien und analytisch wahre Aussagen – z. B. „Wenn der Hahn kräht ...“ – können nicht falsch sein und sagen nichts über die Welt. Dagegen können Kont-

radikationen (in sich widersprüchliche Aussagen) und analytisch falsche Sätze nicht wahr sein. Natürlich sagen auch sie nichts über die Welt.)

Danach ist eine beschreibende Aussage *wahr* genau dann,

- wenn das, was sie behauptet, auch der Fall ist,
- wenn der behauptete Sachverhalt tatsächlich vorliegt,
- wenn die Welt so ist, wie die Aussage behauptet.

Diese Formulierungen sind gleichwertig.

Erfüllbare hinreichende Wahrheitskriterien gibt es nicht. Wahrheit von beschreibenden Sätzen ist erreichbar, aber nicht beweisbar. Im Hinblick auf die Erreichbarkeit der Wahrheit ist der Naturalist also Optimist; im Hinblick auf die *Sicherheit* deskriptiver Aussagen ist er dagegen Skeptiker, jedoch nicht aus Dogmatismus, sondern aufgrund zahlreicher Enttäuschungen über zweieinhalb Jahrtausende.

3. Der Aufbau der Welt

3.1 Was sind Naturgesetze?

Der Begriff ist schwer zu definieren; eine in jeder Hinsicht befriedigende Explikation gibt es bisher nicht. Im ersten Schritt sagen wir: Naturgesetze sind (Beschreibungen von) Regelmäßigkeiten im Verhalten realer Systeme. Im zweiten Schritt etwas genauer: Naturgesetze sind universelle, bedingte, synthetische, relationale Aussagen, die als wahr akzeptierbar sind, irrealer Konditionalsätze stützen können und Notwendigkeitscharakter tragen.⁹

3.2 Warum gelten Naturgesetze?

Dazu gibt es viele Ansätze, einzig ist man sich nicht, auch nicht unter Naturalisten.

Ein praktisches Problem liegt darin, dass wir nur *einen* Kosmos kennen; da ist es sehr schwer, zwischen Naturgesetzen und Rand- und Anfangsbedingungen zu unterscheiden.

Ein theoretisches Problem ist der unvermeidlich drohende unendliche Regress: Mit Warum-Sätzen fragen wir oft nach Erklärungen; um diese Fragen zu beantworten, stützen wir uns meist auf Naturgesetze

(deduktiv-nomologisches Modell oder DN-Erklärung). Zwar kann man viele Naturgesetze mit Hilfe anderer, allgemeinerer Naturgesetze erklären; *eine* Frage werden wir trotzdem nicht los: Selbst wenn wir sogar die *Geltung* von Naturgesetzen mit Hilfe eines noch allgemeineren Naturgesetzes erklären könnten – warum gilt denn dann dieses allgemeine Gesetz? Eine letzte Antwort auf die Geltungsfrage gibt es deshalb nicht. Hier denken manche an Gott, um doch nicht ganz ohne Antwort zu bleiben. Der Naturalist verzichtet auf diesen Ausweg.

3.3 Ist die Welt deterministisch? Gibt es Zufall?

Pierre-Simon Marquis de Laplace (1749–1827), genialer Mathematiker und Astronom, charakterisiert 1776 die Welt, in der wir leben, als völlig deterministisch und – wenigstens durch einen *Geist* oder eine überraschende *Intelligenz* – berechenbar, insbesondere auch vorhersagbar. Der Ausdruck *Dämon* ist angemessen, da es sich um ein Wesen mit übermenschlichen Fähigkeiten handelt, nicht jedoch um ein göttliches Wesen, das aufgrund seiner Allwissenheit gar nichts zu berechnen bräuchte und das Geschehen sogar beliebig ändern könnte. Für einen solchen Dämon müssen mehrere (ontische und epistemische) Bedingungen erfüllt sein, von denen Laplace einige, aber nicht alle formuliert.

Wie die Wissenschaftsgeschichte lehrt, war die Suche nach Ordnung und Struktur recht erfolgreich. Doch haben sich auch Grenzen dieses Ansatzes gezeigt. Sieht man genauer hin, so erweisen sich *alle* Prämissen des Laplace'schen Determinismus als verfehlt.¹⁰

Was ist Zufall?

Wir definieren zunächst nicht Zufall, sondern das Prädikat „ist zufällig“, und zwar für Ereignisse. Das Substantiv „Zufall“ könnte man dann damit ebenfalls definieren, etwa als die Menge aller zufälligen Ereignisse. Darauf werden wir jedoch hier verzichten.

Es ist zweckmäßig, verschiedene Arten von Zufall zu unterscheiden. Ein Ereignis ist *objektiv zufällig*, wenn es *keine Ursache hat*. Es ist *subjektiv zufällig*, wenn wir begründet vermuten, dass es keine Ursache hat. Dieses Prädikat hängt also von unserem persönlichen Wissensstand ab, und wir sehen uns oft gezwungen, unsere Meinung zu ändern.

Der Naturalist geht davon aus, dass es objektiven Zufall gibt. Dort unterscheiden wir noch absoluten und relativen Zufall:

- *Absoluter Zufall* steht am *Beginn einer neuen Weltlinie*.
- *Relativer Zufall* steht am *Zusammentreffen vorher unverbundener Kausalketten*. Die Kausalketten selbst können dabei in sich völlig determiniert sein.

Gibt es Zufall?

Gibt es objektiv zufällige Ereignisse? Ja, es gibt Zufall, sowohl absolut (d.h. unabhängig von einem Bezugssystem) als auch relativ (abhängig von einem Bezugssystem).

Absoluten Zufall kennen wir vor allem aus der Quantenphysik: Dass ein vorliegendes Neutron spontan zerfallen *kann* und irgendwann auch tatsächlich zerfällt, ist nicht zufällig, sondern durch seine Struktur bedingt und erklärbar; aber *wann* es zerfällt oder dass es gerade jetzt zerfällt, ist absolut zufällig. Es hängt insbesondere nicht von seinem Alter ab; wir können ihm sein Alter auf keine Weise ansehen; es kennt sein Alter sozusagen selbst nicht. Das gilt auch für alle anderen Elementarteilchen, die spontan zerfallen können (und für die stabilen natürlich erst recht). Von einer großen Zahl von Neutronen wird zwar mit Sicherheit etwa die Hälfte in den nächsten zehn Minuten spontan zerfallen; nach der üblichen Interpretation der Quantentheorie gibt es jedoch keine Möglichkeit vorauszusagen, *welche* Neutronen dann zerfallen sein werden und welche nicht, ja nicht einmal die Möglichkeit, *nachträglich* herauszufinden, *warum* ein bestimmtes Neutron zerfallen ist.

Das Zerfallsgesetz bei radioaktiven Substanzen ist eine exponentiell abklingende Kurve. Das „Zerfallsgesetz“, besser die Überlebenskurve bei Lebewesen, die ja altern und sterben, ist dagegen eine zunächst sanft, gegen Ende aber steil abfallende und bei Null endende Kurve. (Für den Menschen erreicht sie bei 120, vielleicht bei 130 Jahren die Nullachse.) Auch dieser Unterschied ist ein Indiz dafür, dass es sich beim radioaktiven Zerfall um absoluten Zufall handelt.

Relativen Zufall finden wir überall. Er ist die häufigste Art von Zufall. Beispiele finden sich schon bei Aristoteles: Ich treffe auf dem Markt *zufällig* einen alten Freund. Jeder von uns war in seinem Verhalten determiniert, das Zusammentreffen nicht. Oder bei Jacques Monod: Der Hammer des Dachdeckers trifft *zufällig* den vorbeieilenden Arzt auf den Kopf.

Wir sprechen von *relativem* Zufall, weil es von der Größe des Bezugssystems abhängt, ob die kollidierenden Kausalketten vorher unverbunden waren bzw. als verbunden erkannt werden können. So *könnte* ein gemeinsamer Bekannter meinen alten Freund und mich ganz raffiniert zum Marktbesuch motiviert haben, damit wir uns treffen.

Wenn wir das Bezugssystem zeitlich und räumlich nur groß genug wählen, notfalls bis zum Urknall ausweiten, dann waren letztlich alle Kausalketten in der Vergangenheit bzw. im Urknall verbunden – außer denen natürlich, die damals oder danach durch absoluten Zufall entstanden sind! Der absolute Zufall sorgt also dafür, dass wir auch bei größtmöglichem Wissen, etwa im Sinne des Laplace'schen Dämons, nicht auf den objektiven Zufall verzichten könnten.

Dem Naturalisten liefert der absolute Zufall sogar ein Argument gegen einen allwissenden Schöpfer. Denn wie sollte dieser Schöpfer vorauswissen, was erst über absoluten Zufall wirklich wird? Er müsste dann irgendwie zeitlos sein; damit würde man jedoch den Rahmen rationaler Diskussion verlassen.

4. Kosmologie

4.1 *Wie ist die Welt entstanden?*

Diese Frage führt uns in ein Dilemma:

Einerseits erhoffen wir bei dieser Frage mindestens eine Beschreibung, besser noch eine kausale Erklärung für die Entstehung der Welt. Kausale Erklärungen aber erklären einen Zustand aus anderen Zuständen, die zeitlich vorhergehen und den Folgezustand gesetzmäßig nach sich ziehen.

Andererseits setzt die Frage – schon mit dem Wort ‚entstanden‘ – einen Anfangszustand voraus, aus dem sich alles Weitere entwickelt hat. Und schon der Begriff ‚Anfang‘ setzt Zeit voraus. Nach dem *Standardmodell* entsteht jedoch auch die Zeit erst mit Raum und Materie. Ein Vorher gibt es dann nicht. Dann kann es auch keine kausale Erklärung für den Anfang der Welt geben, insbesondere nicht für den Urknall. Wir fragen also zunächst:

4.2 Gibt es für den Urknall ein Vorher?

Wenn nein, dann hat der Ausdruck „vor dem Urknall“ keinen Sinn, dann ist die Frage, was vor dem Urknall war, ihrerseits sinnlos, und dann kann es auch keine kausale Erklärung für den Anfang geben!

Wenn aber ja, dann ist der Urknall nicht der Anfang der Welt, sondern nur der mutmaßliche und uns empirisch gerade noch zugängliche Anfang der Welt, wie wir sie kennen. Aber was war dann vorher? Und wie hat wiederum das, was vorher war, angefangen? Es gibt durchaus Theorien, die ein Vorher annehmen. Sie entsprechen natürlich nicht dem Standardmodell. Man spricht dann nicht vom Big Bang, vom großen Knall, sondern vom Big Bounce, vom großen Tops, bei dem der uns zugänglichen Expansion eine Phase der Kontraktion vorausging.

Nach dem Standardmodell, das auf der Allgemeinen Relativitätstheorie beruht, ist der Urknall eine *Singularität*. Mehrere physikalische Größen werden dort unendlich: Energiedichte, Temperatur, Druck. Normalerweise gilt aber: Wenn eine physikalische Größe unendlich zu werden droht, dann ist das ein Zeichen dafür, dass die Physik dort versagt. Seriöse Erklärungen greifen deshalb nur auf Endliches zurück. (Es gibt einige Ausnahmen in der Quantenelektrodynamik, allgemeiner in der Quantenfeldtheorie. Dort treten Unendlichkeiten auf; sie lassen sich aber durch geschickte Maßnahmen – die so genannte Renormierung – dann doch wieder beseitigen.) Es ist *denkbar*, dass Singularitäten vermieden werden können, wenn man Quanteneffekte berücksichtigt. Einige Vertreter der Stringtheorie meinen, Schwarze Löcher könnten als *Fuzzballs* (Flauschbälle mit fasriger Oberfläche) beschrieben werden. Von anderen wird erwogen, ob statt Schwarzer Löcher auch Schwarze Sterne entstehen können.

Der *Naturalist* hat in diesen Fragen keine Präferenz. Er übernimmt, was als zuverlässiges Wissen gilt, ist sich aber bewusst, dass unser Wissen auch hier vorläufig ist und dass einige Fragen sich vielleicht nie beantworten lassen. Und er lässt solche Fragen lieber unbeantwortet, als eine übernatürliche Instanz in Anspruch zu nehmen. Diese Entscheidung erfolgt jedoch nicht dogmatisch, sondern aus der Einsicht, dass auch bei Inanspruchnahme einer übernatürlichen Instanz nach einer Erklärung gefragt werden dürfte, eine Frage, die dann ihrerseits unbeantwortet bliebe. Aufmerksame Naturalisten werden deshalb, um Missverständnisse zu vermeiden, lieber nicht von *Schöpfung* reden. Tun

sie es trotzdem, so denken sie dabei nicht an einen Schöpfer, sondern nur an das *Entstehen* der Welt.

Man kann die Annahme einer übernatürlichen Instanz, insbesondere eines Schöpfergottes „höher als alle Vernunft“, auch als Eingeständnis deuten, dass die Dinge für uns letztlich *unbegreiflich* sind. Der Naturalist sieht darin einen voreiligen und unverantwortlichen Wissensverzicht.

4.3 Ist die Welt unendlich?

Ist die Welt unendlich groß? Die ehrlichste Antwort ist, wie bei vielen anderen Fragen: Wir wissen es nicht. Mit unseren astronomischen Befunden sind sowohl endliche als auch unendliche Modelle vereinbar. Allerdings gilt: Sollte die Welt unendlich groß sein, so werden wir das nie sicher wissen, da wir zwischen unendlich und sehr groß empirisch nicht unterscheiden können. Dagegen wäre eine endliche Welt durchaus als solche erkennbar. Eine Antinomie, wie Kant sie behauptet, entsteht dabei nicht. Insbesondere braucht es zu einer nichteuklidischen endlichen Welt keinen Mittelpunkt, keinen Rand und kein Außerhalb zu geben.

Ähnliches gilt für das Alter und für die Zukunft der Welt: Nach unserem derzeitigen Wissen ist unser Universum vor endlicher Zeit, genauer: vor 14 Jahrmilliarden, entstanden und es wird sich bis in alle Ewigkeit ausdehnen, wobei sich die Expansion nicht, wie man lange dachte, verlangsamt, sondern sogar noch beschleunigt. (Für diese Entdeckung gab es 2011 den Nobelpreis für Physik.) Es gibt aber auch Modelle, die gar keinen Anfang annehmen, sondern dem Universum eine unendliche Vergangenheit, also auch unendliches Alter zubilligen. Dann ist es nicht nur nicht im Urknall entstanden, sondern überhaupt nicht, da es ja schon immer existiert. Aber auch hier wird man zwischen unendlich alt und sehr alt nie empirisch entscheiden können.

4.4 Wie steht der Naturalist zum anthropischen Prinzip?

Die Physik findet universelle *Naturkonstanten*: Newtons Gravitationskonstante G , Lichtgeschwindigkeit c , Elementarladung e (etwa des Elektrons), Plancksches Wirkungsquantum h (bzw. $\hbar = h/2\pi$), auch dimensionslose Konstanten wie die Feinstrukturkonstante $\alpha = e^2/\hbar c \approx 1/137$.

Sie findet auch allgemeine *Naturgesetze* wie Newtons Gravitationsgesetz für die Kraft zwischen zwei Massen oder Einsteins berühmte Gleichung $E = mc^2$, welche die Äquivalenz von Energie und Masse ausdrückt.

Und nun hat man entdeckt, dass viele Züge unserer Welt ganz anders oder gar nicht da wären, wenn die Naturkonstanten oder die Naturgesetze nur ein wenig anders wären. Das führt auf die Frage, *warum* unsere Welt gerade so beschaffen ist, dass es Galaxien, Sterne, Planeten, Monde (also Begleiter von Planeten), langfristig stabile Planetenbahnen, Pflanzen, Tiere und Menschen geben kann und tatsächlich gibt. Eine Teilantwort gibt das *anthropische Prinzip*, das allerdings gleich in mehreren Varianten auftritt. Wir behandeln das schwache und das starke anthropische Prinzip. Mit dem Naturalismus ist allerdings nur das schwache Prinzip vereinbar. Sieht man genauer hin, so handelt es sich dabei nicht wirklich um Prinzipien, also um *grundlegende* Sätze, sondern eher um eine bestimmte Klasse von Erklärungen.

Schwaches anthropisches Prinzip

Die Welt ist so, wie wir sie vorfinden, *weil* es uns in einer deutlich anderen Welt gar nicht geben könnte. (Dann gäbe es allerdings auch niemanden, der die genannte Warum-Frage stellen, und erst recht niemanden, an den man sie richten könnte.)

Hier ist Vorsicht geboten: Es handelt sich dabei nicht um ein kausales, sondern um ein epistemisches *Weil*: Ich *weiß*, dass die Welt in einigen Zügen so sein muss, wie sie ist, weil ich *weiß*, dass ich andernfalls nicht existieren würde. Bei Kenntnis der entsprechenden Naturgesetze könnte ich also aus der Tatsache unserer Existenz auf einige Konstanten, Gesetze und Eigenschaften unserer Welt schließen. So lässt sich leicht zeigen: Es gibt Menschen; also muss das Universum bei Geltung der uns bekannten Naturgesetze mindestens einige Milliarden Lichtjahre groß sein. Historisch wurden diese ableitbaren Eigenschaften allerdings nicht auf diese Weise erschlossen, sondern unabhängig gefunden.

Starkes anthropisches Prinzip

Die Welt ist so, wie wir sie vorfinden, *damit* es uns geben kann.

Diese Antwort ist offenbar teleologisch: Danach gab es einen Weltgestalter, der bestimmte Absichten und Ziele hatte und die Welt nach diesen Zielen entstehen und sich entwickeln ließ.

Daraus könnte man, wenn man keine konkurrierende Erklärung kennt, sogar auf einen Weltgestalter *schließen*. Diese Antwort entspricht strukturell dem teleologischen Gottesbeweis von William Paley (1743–1805). Dessen „Beweis“ wurde allerdings durch Darwin entkräftet, der zur Erklärung von Vielfalt und Zweckmäßigkeit der Lebewesen eine andere, eine naturalistische Erklärung vorschlug, eben die Evolutionstheorie.

Was meint der Naturalist?

Der *Naturalist* lehnt teleologische Erklärungen ab. Absichten und Ziele schreibt er nur Menschen und einigen höheren Tieren zu. (Dazu unser Kap. 5.7.) Deshalb kann er das starke anthropische Prinzip nicht für richtig halten, sondern allenfalls das schwache. Eine *kausale* Antwort auf die genannte Warum-Frage (Warum ist unsere Welt gerade so beschaffen, dass Planeten, Lebewesen und Menschen möglich sind?) steht dann allerdings immer noch aus. Vertreten werden – auch von Naturalisten – drei deutlich verschiedene Antworten:

- Es ist reiner *Zufall*. Dann haben wir einfach Glück gehabt. (Scherzweise kann man natürlich auch behaupten, die Erde habe nun mal das *Pech*, Menschen hervorgebracht zu haben. Das wäre allerdings eher eine misanthropische, eine geradezu antihumanistische Einstellung.)
- Es gibt irrsinnig viele, z. B. 10500 verschiedene mögliche Welten, von denen anfangs auch sehr viele entstanden sind. (Dazu weiter unten die Frage *Gibt es Mehrfachwelten?*) Aber nur in wenigen ist Leben oder gar intelligentes Leben *möglich*. Nur dort können intelligente Wesen entstehen und die Warum-Frage stellen. Unsere Welt ist eine davon. Dass einige solche belebbare Welten entstehen (mindestens eine), ist dann so gut wie unvermeidlich. Dass darin *tatsächlich* intelligente Wesen entstehen, könnte dann allerdings immer noch sehr wahrscheinlich oder auch sehr unwahrscheinlich gewesen sein. Über die Wahrscheinlichkeit, dass in unserem Universum Leben oder sogar intelligentes Leben entsteht, wissen wir bisher *nichts*. Alle Abschätzungen – von sehr wahrscheinlich bis extrem unwahrscheinlich – sind reine Spekulation und deshalb erfahrungswissenschaftlich nicht seriös.
- Die Werte der Naturkonstanten sind bisher *unerklärt*. Erforderlich und denkbar ist eine *Kosmophysik*, auch *vollständige Kosmologie* genannt, durch die weitere bekannte Größen als *notwendig* erkannt

und aus anderen erklärt werden. Der Bereich des Zufälligen (man sagt auch: des Kontingenten, also dessen, was auch anders sein könnte) würde dadurch verringert. Doch wird man ihn wohl nie ganz zum Verschwinden bringen; es wird also immer einiges unerklärt bleiben. Auch die Schöpfer-Hypothese hilft da nicht weiter, weil durch sie ja Gott seinerseits nicht erklärt werden kann. (Und Gott zur *causa sui*, zur Ursache seiner selbst zu erklären, ist nichts als ein Taschenspielertrick; denn niemand kann uns sagen, wie so etwas auch nur *möglich* sein soll. Da ist es schon ehrlicher, die Frage als unbeantwortet, vielleicht sogar als unbeantwortbar stehenzulassen.)

Manche Kosmologen, etwa Stephen Hawking, meinen, die Gödel'schen Sätze würden eine Weltformel oder eine Theory of everything (TOE, Theorie für alles) ausschließen. Das ist nicht richtig. Sie lehren uns allenfalls, dass eine solche Theorie nicht *bewiesen* werden kann. Das ist aber nur eine schwache Einschränkung; wir wissen ja längst, dass wir kein sicheres Wissen über die Welt haben können, und Gödel bestätigt das insbesondere für universelle Theorien. Wir brauchen aber nicht einer Utopie nachzutruern, die wir sowieso schon längst verabschiedet haben.

Für einige Eigenschaften der Welt würde sogar schon ein *biotisches* Prinzip genügen: Die Frage lautet dann nicht: Wie muss ein Universum beschaffen sein, in dem es *Menschen* geben kann? Sondern: Was braucht man, um *Leben* haben zu können?

4.5 Gibt es Mehrfachwelten?

Dass es außer der von uns bewohnten und für uns wenigstens teilweise zugänglichen Welt noch eine, mehrere, viele, ungeheuer viele, unendlich viele andere Welten gibt, ist *denkbar*. Sollte es sie geben, so sind sie für uns doch nicht beobachtbar. Es gibt deshalb keine Erfahrungen, welche die Idee solcher Parallelwelten oder eines *Multiversums* bestätigen oder widerlegen könnten. Bisher gibt es jedenfalls keinen guten Grund, solche Welten anzunehmen. In solchen Fällen gehen die meisten Naturalisten – auch der Autor – davon aus, dass es die entsprechenden Objekte tatsächlich nicht gibt. Zwingend ist diese Schlussfolgerung jedoch nicht.

Was könnte für Mehrfachwelten sprechen?

Zunächst einmal wird man zugestehen, dass *unser* Universum sicher größer ist als der Ausschnitt, den wir bisher beobachten konnten, von dem wir also bereits Signale bekommen haben. Warum auch sollte die Welt gerade dort zu Ende sein, wo zurzeit die Grenze unserer Beobachtungsmöglichkeiten liegt? Hätten wir genügend Zeit, so würden sich uns immer weitere Bereiche unseres Universums erschließen. Aber dabei handelt es sich immer nur um unser eines und einziges Universum, nicht um neue Welten. Allerdings könnten wir jenseits des uns zugänglichen Bereichs auf Hinweise stoßen, die weitere Welten nahelegen. Könnten! Bisher haben wir solche Hinweise nicht.

Für die Quantentheorie gibt es seit 1957 eine Interpretation von Hugh Everett, wonach sich unsere reale Welt fortwährend in viele neue reale Welten aufspaltet, von denen wir aber immer nur eine bewohnen, während uns alle anderen unzugänglich bleiben. Der Vorteil dieser Mehrwelten-Interpretation liegt darin, dass sie eine *realistische* Deutung der Quantentheorie erlaubt. Ein viel größerer Nachteil liegt jedoch darin, dass sich die Welt danach fortwährend unendlichfach aufspaltet, eine ontologisch sehr aufwendige Konstruktion!

Heute öfter vorgebracht wird ein Argument aus dem anthropischen Prinzip. (Dazu Kap. 4.4.) Dass unser Universum, wie es den Anschein hat, so gut auf die Bedürfnisse von Lebewesen allgemein, von Menschen insbesondere „zugeschnitten“ zu sein scheint, ist weniger erstaunlich, wenn es unzählig viele Universen mit unterschiedlichen Eigenschaften gibt. Von diesen Universen bewohnen wir dann nur eines, und zwar natürlich eines, das uns zuträglich ist – sonst gäbe es uns ja nicht. So würden wir die beobachtete kosmische Feinabstimmung über die ungeheure Zahl verschiedenartiger Welten zwar nicht wirklich *erklären*, aber doch weniger erstaunlich machen.

Dazu passt nun recht gut die Stringtheorie, weil auch sie viele mögliche Welten erlaubt, sogar behauptet. Eine oft genannte Zahl von Möglichkeiten ist 10^{500} (eine Eins mit 500 Nullen!). Viele sind von der Stringtheorie begeistert, weil sie eine universelle Theorie zu sein oder wenigstens zu werden verspricht. Leider ist sie bisher nicht empirisch prüfbar; ihr fehlt also eine Eigenschaft, die wir normalerweise von einer theoretischen Beschreibung der Welt verlangen. Deshalb hat sie nicht nur viele Anhänger, sondern auch viele Kritiker.¹¹

Offensichtlich haben wir die Wahl: *Entweder* begnügen wir uns –

ontologisch sparsam – mit einem einzigen Universum und haben dann vorerst keine einleuchtende Erklärung für die kosmische Feinabstimmung. *Oder* wir genießen es, für die verblüffende Feinabstimmung wenigstens eine statistische Erklärung zu haben, müssen dafür aber unsere Ontologie ungeheuer aufblähen und mit Myriaden von auf ewig unbeobachtbaren Welten anreichern. Die wissenschaftstheoretischen Prinzipien, die wir dabei jeweils zugrunde legen, sind Sparsamkeit hier, Erklärungswert dort. Dem Naturalisten liegen beide am Herzen, und ich sehe nicht, wie die Entscheidung eindeutig zugunsten des einen oder des anderen Prinzips fallen könnte. Ich persönlich halte mich allerdings lieber an die Prinzipien der Sparsamkeit, etwa an Ockhams Rasiermesser, und hoffe auf eine spätere Erklärung. Sollte sich allerdings eines Tages die Stringtheorie doch als empirisch prüfbar erweisen und sollte diese Prüfung zuverlässig positiv ausfallen, dann würde die Entscheidung wohl doch zugunsten der Vielweltentheorie fallen.

5. Evolution

5.1 Welche Rolle spielt die Evolution?

Der moderne Naturalismus ist evolutionär: Er anerkennt das evolutionäre Gewordensein für alle realen Systeme, auch für den Kosmos als Ganzes. Er betrachtet die Entwicklung der Welt, insbesondere die biologische Evolution, als erklärbar und in weiten Teilen als geklärt. Der Urknall selbst, wenn es ihn denn gab, ist allerdings nicht erklärt. (Dazu Kap. 4.2.) Die biologischen Evolutionstheorien (Lamarck, Darwin, Synthetische Theorie und ihre Nachfolger) erklären, wie aus Lebewesen neue und mehr Lebewesen entstehen, nicht dagegen, wie die *ersten* Lebewesen entstanden sind. Tatsächlich ist die Entstehung des Lebens bisher unerklärt. (Dazu auch Kap. 5.4.)

Die biologische Evolutionstheorie, insbesondere Darwins Theorie, hat die Wissenschaften vom Leben auf eine einheitliche Grundlage gestellt und damit die *Biologie* als neuzeitliche Wissenschaft überhaupt erst begründet. Ganz ähnlich hat der Evolutionsgedanke unserem *Weltbild* einen übergreifenden Rahmen gegeben. Allerdings gibt es keine einheitliche Theorie für alle Evolutionsphasen. Das liegt vor allem daran, dass es in der belebten Welt Vererbung, Konkurrenz und natürliche Auslese gibt, bei unbelebten Systemen dagegen nicht.

Eine wichtige Folgerung aus dem allgemeinen Evolutionsgedanken ist die Einsicht, dass *alle* realen Systeme aus einfacheren hervorgegangen sind – auch der Mensch mit allen seinen Eigenschaften und Fähigkeiten. Um das zu betonen, sprechen wir von einem *Evolutionären Naturalismus*. Im Folgenden widmen wir einigen entscheidenden Schritten der Evolution je eigene Kapitel: Entstehung von Komplexität, des Lebens, des Menschen, der Sprache, des Bewusstseins (letzteres in Kap. 6.).

5.2 Was ist und wie entsteht Komplexität?

Was meinen wir mit Komplexität?

Wir unterscheiden zwei Arten von Komplexität, die sich bei Bedarf beide quantifizieren lassen.

Die *algorithmische Komplexität* eines Systems bemisst sich nach der kürzestmöglichen Beschreibung für das System. (Alltagssprachlich: „Wie lange muss ich reden, um das Ding vollständig zu beschreiben?“) Nach der algorithmischen Informationstheorie, insbesondere nach Sätzen von Gregory Chaitin (*1947), die den Gödel’schen Sätzen nachgebildet sind, lässt sich die kürzestmögliche Beschreibung vielleicht finden; es lässt sich jedoch nie beweisen, dass es sich tatsächlich um die kürzeste Beschreibung handelt.¹²

Die *evolutionäre Komplexität* bemisst sich nach der Zahl der für die Bildung des Systems erforderlichen Schritte. Einem vorliegenden System kann man seine evolutionäre Komplexität in der Regel nicht ansehen. Denken wir an einen romanischen Torbogen oder an eine große Kuppel: Sie sind einfach zu beschreiben; aber um sie zu bauen, braucht man vorübergehend ein stabilisierendes Hilfsgerüst, bis der Schlussstein oben in der Mitte eingesetzt werden kann.

In beiden Fällen, also bei algorithmischer wie bei evolutionärer Komplexität, kommt es nicht auf die Größe des Systems an, auch nicht auf die Zahl seiner Bausteine, sondern auf seine Struktur, genauer: auf die *Vielfalt seiner inneren Wechselbeziehungen*. Die Sonne ist viel größer als die Erde und hat auch viel mehr Bestandteile; und doch ist die Erde weitaus komplexer als die Sonne – ganz gleich, welches Komplexitätsmaß wir zugrunde legen. (Zwischen Komplexität und Kompliziertheit machen wir hier keinen Unterschied.) Physikalisch gesehen, genügt die Sonne einer viel einfacheren Zustandsgleichung als die Erde. So kommt

es, dass wir über das Innere der Sonne heute erheblich besser Bescheid wissen als über das Innere der Erde – die wir doch selbst bewohnen und anbohren und „abhören“ können!

Wie entsteht Komplexität?

Komplexe Systeme entstehen in der Regel aus einfacheren durch *anziehende* Wechselwirkungen: Baryonen aus Quarks, Atomkerne aus Protonen und Neutronen durch die starke Kernkraft, manche Moleküle aus Ionen durch elektrostatische Anziehung, andere durch quantenmechanische Austauschkräfte, Sterne, Planeten, Monde, Planetensysteme, Sternhaufen, Galaxien und Galaxienhaufen durch gravitative Anziehung.

Auch *abstoßende* Wechselwirkungen können über begrenzende Randbedingungen zu Strukturen, also zu Ordnung führen. Protonen in einer Hohlkugel werden sich wegen ihrer gegenseitigen Abstoßung nicht überall oder in der Mitte aufhalten, sondern an der Innenwand der Kugel, und Menschen in einem Aufzug nehmen größtmögliche Abstände ein.

Es ist immer wieder faszinierend, wie nach wenigen *einfachen* Regeln komplizierteste Gebilde entstehen können. Typische Beispiele sind das japanische Brettspiel Go (es hat, anders als das Schachspiel, nur drei Regeln) oder die Theorie der zellulären Automaten, insbesondere Conways *Spiel des Lebens*, das wir schon in Kap. 1.2 erwähnt haben. Stephen Hawking übertreibt allerdings, wenn er nahelegt, das Spiel des Lebens zeige, wie etwas aus *nichts* entstehen könne, was dann auch für das Universum gelten soll. Denn auch dieses Spiel zeigt *nicht*, wie aus nichts etwas, sondern nur, wie *aus wenig viel* entstehen kann.

Wie kommt es zur Zunahme an Komplexität?

Sowohl für die unbelebte als auch für die belebte Welt gilt: Wenn etwas einfach anfängt, dann kann die Komplexität anfangs nur zunehmen. Später kann die Komplexität sowohl zu- als auch abnehmen. Lebewesen können jedoch neue ökologische Nischen im Allgemeinen nur dann besetzen, wenn sie leistungsfähiger und damit auch komplizierter sind als die Konkurrenz. Um anderen überlegen zu sein, braucht man zwar in der Regel höhere Komplexität; aber Komplexität allein genügt natürlich nicht. Was in der belebten Welt die Fitness bestimmt, ist *funktionelle Komplexität*. Warmblütige Tiere sind wechselwarmen Tieren über-

legen; der Temperatúrausgleich verlangt jedoch höheren Aufwand. Was wirklich zählt, ist das Verhältnis zwischen Aufwand und Wirkung.

Manchmal heißt es, die Entstehung von Ordnung stehe im Widerspruch zum zweiten Hauptsatz der Thermodynamik, zum Entropievermehrungssatz. Deutet man die Entropie als ein Maß für Unordnung und kann die Entropie immer nur wachsen, dann kann auch die Unordnung immer nur zunehmen. Diese Interpretation ist jedoch falsch. Wenn nämlich *Wechselwirkungen* bestehen, dann ist die Zunahme an Ordnung nicht nur mit dem Entropiesatz verträglich, sondern sogar eine *Konsequenz* des Entropiesatzes!¹³ Offenbar stellen weder die Existenz noch die Zunahme von Ordnung das naturalistische Weltbild in Frage.

Ein anderer Einwand fragt, ob es selbstreproduzierende Systeme allein auf physikalisch-chemischer Grundlage überhaupt geben kann. Auch dieses Problem ist hinreichend geklärt: Die Möglichkeit solcher Systeme ist zuverlässig nachgewiesen.¹⁴

5.3 Gibt es Emergenz? Wenn ja: Stellt das den Reduktionismus in Frage?

Wenn Teile zu einem neuen System zusammentreten, treten oft neue Eigenschaften auf, die keines der Teilsysteme hatte. Man spricht dann von *Emergenz*. Solche neuen Systemeigenschaften gibt es in großer Zahl, nicht nur, aber doch besonders auffällig in der Welt des Lebendigen, weshalb dieses Thema hier behandelt wird. Umstritten ist jedoch, ob die neuen Systemeigenschaften aus den Bestandteilen und ihren Beziehungen untereinander *erklärt* werden können. In vielen Fällen ist das gelungen. Ist es immer möglich? Der Reduktionist behauptet das; der Naturalist hofft und vermutet es, ist aber nicht darauf angewiesen, sondern durchaus willens, Systeme auch unabhängig von Reduktionsfragen zu untersuchen; der Holist bestreitet es.

Manchmal wird der Begriff *Emergenz* auf solche Fälle beschränkt, die *nicht* erklärt werden können. Ich halte das für unzweckmäßig. Erstens steht das lateinische *emergere* für *Auftauchen*, also für das Erscheinen von etwas, was auch vorher schon da war. Zweitens kann man dann nie wissen, ob ein bisher unerklärtes Merkmal emergent ist oder nicht; denn es *könnte* ja immer noch erklärt werden und würde damit den ihm zunächst zugeschriebenen Emergenz-Charakter wieder verlieren. Dass

etwas emergent ist, wäre dann kein Zug der Natur, sondern ein Merkmal unseres (unvollständigen) Wissens.

Im Grunde sind *alle* Natur- und Sozialwissenschaftler *Programmreduktionisten*: Sie versuchen, die Eigenschaften eines Gesamtsystems aus den Eigenschaften der Teilsysteme und deren Beziehungen untereinander zu erklären. Als Reduktionisten hoffen sie, dass es geht, als Holisten erwarten oder hoffen sie, dass es nicht geht. Klappt es, freuen sich die einen, klappt es nicht, fühlen sich die anderen bestätigt. Einen Erkenntnisgewinn gibt es dabei auf jeden Fall; deshalb werden es alle versuchen. Für die Forschungspraxis ist der Streit deshalb nicht sehr bedeutsam, für unser Weltbild allerdings schon.¹⁵

Eine neue Eigenschaft kann auch durch *Zufall* zustande kommen. Es gibt dann keine Ursache; und deshalb auch keine vollständige Erklärung. Und das Ereignis lässt sich in der Regel auch nicht wiederholen. Solche Zufälle gibt es viele; in der biologischen und in der kulturellen Evolution sind sie geradezu die Regel. Sie schränken unsere Prognosefähigkeit stark ein; doch stellen sie das naturalistisch-reduktionistische Programm, das ja, wie wir in Kap. 3.3 betont haben, mit dem Zufall rechnet, nicht wirklich in Frage.

5.4 *Wie ist das Leben entstanden?*

Erste Lebewesen sind höchstwahrscheinlich auf der Erde vor knapp 4 Milliarden Jahren entstanden. Wie das geschah, ist bisher weder genau beschrieben noch befriedigend erklärt. Der Grund ist einfach: Von den frühesten Lebensformen ist nichts übrig geblieben. Sie sind zerfallen, haben sich aufgelöst oder wurden verspeist. Wir können noch nicht einmal eine vernünftige Abschätzung für die *Wahrscheinlichkeit* der Lebensentstehung unter den damals herrschenden Bedingungen vorlegen. Sie *könnte* sehr groß sein, also nahe bei eins liegen („Leben musste geradezu zwangsläufig entstehen“); sie *könnte* aber auch sehr klein sein, also nahe bei null liegen („Leben war so gut wie unmöglich“). Für beide Seiten gibt es Vertreter. Es ist jedoch sinnlos, jedenfalls verfrüht, dafür Wahrscheinlichkeiten angeben zu wollen.

Für außerirdisches Leben gilt das erst recht. Außerdem wissen wir noch zu wenig über die Häufigkeit nicht nur erdähnlicher, sondern wirklich lebensfreundlicher Planeten. Die Annahme, das Leben sei

anderswo entstanden und habe die Erde erst belebt, ist bisher nicht widerlegbar; es gibt aber wenig, was für sie spricht. Auch wenn es schwierig ist, die Entstehung des Lebens auf der Erde zu erklären – eine Entstehung außerhalb der Erde ist auf jeden Fall noch viel schwieriger!

Der Naturalist hat keine Zweifel, dass das Leben auf natürliche Weise entstanden ist und dass seine Entstehung auch weitgehend erklärt werden kann. (Vgl. Kap. 5.2.) Möglicherweise finden wir eine befriedigende Erklärung erst dann, wenn wir Leben künstlich herstellen können. Die Fortschritte auf diesem Gebiet sind mühsam, sicher auch deshalb, weil in diese Forschung nicht viel investiert wird. Zurzeit wissen wir nicht einmal, wie weit wir noch von der Lösung dieses Problems, das einst als „Welträtsel“ galt, entfernt sind. Es *könnte* noch recht lange dauern; es *könnte* aber auch sein, dass heute jemand den Schlüssel zum künstlichen Leben findet und sich dann wundert, wie einfach es doch „eigentlich“ war – für die Forschung wie für die Evolution!

Es gibt Überlegungen, wonach die Entstehung des Lebens über Systeme gelaufen sein könnte, die es heute gar nicht mehr gibt, die aber das „Gerüst“ für die späteren DNA-Gene gebildet hätten. Auch hier passt der Vergleich mit dem romanischen Torbogen (aus Kap. 5.2), für den man ein Gerüst braucht, das man nach Einfügen des Schlusssteins wieder beseitigen kann. Ein Kandidat dafür sind nach A. Graham Cairns-Smith (*1931) lösliche Tonmineralien. Er spricht vom „genetic takeover“, von einer „genetischen Wachablösung“. Sie würde die Rekonstruktion der Lebensentstehung natürlich erschweren, weil die Zwischenstufen verschwunden sind.

5.5 *Wie entstand der Mensch?*

Sie ist nicht vollständig, aber weitgehend geklärt. Sie vollzog sich vermutlich in Afrika; die Ausbreitung erfolgte offenbar in mehreren „Wellen“.

Der Naturalist hat hier keine besondere Position. Er akzeptiert, was Anthropologie und Archäologie zu wissen glauben und noch herausfinden. Für Eingriffe eines höheren Wesens oder außerirdischer Besucher sieht er keinerlei Hinweise. Nach wie vor erstaunlich ist allerdings die rasante Entwicklung des Menschen, was die Größe und Vernetzung des Gehirns betrifft, sodass man für die Zeit 60 000 bis 40 000 vor heute von einem dramatischen kulturellen Entwicklungssprung annimmt.

Dass Charles Darwin in seinem Hauptwerk „Über den Ursprung der Arten“ (1859) den Menschen nur mit einem einzigen Satz erwähnt, ist nicht so zu verstehen, dass er ihn aus der biologischen Evolution ausnehmen wollte, wie das etwa sein Konkurrent Alfred Russel Wallace versuchte. Vielmehr wollte Darwin seine Gegner trennen, wohl wissend, dass er solche in großer Zahl haben würde. Das hat ihm allerdings nicht viel genützt; denn jedem aufmerksamen Leser musste sofort klar sein, dass der Mensch unweigerlich in diese Theorie einbezogen werden musste. Als Darwin dann zwölf Jahre später „Die Abstammung des Menschen“ (1871) veröffentlichte, waren ihm einige schon zuvorgekommen, insbesondere Thomas Huxley und Ernst Haeckel.

5.6 Entstehung der Sprache

Die Entstehung und Entwicklung der Sprachfähigkeit ist zwar unbekannt und schwer zu rekonstruieren (und ist deshalb Gegenstand zahlreicher Spekulationen). Doch lässt sich das leicht erklären: Sprachfähigkeit und Sprache hinterlassen keine Spuren. Und die lebenden Sprachen haben zwar nicht alle die gleiche Komplexität; aber selbst die einfachsten Sprachen führen uns allenfalls um einige Jahrtausende zurück.

Der Naturalist sieht jedoch keinen Grund, an einer natürlichen Entstehung der Sprachfähigkeit und der Sprachen zu zweifeln. Das Hauptproblem ist, wie es zur Entstehung von *Bedeutung* (meaning), letztlich also von Semantik kommt. Hier bietet die *Teleosemantik* von Ruth Millikan (*1933) einen einleuchtenden und vor allem durchweg naturalistischen Ansatz.¹⁶ Sie erklärt Gedanken und damit auch Bedeutungen *evolutionär*. Wer etwa gefährliche Situationen intern, also im Gehirn, tatsächlich als gefährlich repräsentiert, hat evolutionäre Vorteile. So haben sich geeignete interne Repräsentationen durchgesetzt. Auch hier wird also die Korrespondenztheorie der Wahrheit zugrunde gelegt.

5.7 Wie erklären wir Zweckmäßigkeit in der Natur? Teleologie oder Teleonomie?

Die Zweckmäßigkeit in der belebten Natur ist unverkennbar. Dem Theologen William Paley (1743–1805) diente sie als Argument für die Existenz eines Planers und Schöpfers, also für den so genannten *teleolo-*

gischen Gottesbeweis. Auch der Physiker Max Planck (1858–1947) stand dieser Auffassung nahe.

Teleologie ist die (Lehre von der) Zielgerichtetheit einiger oder aller Prozesse. Eingeführt wurde das Wort von dem Leibniz-Schüler Christian Wolff (1679–1754).

Teleonomie ist gen-erhaltende Zweckmäßigkeit aufgrund eines evolutiv entstandenen (inneren, genetischen) Programms (und nicht als Werk eines zwecksetzenden Wesens). Das Wort wurde 1956 von dem Biologen Colin S. Pittendrigh (1918–1996) eingeführt, um den metaphysisch-religiösen Beigeschmack abzuschütteln, der in der Regel mit teleologischem Denken und Sprechen verbunden ist. Leider wurde der Begriff in der Folgezeit wieder etwas verwässert.

Der Naturalist anerkennt die Zweckmäßigkeit der Organismen, hält diese Zweckmäßigkeit aber für erklärbar und bereits weitgehend erklärt durch die Evolutionstheorie, insbesondere durch das Prinzip der natürlichen Auslese. Er akzeptiert also Teleonomie, jedoch keinerlei Teleologie. Nur Menschen und einige höhere Tiere können *Absichten* haben, Pläne schmieden, die Zukunft in ihre Überlegungen einbeziehen.

Für Außenstehende ist der Sprachgebrauch der Biologie allerdings oft irreführend. Die vermeintlich finale Sprechweise der Biologen lässt sich jedoch verlustlos in eine kausale Sprechweise rückübersetzen.

5.8 *Hat das Universum, das Leben, der Mensch, die Evolution, die Geschichte einen Sinn?*

Was meinen wir mit *Sinn*? Hier meinen wir Zweck, Bestimmung, Aufgabe, Funktion. Wir könnten also auch fragen: Ist das Universum für irgendetwas gut? Da wir ohne unser Universum nicht existieren würden, liegt es nahe, den Sinn (oder Zweck) des Universums im Menschen zu sehen. Das ist aber kein gutes Argument, da ohne das Universum überhaupt nichts existieren würde; dann müssten wir also alles, was es überhaupt gibt, als Sinn des Universums ansehen.

Der Naturalist hat auf diese Frage eine einfache Antwort: Einen objektiven Sinn *gibt es nicht*. Aber wir können unserem je eigenen Leben einen Sinn *geben*.¹⁷ Diesen privaten Sinn anderen zu vermitteln, ist allerdings recht schwierig, was sich insbesondere auf die intersubjektive Akzeptanz moralischer Normen auswirkt.

6. Leib-Seele-Problem

6.1 *Wie steht der Naturalist zum Leib-Seele-Problem?*

Man spricht auch vom Körper-Geist-Problem oder vom Gehirn-Bewusstseins-Problem. Es besteht aus mehreren Fragen: (1) Wie viele Seinsebenen (Substanzen) gibt es? (2a) Wenn eine, wie der Monist meint, welche ist es und wie kommt es dann zu dem jeweils anderen Aspekt? (2b) Wenn aber zwei (oder gar mehr), wie Dualisten vermuten, wie können diese Seinsebenen miteinander wechselwirken? Die Antworten sind immer noch heftig umstritten. Das liegt aber nicht daran, dass niemandem eine Antwort eingefallen wäre, sondern daran, dass es so viele konkurrierende Antworten gibt.

Der Naturalist neigt zur *Identitätstheorie*: Geist, Seele, Bewusstsein sind Funktionen eines natürlichen Organs, des Gehirns. Zustände und Vorgänge in unserem Gehirn werden von außen und von innen sehr unterschiedlich wahrgenommen bzw. erlebt. Die Identitätstheorie ist monistisch-materialistisch und benützt ein projektives Modell, wonach Innen- und Außenaspekt verschiedene *Projektionen* von Gehirnvorgängen sind. Dass diese Projektionen so unterschiedlichen Charakter haben, sogar inkommensurabel zu sein scheinen, liegt an den völlig verschiedenen Zugängen zum Innen und zum Außen.

In dieser Sichtweise verschwindet auch der vermeintlich fundamentale Unterschied zwischen Gründen und Ursachen: Das Zustandekommen einer Überzeugung oder einer Entscheidung ist *verursacht*, wird aber innerlich nur unvollständig wahrgenommen und manchmal als *begründet* erlebt. Vereinfacht können wir also sagen: Gründe sind Ursachen besonderer Art. Dass sie sprachlich formuliert und mitgeteilt werden können, macht sie für uns besonders wichtig.

Was spricht für die Identitätstheorie? Zunächst einmal die *Ontogenese*, die Entstehung eines Individuums: Aus einem Zellverbund, der nach allem, was wir zu wissen glauben, kein Bewusstsein hat, wird in nahezu kontinuierlicher Weise ein Wesen mit Bewusstsein. Was liegt näher, als hier ein Heranreifen neuer Eigenschaften zu vermuten. – Ein weiteres, weitgehend strukturgleiches Argument liefert die *Phylogenese*, die Stammesgeschichte. Auch in der biologischen Evolution sind Systeme mit Bewusstsein ganz allmählich entstanden, ohne dass es einen größeren Sprung gegeben haben müsste. – Schließlich ist es für den Identitätstheo-

retiker nicht erstaunlich, dass *Verletzungen* des Gehirns – durch Unfall, Operation, Tumor, Krankheiten, Drogen – zu mentalen Veränderungen führen, während der Dualist, insbesondere der Interaktionist, hierfür ganz ominöse Wechselwirkungen annehmen muss, die bisher in keiner Weise präzisiert oder gar empirisch nachgewiesen werden konnten.

Auch im Hinblick auf die *Kritisierbarkeit* schneidet die Identitätstheorie besser ab: Nach der Identitätstheorie ist jeder mentale Vorgang mit einem neuronalen Vorgang verbunden, letztlich ja sogar mit ihm identisch. (Die Umkehrung gilt nicht: Die meisten neuronalen Vorgänge sind uns nicht bewusst.) Diese identitätstheoretische Behauptung ist im Prinzip empirisch prüfbar: Fände sich ein mentaler Vorgang, dem nachweislich *kein* neuronaler Vorgang entspricht, so wäre die Identitätstheorie widerlegt. Allerdings kann sich der Identist immer damit herausreden, dass ein von ihm vermuteter neuronaler Vorgang durchaus existiere, aber eben bisher noch nicht gefunden sei.¹⁸

6.2 Gibt es Zombies?

„Zombies“ nennt man in diesem Zusammenhang fiktive, sehr menschenähnliche, aber völlig seelenlose Maschinen, Roboter ohne Geist, ohne Bewusstsein, ohne den Innenaspekt, ohne Qualia. Kann es solche Zombies geben?

Dualisten, zum Beispiel Popper, sagen ja und benützen das als Argument für den (nichtmateriellen) Sonderstatus des Geistes. Naturalisten, insbesondere Identitätstheoretiker, also Monisten, sagen nein. Wie kommen sie dazu?

Zunächst gilt: Wir wissen, dass es innere Zustände gibt, weil wir sie selbst haben. Wenn es nun Zombies gäbe, wären sie nicht zu erkennen; so sind sie ja gerade definiert. Aber Systeme mit anderen oder gar keinen Bewusstseinszuständen hätten – eben wegen der Identität – auch *andere neuronale* Zustände und wären daran eben doch zu erkennen.

Dass wir innere Zustände haben, ist ein Ergebnis der biologischen Evolution. Die Evolution hätte anders verlaufen *können*; es hätte also passieren können, dass so etwas wie Bewusstsein nie entsteht. Aber sie ist nun einmal nicht so verlaufen. Vermutlich war und ist es ein Vorteil, Bewusstsein zu haben. Hier braucht man also den *Evolutionären Naturalismus*.

6.3 Gibt es eine unsterbliche Seele?

Eine hilfreiche Definition von ‚Seele‘ kenne ich nicht; es mag sie aber geben. Die Unsterblichkeit der Seele, wie auch immer sie definiert sein mag, setzt jedenfalls den Dualismus voraus, insbesondere eine von der materiellen Basis weitgehend unabhängige Seinsweise.

Der Naturalist lehnt den Dualismus ab, damit auch die Unsterblichkeit der Seele. Für Unsterblichkeit gibt es viele Hoffnungen und einige Befürchtungen; einen belastbaren Hinweis auf Unsterblichkeit gibt es nicht. Im Gegenteil: Bisher hat sich alles Lebendige als sterblich erwiesen. Und einen Nachweis für Unsterblichkeit kann und wird es deshalb auch nie geben.

6.4 Wie ist das Bewusstsein entstanden?

Dass es einen solchen Innenaspekt gibt, dem Wahrnehmung, Bewusstsein, Ich, Qualia, Intentionalität zu verdanken sind, ist nicht zu bestreiten; *wie* er entstanden ist und *wie* er arbeitet, ist jedoch bisher nicht geklärt. Selbst der Naturalist, im Hinblick auf künftige Erkenntnisse sonst eher optimistisch, muss einräumen, dass hier noch keine befriedigende Antwort in Sicht ist. Der evolutionäre Naturalist ist allerdings überzeugt, dass Bewusstsein eine späte Errungenschaft der Evolution ist, dass insbesondere eine bestimmte *Mindestkomplexität* des Zentralnervensystems, vor allem des Gehirns, erforderlich ist, um Qualia entstehen zu lassen. Und mit Sicherheit gibt es auch hier keinen plötzlichen Sprung, sondern eine lange Entwicklung mit vielen Teilschritten.

Ordnet man die Rätsel des Lebens auf einer Härteskala, so ist die Entstehung des Lebens zwar bisher ungeklärt, doch scheint die Hoffnung auf eine künftige Klärung durchaus realistisch. Auch die ungeheure Zunahme an Komplexität im Laufe der Evolution wird man wohl nicht nur beschreiben, sondern auch erklären können. Dagegen könnte es sein, dass wir dem „Welträtsel“ Bewusstsein nicht auf die Spur kommen. Um aber herauszufinden, ob es nicht doch lösbar ist, bleibt gar nichts anderes übrig, als seine Lösung hartnäckig zu verfolgen. Dabei können zahlreiche Disziplinen hilfreich sein: Studien der Ontogenese (Individualentwicklung), Studien der Phylogenese (Stammesgeschichte), Psychologie, Verhaltensforschung, insbesondere der Artvergleich, sowie Computer- und Robotertechnik.

6.5 Gibt es außerirdisches Leben, außerirdische Intelligenz?

Der Naturalist wird jede *begründete* Antwort akzeptieren. Im Augenblick und vermutlich für viele Jahrzehnte gilt jedoch: Wir haben keine Ahnung! *Theoretisch* können wir dafür keine Wahrscheinlichkeiten angeben (dazu auch Kap. 5.4); und *empirisch* wird außerirdisches Leben sehr schwer nachzuweisen sein, außerirdische Intelligenz allenfalls durch intelligente Signale, die ihrerseits äußerst unwahrscheinlich sind. Dass wir auf dem Mars – etwa durch die Marssonde Curiosity – Leben oder Spuren früheren Lebens finden, das vom irdischen Leben unabhängig entstanden wäre, ist denkbar, wäre aber ein besonderer Glücksfall und ist äußerst unwahrscheinlich.

6.6 Gibt es Künstliche Intelligenz? Kann es sie geben?

Die Definition von *künstlich* ist einfach, die von *Intelligenz* schwierig. Ein Vorschlag wäre: Ein System ist *intelligent* genau dann, wenn es sich in subjektiv neuen Situationen angemessen (also problemlösend) verhält. Gegen diese Definition kann man allerdings berechtigte Einwände erheben. Insbesondere ist unklar, wann ein Verhalten angemessen ist. Aber wir brauchen diese Definition nicht unbedingt: Wir nehmen an, wir wüssten bereits, was Intelligenz ist, und fragen, wann wir einem Artefakt eben diese Art von Intelligenz zuschreiben. Versuchsweise sagen wir: Die Leistung eines Artefakts – oder das Artefakt selbst – ist *intelligent*, wenn ein Mensch Intelligenz braucht, um eben diese Leistung zu erbringen. Danach wäre der Schachcomputer, der den Schachweltmeister besiegt, intelligent. (Wir könnten auch sagen, er habe den Turing-Test, der nur die Leistung bewertet, auf diesem speziellen Gebiet bestanden.)

Auch dagegen gibt es einen ernsthaften Einwand: Der Computer arbeitet meist ganz anders als der Mensch, der weltbeste Schachcomputer etwa mit *brute force* (er prüft alle möglichen Zugfolgen bis zu einer vorgegebenen Länge) statt wie der Mensch strategisch. Das ist zwar effektiv, aber nicht intelligent, sondern stumpfsinnig.

Ein Gegeneinwand: Offenbar nehmen wir das Prädikat *intelligent* immer dann zurück, wenn wir wissen, wie die jeweilige Leistung erbracht wird. So werden wir bei der Verleihung dieses Prädikates

immer anspruchsvoller. Das fordert die Frage heraus: Sollten wir einmal wissen, wie der Mensch intelligente Leistungen erbringt, werden wir dann auch ihn nicht mehr als intelligent ansehen?

Da für den Naturalisten das Gehirn und seine Leistungen völlig natürlich sind, hält er auch künstliche Intelligenz für möglich, in Teilbereichen sogar schon für verwirklicht. Soweit allerdings Intelligenz an Bewusstsein gebunden ist, sieht er vorerst keine Möglichkeit, künstliche Intelligenz zu *schaffen*. Dazu wissen wir noch zu wenig über das Zustandekommen des Innenaspekts, der Qualia.

6.7 *Ist der Mensch dem Computer, allgemeiner jeder Maschine überlegen?*

Nach Kurt Gödel kann der Mensch zu jeder Maschine einen Satz konstruieren, den er als wahr erkennen kann, die Maschine aber nicht. Lucas und andere haben daraus geschlossen, der Mensch sei der Maschine *überlegen*. Dieses Argument ist jedoch nicht schlüssig. Denn es gilt auch umgekehrt: *Wenn* das menschliche Gehirn algorithmisch arbeitet, kann nach Gödel auch der Computer zu jedem Menschen einen Satz konstruieren, den die Maschine als wahr erkennen kann, der Mensch aber nicht! Hier herrscht also völlige Symmetrie. Es bleibt somit die Frage: *Arbeitet das menschliche Gehirn algorithmisch?* Der Naturalist neigt dazu, diese Frage zu bejahen, wird jedoch die nachgewiesene Beteiligung von Zufallsereignissen ohne weiteres akzeptieren. Nach Ergebnissen der Metamathematik gibt es jedoch zwischen Menschen und heutigen Maschinen zwei wichtige Unterschiede.¹⁹

a) Mathematiker (also Menschen) haben in langen geistesgeschichtlichen Prozessen fruchtbare Konzepte entwickelt und haben dabei vermeintliche Grenzen dann doch überschritten. Insbesondere liefert die Mengenlehre Präzisierungen des Unendlichkeitsbegriffs, die Analysis Präzisierungen des Kontinuumsbegriffs. Es ist völlig unklar, wie Computerprogramme es schaffen sollten, derart wirkungsvolle Konzepte zu entwickeln.

b) Ein Programm könnte zwar aus vorgegebenen Axiomen sehr schnell sehr viele Theoreme ableiten, es könnte jedoch nicht erkennen, welche davon *interessant* bzw. „tief“ sind. Es würde in einem Wust von trivialen Sätzen geradezu ersticken. Wenn wir heute von Computer-

beweisen lesen, so handelt es sich fast ausschließlich um bereits bekannte Vermutungen, deren Beweis so viele Einzelschritte erfordert hätte, dass kein Mensch den Beweis jemals hätte erbringen können.

Auch und gerade für den Naturalisten bleibt also herauszufinden, welche Besonderheiten das Gehirn befähigen, eben solche Leistungen zu erbringen, die wir der Maschine vorläufig nicht zutrauen. Einen Grund, warum das auf Dauer unmöglich sein sollte, sieht der Naturalist allerdings nicht.

7. Willensfreiheit

7.1 *Hätte ich auch anders handeln können?*

Ich habe etwas getan. Hätte ich – unter denselben Naturgesetzen, Rand- und Anfangsbedingungen – auch anders handeln können? Die Antwort ist, auch und gerade im Zusammenhang mit der heutigen Hirnforschung, höchst umstritten. Das Problem der Willensfreiheit ist – wie das Leib-Seele-Problem – geradezu ein Dauerbrenner der Philosophie. Der Libertarier sagt: Ja, manchmal (oft, meistens). Der Determinist sagt: Nein, nie.

Der Naturalist sagt ebenfalls nein. Auch Zufall (dazu Kap. 3.3) schafft keine Willensfreiheit. Der Naturalist ist also zwar im Rahmen der Naturphilosophie kein Determinist, da er sowohl relativen als auch absoluten *Zufall* anerkennt; in der Frage der Willensfreiheit ist er jedoch Determinist, da er die Möglichkeit bestreitet, trotz identischer Bedingungen anders zu handeln, als man tatsächlich gehandelt hat.²⁰

7.2 *Wenn nein: Kann der Determinist dann überhaupt noch von Willensfreiheit reden?*

Im obigen alternativistischen Sinne (ja, ich hätte anders handeln können) nicht. Ist das einmal geklärt, dann kann man versuchen, Willensfreiheit in einem kompatibilistischen Sinne zu explizieren, also so, dass sie mit dem Determinismus *vereinbar* wird. Das wird vielfach versucht. Ein Motiv für diese Suche liegt darin, dass es sehr schwer oder sogar unmöglich erscheint, libertarische Redeweisen unserer Alltagssprache

zu vermeiden oder zu verbieten. Unter den vielen diskutierten Möglichkeiten gefällt mir am besten die Formulierung von Wolfgang Büchel: Willensfreiheit ist Dominanz des rationalen Steuerungssystems über das triebhaft-instinktive.²¹ Danach dürfen wir von Willensfreiheit sprechen, wenn unsere Entscheidung auf rationaler Ebene gefallen ist oder als solche rekonstruiert werden kann. In dieser Explikation ist der deterministische Charakter der verschiedenen Steuerungssysteme, auch des rationalen, und der getroffenen Entscheidung noch spürbar – wie es um der Klarheit willen ja auch sein soll.

7.3 Was ist dann Verantwortung?

In einer Maximalexplikation (die viele Forderungen stellt) könnten wir sagen: *Verantwortung ist der gesellschaftliche Auftrag* und die Fähigkeit, bewusst, freiwillig, mit Gründen und entsprechend der persönlichen Werteordnung sich für (oder gegen) eine Handlung zu entscheiden, *sich die Handlung* und ihre Folgen *zurechnen zu lassen* und für die voraussehbaren Folgen einzustehen. Hiernach würde man also freien Willen voraussetzen.

Die Minimalexplikation (besonders wenige Forderungen) ist hier schon kursiv gesetzt: *Verantwortung ist der gesellschaftliche Auftrag, sich eine Handlung zurechnen zu lassen.* (Noch kürzer wäre: *Verantwortung ist Zurechenbarkeit.*) Hier wird keine Willensfreiheit vorausgesetzt; offenbar kann man aber trotzdem noch von Verantwortung sprechen. Der Determinist muss, der Naturalist kann sich mit einem solchen etwas weiteren Verantwortungsbegriff zufrieden geben.

7.4 Kann man dann noch strafen?

Dazu fragen wir zunächst nach dem Sinn von Strafe, also nach ihrer *Funktion*: Die vier traditionell angenommenen Funktionen sind: Sühne (im Sinne ausgleichender Gerechtigkeit), Besserung oder Abschreckung des Täters (Spezialprävention), Abschreckung anderer (Generalprävention), Schutz der Gesellschaft. In einer naturalistischen, also insbesondere deterministischen Auffassung wird der Sühnegeranke aufgegeben; die übrigen Funktionen bleiben erhalten und genügen für die Rechtfertigung.

tigung von Strafe. Der Schuldbegriff muss dann entweder ebenfalls aufgegeben oder nur noch im Sinne der Urheberchaft expliziert werden.

8. Religion

8.1 *Wie hast du's mit der Religion? (Gretchenfrage 1)*

Es ist nützlich, die Erklärungen für das Bestehen vieler Religionen von den religiösen Inhalten zu trennen. Religionswissenschaftlich wird zurzeit viel geforscht, allerdings auch spekuliert. Es scheint belegt zu sein, dass Religiosität biologisch-evolutionäre Wurzeln hat. Dann ist auch anzunehmen, dass Religiosität Überlebensvorteile bot. Daraus folgt nicht zwingend, dass diese Vorteile heute noch bestehen. Doch gilt anscheinend auch heute, dass gläubige Menschen im Durchschnitt gesünder und glücklicher sind und mehr Kinder haben. Leider überträgt sich dieses Glück nicht auf Ungläubige, die in einer religiös geprägten oder gar beherrschten Gemeinschaft leben oder leben müssen.

Inhaltlich lehnt der Naturalist nicht nur alle Transzendenz ab, sondern – wenn er, was er sollte, den Fallibilismus auf sich selbst anwendet – auch jeden Dogmatismus, ferner die Berufung auf Heilige Schriften, auf Offenbarung von Wahrheiten und von Normen, also von Geboten, Verboten und Erlaubnissen. Er verzichtet auf Bekehrungsversuche und Missionierung, wie sie für fast alle Religionen typisch sind. Er kann sich deshalb keiner Religion zugehörig fühlen. Auch für ihn dürfte es sich jedoch lohnen, nach religionsanalogen Regeln zu suchen, um unser Zusammenleben langfristig erträglich zu gestalten. Die Menschenrechte sind dafür sicher ein gutes Beispiel.

8.2 *Glaubst du an Gott? (Gretchenfrage 2)*

Der Naturalist glaubt nicht an Gott, nicht an dessen Existenz und erst recht nicht an die ihm zugeschriebenen Eigenschaften. Er sieht keinerlei Anlass oder Grund, ein übernatürliches Wesen anzunehmen, sei dieses nun personal gedacht oder nicht.

Im Hinblick auf die Eigenschaften Gottes sieht er viele Probleme.

Formale Probleme bieten schon die All-Eigenschaften: Kann Gott einen Stein schaffen, der so schwer ist, dass er ihn selbst nicht heben kann? Auf inhaltliche Probleme führt die Vereinbarkeit der drei Eigenschaften Allmacht, Allwissen und Allgüte. Das schwierigste Problem ist wohl das Theodizee-Problem, die Frage nach der Rechtfertigung Gottes für die Übel dieser Welt, vor allem für das Leid bei Mensch und Tier.

Der Pantheismus – Gott ist alles und überall – ist, wie Schopenhauer sagt, nur eine höfliche Form des Atheismus: Man spricht von Gott, könnte aber ebenso gut „die Welt“, „die Natur“ oder „die Gesamtheit der Naturgesetze“ sagen. Auch ein Gott, der nichts weiter getan hat, als die Welt zu schaffen, und sich seither zurückhält (Deismus), löst kein einziges Erklärungs- oder Rechtfertigungsproblem; denn woher käme er, und wieso sollte ich seinen Geboten folgen?

Wird also *Glaube* in einem religiösen Sinne verstanden, so glaubt der Naturalist überhaupt nichts. Aber natürlich hat er Vermutungen, Meinungen, Überzeugungen. Auch bei schwachen Überzeugungen spricht man von *Glauben*. Vielleicht sollte man besser davon sprechen, dass der Naturalist von bestimmten Annahmen ausgeht, vielfach auch von ungeprüften, aber bereit ist oder wenigstens bereit sein sollte, jede dieser Annahmen *bei Bedarf* in Frage zu stellen. (Solches Infragestellen prägt die philosophische Methode.) Allerdings kann man niemals alle Annahmen auf einmal in Frage stellen; dies ist aber nicht nur dem Naturalisten verwehrt.

8.3 Gibt es einen schlüssigen Gottesbeweis?

Angebliche Gottesbeweise gibt es viele; keiner ist zwingend. Dass noch ein schlüssiger Beweis gefunden wird, ist unwahrscheinlich.

Die Pascalsche Wette (Du solltest glauben, dann ist dein Schaden im Falle eines Irrtums gering; im umgekehrten Falle ist er groß; also Glaube als eine Art Rückversicherung.) ist nicht nur kein Beweis, sondern nicht einmal ein Argument für die Existenz Gottes, sondern ein pragmatischer Rat, warum man sicherheitshalber an Gott glauben sollte. Letztlich handelt es sich dabei um einen Trick, auf den Gott bestimmt nicht hereinfällt: Was wird Gott von einem Menschen halten, der nur glaubt, um sich Fegefeuer oder Hölle zu ersparen?²²

8.4 Religiöse Erlebnisse – was ist davon zu halten?

Das Erscheinungsbild ist vielfältig: Gesichte, Erscheinungen, Erleuchtungen, Bekehrungserlebnisse, Gebete. In welchem körperlichen oder geistigen Zustand jemand solche Erlebnisse hat, sind Fragen für Medizin, Psychologie und Psychiatrie.

Der Naturalist kennt Träume, Wachträume, Rauschzustände, Halluzinationen unter Hunger, Durst oder Fieber, Suggestion, Hypnose. Auch wenn hier längst nicht alles geklärt ist, hat er doch keinen Zweifel, dass hierfür ausschließlich natürliche Vorgänge verantwortlich sind. Für religiöse Erlebnisse verlangt er deshalb sorgfältige Definitionen. Da er Transzendentes nicht kennt, gibt es für ihn auch keine Verbindung zum Transzendenten. Ähnlich wie bei Wundern wird er deshalb Selbsttäuschung für wahrscheinlicher halten.

8.5 Agnostizismus oder Atheismus?

Der Naturalist ist entweder Agnostiker oder Atheist. Der *Agnostiker* hält die Fragen nach der Existenz und den Eigenschaften Gottes für unbeantwortbar. Er sagt nicht nur, er wisse es nicht, sondern meint auch, das könne man nicht wissen. Der *Atheist* dagegen behauptet, Gott oder Götter gebe es nicht.

Agnostizismus gibt es in zwei Varianten. Die erste ist bequem: Sie beschränkt sich auf den zutreffenden Hinweis, dass die Existenz (eines) Gottes weder bewiesen noch widerlegt werden kann. Sie lässt alles offen, erhebt keinen Wissensanspruch, macht weder eine Existenz- noch eine Nichtexistenzaussage. Die zweite Variante ist eine Folge gründlichen Nachdenkens. Manche berufen sich darauf, dass das Wort ‚Gott‘ keine verständliche Bedeutung habe, sodass auch die Frage nach Gott unverständlich und schon deshalb unbeantwortbar sei.²³ Andere halten Wort und Frage für einigermaßen verständlich, sehen aber keine Möglichkeit, eine begründete Antwort zu geben.

Der Atheist vertritt hingegen eine These, genauer eine Nichtexistenzbehauptung, die er dann auch verteidigen können sollte. Wann sind wir berechtigt, die Existenz bzw. die Nichtexistenz von etwas anzunehmen bzw. zu behaupten? Man könnte meinen, zwischen Existenz und Nichtexistenz und ebenso zwischen Beweis und Widerlegung bestünde

eine gewisse Symmetrie und damit zwischen Theisten und Atheisten eine Pattstellung. Rein logisch ist das richtig, erkenntnistheoretisch und wissenschaftslogisch jedoch nicht. Zwischen All- und Existenzaussagen besteht vielmehr im Hinblick auf die Wahrheitsfindung eine bedeutsame *Asymmetrie*: Allaussagen lassen sich nicht beweisen, aber – durch ein einziges Gegenbeispiel – widerlegen. Existenzaussagen lassen sich – durch ein einziges Beispiel – belegen, aber nicht widerlegen. *Deshalb* verlangen wir von dem, der eine Existenzbehauptung aufstellt, einen Beleg. (Einen Beweis verlangen wir dagegen wegen der Vorläufigkeit unseres Wissens nicht.) Andernfalls müssten wir ja alles für existent halten, was wir nicht widerlegen können: Nessie, Yeti, Spaghettimonster, letztlich alles, was Metaphysiker, Dichter, Science-Fiction-Autoren und Scherzbolde aller Art sich ausgedacht haben. Die Beleglast für Existenzaussagen liegt deshalb beim Behauptenden. Kann ein solcher Beleg trotz vieler Bemühungen nicht beigebracht werden, dann liegt es nahe, die Existenz zu bestreiten. Überzeugende Belege für die Existenz Gottes oder von Göttern sind bisher jedenfalls nicht aufgetaucht. Es entspricht deshalb dem allgemeinen Verfahren der Erfahrungswissenschaft, die Existenz Gottes zu bestreiten. Eben das tut der Atheist.

8.6 *Gibt es Engel, Teufel, Dämonen, Gespenster, Geister?*

Der Naturalist antwortet: All das gibt es nicht. An sie zu glauben, ist vielleicht gelegentlich hilfreich, öfter aber – wegen der damit verbundenen Ängste und der leichten Erpressbarkeit – schädlich.

An *Schutzengel* zu glauben, kann nützen, weil es Mut macht und Schwierigkeiten überwinden hilft; manchmal wird es aber auch schaden, weil es Leichtsinn fördert und zu großen Enttäuschungen führt. So ist schon mancher durch selbst erlittenes oder miterlebtes Leid zum Atheisten geworden. Es soll aber nicht bestritten werden, dass es den umgekehrten Fall im Sinne des biblischen Hiobs auch gibt.

8.7 *Gibt es Wunder?*

„Das Wunder ist des Glaubens liebstes Kind.“ lässt Goethe seinen Faust sagen (Zeile 766). (Eben deshalb behandeln wir diesen Punkt unter *Religion*.)

Wir könnten es uns leicht machen: Wir definieren Naturgesetze als ausnahmslose Regelmäßigkeiten in der Natur und Wunder als Verstöße gegen diese Naturgesetze. Wenn nun ein Ereignis einem vermeintlichen Naturgesetz widerspricht, dann ist die Regelmäßigkeit eben doch nicht ausnahmslos, also auch kein Naturgesetz. Wunder gibt es dann einfach nicht. Diese Antwort ist analytisch: Sie folgt aus den hier gegebenen Definitionen der vorkommenden Begriffe. Sie ist klar, aber unbefriedigend.

Wir definieren deshalb etwas anspruchsvoller: Ein Wunder ist ein seltenes Ereignis, das den anerkannten „eigentlich“ geltenden Naturgesetzen widerspricht, aber durch eine außerweltliche (höhere, transzendente, meist göttliche) Instanz bewirkt wird.

Der Naturalist bestreitet, dass es Wunder gibt. Wird ein vermeintliches Naturgesetz überzeugend verletzt, dann wird er dieses vermeintliche Naturgesetz für falsch halten. Wegen der Vorläufigkeit unseres Wissens, die der Naturalist anerkennt, ist ein solcher Fall kein ernsthaftes Argument gegen das naturalistische Weltbild. Je besser das Naturgesetz allerdings belegt schien, desto anspruchsvoller und kritischer wird er gegenüber dem Nachweis einer angeblichen Verletzung sein.

9. Moral

9.1 Ist eine naturalistische Moralbegründung möglich?

„Wenn es keinen Gott gibt, dann ist alles erlaubt!“ soll Dostojewski in einem Brief geäußert haben. Nun mag Dostojewski für vieles ein guter Gewährsmann sein; die hier zitierte Behauptung ist gleichwohl falsch. Es gibt genügend Instanzen, die mir sagen, was geboten, verboten, erlaubt ist.

Zwar ist für den Naturalisten eine *Letztbegründung* für moralische Normen tatsächlich unmöglich. Das gilt aber auch für göttliche Gebote und Verbote; denn wie kann ich erkennen, dass die Gebote wirklich von Gott stammen, und was kann mich überzeugen, dass ich gerade diesen Geboten folgen sollte? Eine *relative Begründung* ist jedoch möglich, wenn und soweit wir uns auf einige *Grundnormen* einigen.

9.2 Bausteine einer naturalistischen Moralbegründung

a) Dazu gehören zunächst einmal *Symmetrieprinzipien* wie die Forderung der Verallgemeinerbarkeit, die Goldene Regel, Kants Kategorischer Imperativ, der Schleier der Unwissenheit oder das Prinzip der Fairness bei John Rawls, oder eine vernünftige Verteilung der Begründungslast (einer Begründung bedarf dabei nicht die Gleichbehandlung, sondern die Ungleichbehandlung). Für den Vorschlag, mit Symmetrieprinzipien anzufangen, gibt es eine *pragmatische* Begründung: Wenn wir nur die Abweichungen von der Symmetrie begründen müssen, haben wir viel weniger Arbeit! Ähnlich gilt: Da man niemals alles ändern kann und in aller Regel mehr erhalten bleibt, als geändert wird, ist es viel *einfacher*, nur die Veränderungen begründen zu müssen und nicht das, was erhalten bleiben soll. Deshalb fordert etwa der Staatsrechtler Martin Kriele: „Die Beweislast trägt der Veränderer.“ Das gilt dann auch für Begründungsprobleme der Ethik.

b) Zu einer naturalistischen Moralbegründung gehören ferner *Brückenprinzipien*, die – wenn wir sie akzeptieren – einen Übergang von Fakten zu Normen ermöglichen. Ein Beispiel ist das Sollen-Können-Prinzip: „Normen sollten befolgt werden können.“ Oder, wie schon die Römer wussten: „Ultra posse nemo obligatur. Über sein Können hinaus ist niemand verpflichtet.“ Sie sind Vereinbarungs- und Erfolgssache. Während Symmetrieprinzipien häufig diskutiert werden, sind Natur und Bedeutung von Brückenprinzipien noch weitgehend unbekannt. Ihre Rolle hat zuerst Hans Albert betont.²⁴

c) Dazu gehören schließlich einige *Grundnormen* inhaltlicher Art, zum Beispiel die Maxime: „Wir sollten dafür sorgen, dass es künftigen Generationen nicht schlechter geht als uns!“ Hier ist eine Einigung am schwierigsten.

Naturalistische Ethik-Ansätze vertreten vor allem Hans Albert (*1921, kritischer Rationalismus), David Gauthier (*1932, Vertragstheorie), Norbert Hoerster (*1937, Interessen), Peter Singer (*1946, Präferenzutilitarismus). Allen diesen Ansätzen ist gemeinsam, dass sie auf metaphysische Begründungsinstanzen verzichten und deshalb eine Letztbegründung weder anstreben noch liefern.

Zwar gibt es absolute Sicherheit weder bei Fakten noch bei Normen. Doch lassen sich Tatsachenbehauptungen in vielen Fällen auf ihre Wahrheit prüfen, normative Sätze dagegen nicht in gleicher Weise auf

ihre Geltung. Es liegt deshalb im Interesse des Naturalisten, die Zahl der Grundnormen möglichst gering zu halten und dafür möglichst viel Faktenwissen in die Argumentation einfließen zu lassen.²⁵

9.3 *Evolutionäre Ethik*

Ein naturalistischer Ansatz ist insbesondere die *Evolutionäre Ethik*. Zwar lassen sich aus der Evolution keine Normen begründen. Insbesondere ist Überleben in der Evolution weder ein Ausweis für moralische Qualität noch für moralische Verwerflichkeit. Die Evolutionsbiologie kann uns aber Hinweise geben, in welchem Maße unser Verhalten evolutionär bedingt ist; so können wir wenigstens erfahren, welche Wurzeln es hat. Und daraus lernen wir, warum einige moralische Forderungen leicht, andere schwer zu befolgen sind. Die Soziobiologie ist dabei besonders hilfreich.²⁶

10. Para- und Pseudowissenschaften

10.1 *Parapsychologische Phänomene und Theorien – was ist dran?*

Die Antwort des Naturalisten ist deutlich: Nichts.²⁷ Parapsychologie ist eine Pseudowissenschaft. Hellsehen, Präkognition, Telepathie, Telekinese/Psychokinese (Voodoo), Zauberei, Hexerei, Esoterika, Horoskop, Astrologie, Ufos, außerirdische Besucher: All das gibt es nach allem, was wir wissen, nicht. (Ein solider Nachweis müsste natürlich akzeptiert werden.) Auch die merkwürdigsten Phänomene haben natürliche Ursachen und Erklärungen, selbst wenn wir sie nicht immer finden. Der amerikanische Psychologe und Skeptiker Ray Hyman hat daraufhin die Parapsychologie für tot erklärt. Wenn er nur recht hätte!

10.2 *Typische Kandidaten für Pseudowissenschaften*

Pseudowissenschaften sind Disziplinen, die den Anspruch auf Wissenschaftlichkeit erheben, diesen aber bei weitem nicht einlösen. Etwas vorsichtiger spricht man auch von Grenz- und Parawissenschaften.

Man betont damit, dass eine Grenzwissenschaft es ja doch noch zu einer ordentlichen Wissenschaft bringen könnte; inhaltlich macht das jedoch kaum einen Unterschied.

Hier folgt eine Liste von Disziplinen, die der Naturalist verdächtigt, Pseudowissenschaften zu sein.²⁸ Diese Einschätzung schließt natürlich nicht aus, dass dort auch wissenschaftliche Elemente vorkommen. So ist der Psychobiologe Norbert Bischof (*1930) der Meinung, dass es in der Graphologie zwar wenig Wissenschaft, wohl aber zuverlässige Kenner-schaft gebe.

Kandidaten für Grenz- und Pseudowissenschaften

Aberglaube (allerdings besteht hier nur selten Anspruch auf Wissenschaftlichkeit)	mit Beziehungen zu Alchemie, Astralkörper, Astrologie, Astrotherapie, Feng Shui, Hermetik (nicht Hermeneutik!), I Ging, Kabbala, Magie, Mantik, Meditation, Mystik, Okkultismus, Rebirthing, Sekten, Tarot, belebtes, energetisiertes, levitiertes Wasser, Yoga, Zahlenmystik u. a.
Alchemie (immerhin: Vorstadium der Chemie)	
Alternativmedizin s. Paramedizin	
Anthroposophie nach Steiner	
Astrologie	
Atlantis	
außerirdische Besucher	
außerirdische Intelligenzen	
Bermuda-Dreieck	Fälschungen
Biorhythmen nach Fliess	etwa Pilt-down-Mensch, Schweiß-tuch der Veronika, Voynich-Manuskript
Cheops-Pyramide: Deutungen	Feng Shui
Chiromantie = Handlesen	
Däniken	Geschichte
Dianetik s. Scientology	angebliche Fälschungen:
	– Velikovsky: Ramses
	– Illig: Mittelalter
Erdstrahlen = Wünschelruten	Graphologie
Esoterik	
(oft kein Anspruch auf Wissen-schaftlichkeit)	Handlesen
	Hexerei

Hohlwelttheorie	– Kalte Fusion nach Fleischmann und Pons
Homöopathie	– Levitation
Intelligent Design	– New-Age-Physik nach Capra
Intelligenzquotient	– N-Strahlen nach Blondlot
Kreationismus	– Perpetuum mobile
Kryptozoologie	– Welteislehre nach Hörbiger
Lyssenko	– Wünschelruten
Mesmerismus	Parapsychologie
Mondkalender	– Hellsehen
Numerologie = Zahlenmystik	– Telepathie
Okkultismus	– Präkognition
Orgontheorie nach Reich	– Psychokinese einschließlich Löffelbiegen
Paramedizin	– Spuk
mit vielen, z.T. gefährlichen Aus-	Phrenologie nach Gall
– seneitermethoden, z.B.	Psychoanalyse nach Freud
– Akupunktur	Psychotherapien: Sie können helfen; aber die Theorien, die dahinter stehen, sind meistens Unsinn.
– anthroposophische Medizin	Pyramidenzauber, -kult
– Blutkristallisationstest	Rassentheorien
– Eigenblutbehandlung	Rebirthing (Wiedererleben des Geburtstraumas nach Orr)
– Geistheilen	Roswell-Zwischenfall nach Berlitz und Moore
– Homöopathie	Scientology nach Hubbard
– Irisdiagnostik	Sekten (Herkunft)
– Neuraltherapie	– Aum (Japan)
– Ozontherapie	– Brahma Ku-maris (Indien)
– Pyramiden	– Heaven's Gate (USA)
– Traditionelle Chinesische Medizin (TCM)	– Mun (Korea)
– Zelltherapie	– Osho (Indien)
Paraphysik	– Universelles Leben (BRD)
– Deutsche Physik nach Stark	– Scientology (USA)

– Sonnentempler (Schweiz, Kanada)	Velikovsky Verschwörungstheorien
– Verein zur Förderung der psychologischen Menschenkenntnis (VPM, Schweiz)	Wahrsagen Welteislehre
– Zeugen Jehovas (USA)	Wissenschaftlicher Sozialismus Wünschelruten
Tarot	
Transzendente Meditation	Zahlenmystik = Numerologie Zauberei
Ufologie	

Eine Art Schlusswort

Für den Naturalisten ist das Mobiliar der Welt offenbar recht sparsam. Viele empfinden das als Verarmung, als Entzauberung, sogar als Kränkung. Der Naturalist sieht darin jedoch eine Leistung, auf die der Mensch stolz sein kann. Ja, das Weltbild des Naturalisten hat weniger Farben. Und es kann auch keine Sicherheit bieten. Es ist aber mit ungeheuren Vorteilen verbunden: Es bereitet viel weniger Enttäuschungen – etwa wenn Beten oder Beichte wieder einmal nicht geholfen haben. Es schafft weniger Unsicherheit: Was andere Menschen von mir wollen, das kann ich wenigstens im Prinzip herausfinden; was Gott oder meine Ahnen von mir wollen, das weiß ich dagegen nie so recht. Und vor allem: Ein Weltbild ohne göttlichen Gesetzgeber macht viel weniger Angst!

Auch und vielleicht gerade als Naturalist finde ich das Mobiliar der unbelebten wie der belebten Welt äußerst vielfältig, oft sogar faszinierend. Auch weiß ich, dass immer noch vieles zu entdecken bleibt. Dass mir in diesem Weltbild etwas Wichtiges fehlen sollte, will mir nicht einleuchten.

Notiz

Meinen Kollegen Gerhard Engel und Bernulf Kanitscheider danke ich für zahlreiche wertvolle Anregungen.

Anmerkungen

- 1 Vollmer 1995a, S. 21–42.
- 2 Haffmans 1993.
- 3 Zur Minimallogik etwa Lenk 1973, S. 105–109.
- 4 Zum Konzeptualismus etwa Ebbinghaus 1992a.
- 5 Mehr zum Anwendungsproblem in Vollmer 2003b.
- 6 Vollmer 2007.
- 7 Vollmer 2003c.
- 8 Zur argumentativen Nichtwiderlegbarkeit des Solipsismus vgl. das Streitgespräch Vollmer 2008a.
- 9 Zu der Doppelfrage „Was sind und warum gelten Naturgesetze?“ etwa Vollmer 2003d.
- 10 Zur Kritik an Laplace etwa Vollmer 1995, S. 1–20, insbesondere S. 12–15.
- 11 Die Vielweltentheorie *positiv* sieht der Kosmologe Tegmark 2003. Fundierte *Kritik* übt der Kosmologe Ellis 2011.
- 12 Dazu etwa Chaitin 2004.
- 13 Dazu von Weizsäcker 1974.
- 14 Dazu etwa Delahaye 2012.
- 15 Dazu Vollmer 1995b. Umfassend Stephan 2005.
- 16 Millikan 2008.
- 17 Dazu etwa Kanitscheider 2008.
- 18 Zu den Argumenten ausführlicher Vollmer 1986.
- 19 Dazu Ebbinghaus 1992b.
- 20 Dazu etwa Walter 1998.
- 21 Büchel 1981, S. 256.
- 22 Einen knappen Überblick über Gottesbeweise und Einwände gibt Vollmer 1995c.
- 23 Jäger 1998.
- 24 Albert 1968, Kap. 12. – Ausführlicher Ruß 2002.
- 25 Dazu Lütge, Vollmer 2004.
- 26 Dazu einfürend Vollmer 2008b.
- 27 Ausführlicher Vollmer 1993.
- 28 Ausführlicher Oepen u. a. 1999.

Literatur

- Albert, Hans, 1968: *Traktat über kritische Vernunft*. Tübingen: Mohr.
- Büchel, Wolfgang, 1981: *Die Macht des Fortschritts*. München: Langen-Müller/Herbig.
- Chaitin, Gregory, 2004: Grenzen der Berechenbarkeit. In: *Spektrum der Wissenschaft*, Feb. 2004, S. 86–93.
- Delahaye, Jean-Paul, 2012: Vermehrungsfähige Maschinen. In: *Spektrum der Wissenschaft*, Mai 2012, S. 84–91

- Ebbinghaus, Heinz-Dieter, 1992a: Kreise, Zahlen Mengen. Eine Diskussion über die Gegenstände der Mathematik. In: Ebbinghaus; Vollmer, 1992, S. 9–26.
- Ebbinghaus, Heinz-Dieter, 1992b: Maschinen und Kreativität. Metamathematische Argumente für das menschliche Denken. In: *Philosophia naturalis* 29, S. 1–30.
- Ebbinghaus, Heinz-Dieter; Vollmer, Gerhard (Hg.), 1992: *Denken unterwegs*. Stuttgart: Hirzel.
- Ellis, George, 2011: Multiversum in Beweisnot. In: *Spektrum der Wissenschaft*, Nov. 2011, S. 36–42.
- Haffmans, Gerd (Hg.), 1993: *Der kleine Atheismus-Katechismus*. Zürich: Haffmans.
- Jäger, Christoph (Hg.), 1998: *Analytische Religionsphilosophie*. Paderborn: Schöningh UTB.
- Kanitscheider, Bernulf, 2008: *Entzauberte Welt. Über den Sinn des Lebens in uns selbst*. Stuttgart: Hirzel.
- Lenk, Hans, 1973: *Metalogik und Sprachanalyse*. Freiburg: Rombach.
- Lütge, Christoph; Vollmer Gerhard (Hg.), 2004: *Fakten statt Normen? Zur Rolle einzelwissenschaftlicher Argumente in einer naturalistischen Ethik*. Baden-Baden: Nomos.
- Millikan, Ruth G., 2008: *Die Vielfalt der Bedeutung: Zeichen, Ziele und ihre Verwandtschaft*. Frankfurt/M.: Suhrkamp.
- Oepen, Irmgard, u. a. (Hg.), 1999: *Lexikon der Parawissenschaften*. Münster: LIT-Verlag.
- Ruß, Hans Günther, 2002: *Empirisches Wissen und Moralkonstruktion. Eine Untersuchung zur Möglichkeit und Reichweite von Brückenprinzipien in der Natur- und Bioethik*. Frankfurt/M.: Hänzel-Hohenhausen.
- Stephan, Achim, 2005: *Emergenz. Von der Unvorhersagbarkeit zur Selbstorganisation*. Paderborn: Mentis.
- Tegmark, Max, 2003: Paralleluniversen. In: *Spektrum der Wissenschaft*, Aug. 2003, S. 34–45.
- Vollmer, Gerhard, 1986: Evolutionäre Erkenntnistheorie und Leib-Seele-Problem. In: G. Vollmer: *Was können wir wissen? Band 2*. Stuttgart: Hirzel, S. 66–99.
- Vollmer, Gerhard, 1993: Wozu Pseudowissenschaften gut sind. In: G. Vollmer: *Wissenschaftstheorie im Einsatz*. Stuttgart: Hirzel S. 11–30.

- Vollmer, Gerhard, 1995: *Auf der Suche nach der Ordnung*. Stuttgart: Hirzel.
- Vollmer, Gerhard, 1995a: Was ist Naturalismus? Eine Begriffsverschärfung in zwölf Thesen. In: Vollmer 1995, S. 21–42.
- Vollmer, Gerhard, 1995b: Das Ganze und seine Teile – Holismus, Emergenz, Erklärung und Reduktion. In: Vollmer 1995, S. 60–101.
- Vollmer, Gerhard, 1995c: Bin ich ein Atheist? In: Vollmer 1995, S. 168–184.
- Vollmer, Gerhard, 2003a: *Wieso können wir die Welt erkennen?* Stuttgart: Hirzel.
- Vollmer, Gerhard, 2003b: Warum eignet sich die Mathematik zur Naturbeschreibung? Das Anwendungsproblem. In: Vollmer 2003a, S. 121–142.
- Vollmer, Gerhard, 2003c: Woran scheitern Theorien? Zum Gewicht von Erfolgsargumenten. In: Vollmer 2003a, S. 89–120.
- Vollmer, Gerhard, 2003d: Was sind und warum gelten Naturgesetze? In: Vollmer 2003a, S. 145–195.
- Vollmer, Gerhard, 2007: Wie viel Metaphysik brauchen wir? In: D. Westerkamp, A. v. d. Lühe (Hg.), 2007: *Metaphysik und Moderne*. Würzburg: Königshausen & Neumann, S. 67–81.
- Vollmer, Gerhard, 2008a: Woher weiß ich, ob ich wach bin? Argumente um Realismus und Solipsismus. In: K.-M. Hingst, M. Liatsi (Hg.): *Pragmata*. Tübingen: Narr, S. 343–363.
- Vollmer, Gerhard, 2008b: Der Turm von Hanoi – Evolutionäre Ethik. In F.J. Wetz (Hg.): *Ethik zwischen Kultur- und Naturwissenschaft*. Stuttgart: Reclam, S. 124–151.
- Walter, Henrik, 1998: *Neurophilosophie der Willensfreiheit*. Paderborn: Schöningh.
- von Weizsäcker, Carl-Friedrich, 1974: Evolution und Entropiewachstum. In: E. v. Weizsäcker (Hg.): *Offene Systeme I*. Stuttgart: Klett, S. 200–221.

Bernulf Kanitscheider

Zahl und Zeit

Zusammenfassung

Traditionell gilt das Reich der Zahlen und der abstrakten Strukturen als ein Gebiet, in dem die Zeitabhängigkeit der Gegenstände keine Rolle spielt. Es zeigt sich aber auf der erkenntnistheoretischen Ebene, daß bei einigen Grundlagenkonzepten der Mathematik die Zeitlichkeit sehr wohl in die Konstitution der formalen Objekte einbezogen wird. In der kantischen und dann später in der intuitionistischen Grundlegung der Mathematik wird durchaus von einer Zeitanschauung Gebrauch gemacht. Diese Einbeziehung der Zeit besitzt Weiterungen, sowohl für die Eingrenzung der Zahlbereiche als auch für das Anwendungsproblem auf die empirische Welt.

Abstract

In the customary notion of arithmetic time does not play a central role. Numbers and formal structures seem to be beyond the world of change. But from an epistemological point of view there are important approaches to the constitution of arithmetic, which include time on a fundamental level. The Kantian traditions as well as Brouwer's intuitionism comprise time within their foundational network. Here we encounter important consequences in regard to the scope of admissible numbers and concerning the application of mathematics to the empirical world.

1. Das Ziel der folgenden Überlegungen besteht darin, zu verstehen, ob gegen alle Erwartung die Zeit in der Begrifflichkeit der Zahl eine Rolle spielt. In der Tradition des mathematischen Platonismus, einer Auffassung der bis heute immer noch viele Berufsmathematiker anhängen, ist die Zahl der Prototyp einer abstrakten Entität, die außerhalb von Raum und Zeit steht, nicht in das kausale Netz der Dingwelt eingespannt ist und unwandelbar in einem eigenen Reich fern der Sinnenwelt ihr Dasein hat. Stellvertretend für diese Auffassung mag G. F. Hardys' Bekenntnis dienen:

philosophia naturalis 49 / 2012 / 2

„I believe that mathematical reality lies outside us, that our function is to discover or *observe* it, and that the theorems which we prove, and which we describe grandiloquently as our ‘creations’, are simply our notes of our observations. This view has been held, in one form or another, by many philosophers of high reputation from Plato onwards, and I shall use the language which is natural to a man who holds it.“²

Hardy ging sogar noch einen Schritt weiter, sein Realitätsbegriff überflügelte sogar die oft diffuse Realitätsvorstellung der physikalischen Wirklichkeit, wie sie sich etwa in der Mikrowelt bietet, bei der in der Hierarchie der Elementarteilchen die Fundamentalität sehr häufig verschwimmt. Dagegen erschien ihm die begriffliche Welt der abstrakten Objekte viel klarer bestimmt zu sein, sie sind keine schwankenden Vorstellungen oder Gebilde mit unscharfen Rändern, sondern tatsächliche Gestalten einer Welt, von der wir objektives Wissen erhalten können.

„Pure mathematics, on the other hand, seems to me a rock on which all idealism founders: 317 is a prime, not because we think so, or because our minds are shaped in one way rather than another, but *because it is*, because mathematical reality is built that way.“³

Besonders die Objektivität der Mathematik, die jene der Physik noch übertrifft, hat bedeutende Mathematiker immer wieder die Überzeugung von einer abstrakten mathematischen Gegenstandswelt aussprechen lassen. Hardy vertrat auch die Autonomie der reinen Mathematik und lehnte die Idee ab, daß diese ihre Bedeutung erst von der Anwendung her gewinne. Seine Lieblingsvorstellung von der Tätigkeit des Mathematikers war die eines Bergsteigers, der von der Ferne eine Gipfelkette entdeckt. So findet auch der Mathematiker neue abstrakte Objekte und die Beweise entsprechen den möglichen Führen auf die Gipfel.

Roger Penrose schließt sich dieser objektivistischen Auslegung an. Angesichts der überwältigenden Komplexität der Mandelbrotmenge, die aus dem einfachen Algorithmus $z \rightarrow z^2 + c$ hervorgeht, meint er:

„The Mandelbrot set was certainly no invention of any human mind. The set is just objectively there in the mathematics itself.“ „Its existence can only be within the Platonic world of mathematical forms.“⁴

Penrose verzichtet aber an dieser Stelle aufzuklären, wie nun die Verbindung zwischen der platonischen Mandelbrotmenge und der materiellen Repräsentation dieser ideellen Form vonstatten gehen soll. Wenn

es bei dieser Deutung bliebe, wäre es kaum vorstellbar, wie sich eine Beziehung dieser abstrakten Gegenstandswelt zum Wirkungsbereich der Zeitlichkeit und zum Gebiet des Erkennens entwickeln könnte. Schon Platon selber war sich dieser Schwierigkeit bewußt, die unzeitliche Ideenwelt mit dem Erkenntnisvermögen der in der Zeit lebenden Menschen in Zusammenhang zu bringen. Um diese ontologische Kluft *χωρισμός* (*chorismos*) zwischen der überzeitlichen Ideenwirklichkeit und der zeitlichen Erfahrungswelt zu überbrücken, behilft sich Platon mit der Konstruktion der Abbildung: die konkreten Dinge sind eben die Schattenbilder der Ideen, diese Schatten haben an den Urbildern teil.⁵ In grauer Vorzeit waren die Menschen in der Lage, die Ideen wahrzunehmen. Diese mythologische Verbindung überzeugte schon Aristoteles nicht und sie stellt bis heute auch die zentrale Schwierigkeit eines vollinhaltlichen mathematischen Realismus dar. Die Zeit spielt hier eine Schlüsselrolle, weil sie gerade das Trennende zwischen dem *κόσμος νοητός* (*kosmos noetos*) und dem *κόσμος ὁρατός* (*kosmos horatos*) bildet. Aber schon vor Platon waren Denker auf das Zeitproblem bei der Erkenntnis abstrakter Objekte gestoßen. Nirgendwo kommt dies stärker zum Ausdruck als in den Paradoxien Zenons. Diese sind als Argumente zu verstehen, die Seinslehre seines Lehrers Parmenides zu stützen.

2. Parmenides hatte die Auffassung vertreten, daß das eigentlich Seiende, anfangslos, unvergänglich, unbeweglich und zeitlos besteht. Zu dieser Ansicht war er gekommen, weil das Nichtseiende, der leere Raum, nicht existiert, der seiner Meinung nach die Voraussetzung für die Bewegung sei. Dies meinte er deshalb, weil ein Gegenstand bei seiner Ortsveränderung eine vorher unbesetzte Stelle des Raumes braucht, um sich dorthin zu begeben.⁶ Werden und Vergehen sind also nach eleatischer Auffassung nicht möglich, weil das Seiende weder Vergangenheit noch Zukunft hat. Wenn eine metaphysische Theorie zu derart drastischem Widerspruch mit der Erfahrung gelangt, gibt es nur zwei Argumentationsmöglichkeiten: man betrachtet die Theorie als falsch oder man wertet die Erfahrung mit schlagenden Gründen ab. Parmenides geht den zweiten Weg und erklärt die Sinneserfahrung als *δόξα* (*doxa*), welche trügt und der wahren Erkenntnis, der *ἐπιστήμη* (*Episteme*) entgegengesetzt werden muß. Den Konfrontationsgang mit der Erfahrung hat dann Zenon durchgezogen und damit die Verbindung zur Mathe-

matik hergestellt. Die zenonischen Paradoxa sind ausführlich kommentiert worden.⁷ Ein Aspekt dieser kontraintuitiven Folgerungen besteht in der Vorstellung, daß der Läufer oder Achilles bei seinem Wettlauf mit der Schildkröte, zumindest wenn man die Stetigkeit von Raum und Zeit voraussetzt, in einer endlichen Zeit unendlich viele Aufgaben erledigen muß. Dies folgt, modern gesprochen, aus der Tatsache, daß der Läufer immer ein Stück der reellen Zahlengerade zurücklegen muß. Ist dies logisch möglich? Nur darum geht es erst einmal, nicht, ob man es physikalisch oder praktisch durchführen kann. Auch wenn es auf den ersten Blick seltsam erscheint, steht einer Auflösung des Paradoxon unter dieser Voraussetzung nichts im Wege, denn wie Aristoteles schon bemerkte,⁸ beide Sportler haben ausreichend Zeit, um ihre unendlichen Aufgaben zu erledigen, weil die Aufgaben immer kürzer werden und immer weniger von dem endlichen zu Verfügung stehenden Zeitintervall verbrauchen.

Um ein Beispiel zu bringen:⁹ Wenn der Läufer 20s für $1/2$ Stadion braucht, bleiben ihm 10s für das nächste Viertel, 5s für $1/8$ und allgemein $40/2_n$ s um den $1/2_n$ ten Teil der Gesamtstrecke zurückzulegen. Es bedarf keiner höheren Mathematik, um einzusehen, daß das gesamte Stadion in Intervallen von $40/2_s$, $40/2^2_s$, $40/2^3_s$ in einer Gesamtzeit unter einer Minute absolviert wird, wobei für alle positiven ganzen Zahlen n auf ein Intervall $40/2_n$ immer ein Intervall $40/2_{n+1}$ folgt.

3. Viel später tauchen die Paradoxa der eleatischen Metaphysik in einem anderen Kontext auf, nämlich bei der Frage nach der Natur des Kontinuums, also der Menge der reellen Zahlen, die man sich am besten auf der Zahlengerade angeordnet vorstellt. Auch hier spielt die Zeit mit hinein, denn es erhob sich das Problem, ob das Kontinuum als eine feste abgeschlossene Entität gedacht werden kann oder als ein Agens des Werdens, ein Gebilde, das nur im potentiellen Sinne unendliche Teilbarkeit besitzt.

Bereits Aristoteles hatte sich über den Begriff *συνεχές* (*syneches*) Gedanken gemacht, als den Ort wo sich Objekte treffen oder vereinigen. In der Moderne spielt der Begriff in erster Linie eine Rolle beim Aufbau des Zahlensystems und der Konstruktion der verschiedenen Zahlarten aus dem Fundament der natürlichen Zahlen. In der Antike war der Aufbau der Hierarchie der Zahlen nur teilweise bekannt. Im Kreis der Pythagoreer war die Inkommensurabilität von Strecken und

die Existenz irrationaler Zahlen entdeckt worden. Man wußte, daß die Annahme, daß sich Zahlen wie $\sqrt{2}$, $\sqrt{3}$, $\sqrt{5}$... als Verhältnis natürlicher Zahlen schreiben lassen, zu Widersprüchen führt.

Der kontraintuitive Charakter dieser Entdeckung wird noch dadurch verstärkt, daß die rationalen Zahlen die Zahlengerade überall dicht erfüllen, da sich zwischen zwei rationalen Zahlen immer noch eine weitere einschachteln läßt. Es gibt also kein Intervall auf der Zahlengeraden ohne rationale Punkte und in jedem noch so kleinen Intervall liegen unendlich viele von ihnen. Dennoch besitzt diese *dichte* Erfüllung noch Lücken, in die die irrationalen Zahlen hinein passen. Es war sowohl der Konflikt mit der Anschauung, der die erste Krise in den Grundlagen der Mathematik hervorrief, als auch die Problematik der Meßbarkeit der Welt, denn die rationalen Zahlen hatten ja in erster Linie die Aufgabe die Naturobjekte messen zu können. Diese einfache Erfahrung, daß schon die Diagonale im Einheitsquadrat nicht mehr meßbar ist, warf Zweifel an der pythagoreischen Grundidee der Mathematisierbarkeit der Natur auf, die sich zuerst bei den Intervallen des Monochords so bewährt hatte. Erst als man dann später dazu überging, die Zahlengerade auch mit den irrationalen Zahlen auszustatten, konnte man das ursprüngliche Ziel der Meßbarkeit von Strecken weiterführen. Eine einheitliche Darstellung der beiden Zahlarten wurde dann durch die Einführung von Dezimalbrüchen erreicht. In der Dezimaldarstellung kann man die rationalen und die irrationalen Zahlen einheitlich kennzeichnen, wobei die ersten durch einen periodischen und die zweiten durch einen unperiodischen unendlichen Dezimalbruch charakterisiert sind. Das Kontinuum der reellen Zahlen ist also mit der Gesamtheit aller unendlichen Dezimalbrüche identisch. Die Tatsache, daß hier die 10 eine Rolle spielt, ist nicht wesentlich, denn man könnte die Zahlen genau so gut auch im dyadischen oder triadischen System darstellen. Die Mathematiker haben sich deshalb bemüht, Kennzeichnungen der reellen Zahlen einzuführen, die unabhängig von der Wahl einer bestimmten Basis sind. Hier ist vor allem die Methode der Intervallschachtelung zu nennen und Dedekinds Weg des Schnittes. Im ersten Fall wird eine Folge von n ineinander liegenden Intervallen I_n betrachtet, die in der Grenze mit wachsendem n gegen Null strebt und dadurch eine reelle Zahl definiert. Im zweiten Fall wird eine Klasseneinteilung in der Menge der rationalen Zahlen vorgenommen, die eine irrationale Zahl definiert.¹⁰ Experimentell ist der Unterschied zwischen dem rationalen oder irrationalen

Wert einer Variablen nie feststellbar. Immer wieder tauchte deshalb der Vorschlag auf, ob man die in den empirischen Wissenschaften niemals identifizierbaren Irrationalzahlen nicht aus der Beschreibung entfernen könnte. Es wurde aber bald klar, daß das Zulassen des reellen Kontinuums die Beschreibung der Bewegungsabläufe der Welt ungeheuer vereinfacht. Wenn die Ortsveränderung der Gegenstände in der Zeit nicht kontinuierlich erfolgte, hätte man sie niemals mit Hilfe von Differentialgleichungen erfassen können. Die Erfolge der klassischen Himmelsmechanik, die Störungstheorie zur Wiedergabe der Planetenbewegung, werden nur durch die Verwendung des Limesbegriffes möglich, der wiederum auf dem Kontinuum der reellen Zahlen beruht. Diese Leistungsfähigkeit der auf Stetigkeit aufgebauten Physik läßt sich auch als indirekte Stütze für eine Verankerung des Kontinuums in der Realität deuten, denn einer Struktur, die eine unverzichtbare Rolle in erfolgreichen Theorien spielt, kann man die ontosemantische Referenz kaum absprechen. Mit dieser Argumentationsfigur der Unvermeidlichkeit haben Quine und Putnam später die realistische Existenzform mathematischer Objekte verteidigt.¹¹

4. Trotz aller Erfolge der Physik unter Einsatz des Körpers der reellen und dann in Quantenmechanik unter Verwendung des Körpers der komplexen Zahlen, blieb das Kontinuum Gegenstand philosophischer Betrachtungen, was immer ein Hinweis auf eine gewisse begriffliche Unzufriedenheit darstellt. Im Visier war v.a. die Frage, ob man dem Kontinuum den gleichen ontologischen Status zubilligen kann wie den natürlichen und den rationalen Zahlen, obwohl die reellen Zahlen doch letztlich nach den geschilderten Methoden konstruiert worden sind. Das Kontinuum gilt auch als Ursprung der Mengenlehre, seit Cantor 1873 die Überabzählbarkeit der reellen Zahlen nachgewiesen hatte, eine Entdeckung, die man an Bedeutung mit der Auffindung der Inkommensurabilität verglichen hat.¹²

Im Kontext des Zusammenhanges mit der Zeit machte Hermann Weyl eine zukunftsweisende Beobachtung, die in einen völlig neuen philosophischen Bereich führt.¹³ Angesichts der Tatsache, daß die Reihe $1/2 + 1/2^2 + 1/2^3 + \dots = 1 - 1/2_n$ gegen 1 konvergiert und die Einheitsstrecke damit aus unendlich vielen diskreten Untereinheiten besteht, läßt sich erwägen, daß auch eine Maschine „eine unendliche Folge distinkter Entscheidungsakte in endlicher Zeit zum Abschluß brin-

gen könnte, indem sie das erste Resultat nach 1/2 Minute lieferte, das zweite 1/2 Minute darauf, das dritte 1/8 Minute später usf.“. Wenn das menschliche Gehirn analog dieser Maschine funktionierte, spinnt Weyl den Faden weiter, könnte es doch eine Durchmusterung der natürlichen Zahlen vornehmen, um die ungelösten zahlentheoretischen Probleme in endlicher Zeit zu bewältigen. Etwas später vertrat Bertrand Russell eine ähnliche Auffassung hinsichtlich des Durchlaufens von unendlichen Stationen einer nicht endenden Folge von Zahlen.¹⁴ Hier ging es um die Durchmusterung sämtlicher Dezimalstellen von π . Diese irrationale und transzendente Zahl kann in ihrer Dezimaldarstellung sicher nicht von einem lebenden Wesen irdischer Organisation durchschritten werden, deshalb ist aber der Vorgang noch nicht widersprüchlich, meint Russell, v. a. dann, wenn jeder folgende Schritt in der halben Zeit durchgeführt wird und der gesamte Rechenablauf in endlicher Zeit erledigt ist. Damit wurden Weyl und Russell zu Vorläufern einer Entwicklung, die heute den Namen „Hypercomputation“ trägt, eine Bezeichnung die 1999 von Jack Copeland und D. Proutfoot eingeführt wurde.¹⁵ Die Hyperberechnung hebt sich wesentlich von der Turingberechenbarkeit ab, weil letztere eigentlich nur eine abstraktere Form menschlicher Rechentätigkeit darstellt, die darin besteht, eine Folge von Zeichen auf dem Papier zu fixieren. Die universelle Turingmaschine (UTM), oft auch nur kurz Turingmaschine genannt (TM), wird nach der Church-Turing-These als Explikation des Begriffes der Berechenbarkeit angesehen, aber die Präzisierung einer intuitiven Vermutung hat nie den Charakter eines Beweises. Die These besagt auch nur, daß man für jedes algorithmische Verfahren eine TM konstruieren kann, die die gleiche Funktion berechnet. Deshalb bedeutet die These nicht, daß es keinen Hypercomputer geben kann.

Dieser soll nun mehr können, er ist eine informationsverarbeitende Maschine, die die Turing-Barriere durchbrechen soll. Dazu müssen Restriktionen der TM wegfallen, etwa daß die Regeln der Berechnung sich nicht ändern dürfen, oder daß alle Daten vor der Rechnung fixiert sein müssen. Wenn die Endlichkeit nicht mehr Bedingung ist, die Rechnung also auch unendliche viele Schritte umfassen oder beliebig lange andauern kann, gelangt man zur Infinite Time Turing Maschine (ITT).¹⁶ Die Avantgarde der Computertechnologen umkreisen, unter Zugrundelegung des Moore'schen Gesetzes, die zukünftigen Möglichkeiten einer dem Gesetz des exponentiellen Wachstums unterworfenen künstlichen

Intelligenz bis an die Grenzen der Biologie.¹⁷ Die theoretischen Informatiker gehen noch einen Schritt weiter und versuchen, den Zeithorizont des Begriffes der Berechenbarkeit auszudehnen.

Es geht dabei nicht in erster Linie um die physikalisch-technische Machbarkeit, sondern um die logisch-mathematische Widerspruchsfreiheit. Deshalb können auch die Informatiker erst einmal relativistische Schranken wie Lichtkegelstrukturen für die Rechenvorgänge ausklammern. Philosophisch relevant ist dabei, daß Berechenbarkeit ein relativer Begriff ist und die Turing-Berechenbarkeit darin keine besondere ausgezeichnete Rolle spielt. Beim Begriff der unendlichen Berechenbarkeit wird dieser Terminus in die transfiniten Ordinalzeit ausgedehnt.¹⁸ Eine ITTM durchläuft ω Schritte, setzt aber dann über die erste Unendlichkeit hinaus fort in Richtung auf $\omega + 1$, $\omega + 2$, $\omega + 3$, ... kann 2ω erreichen oder auch ω^ω und damit beliebig große Ordinalzahlen. In bezug auf die Zeitstruktur kann man die unendlich schnelle Maschine, obwohl sie unendlich viele Rechenoperationen in endlicher Zeit schafft, selber als unendlich betrachten, nämlich dann wenn man die Rechenschritte selber als Zeitmaß verwendet. Für die Naturbeschreibung spielt dann die Frage eine entscheidende Rolle, ob die physikalischen Prozesse und speziell die menschlichen Denkvorgänge selber durch eine UTM berechenbar sind oder einer höheren Rechenordnung angehören. Schon Turing selber hatte sich 1938 eine Orakel-Maschine ausgedacht, die einen Prozessor besitzt, der Werte von normalerweise nicht berechenbaren Funktionen verarbeiten kann.

Die Orakel-Idee war völlig abstrakt, es ging um die logische Möglichkeit der höheren Formen der Berechenbarkeit, nicht um die physikalische Realisierbarkeit. Erst später machte man sich auch Gedanken, wie weit relativistische Automaten oder Quantencomputer die Grenze der Berechenbarkeit hinausschieben können. In diesem Zusammenhang tauchte die Frage auf, ob es in der Natur nicht-rekursive Vorgänge gibt, also solche die durch Automaten vom Turing-Typ oder durch rekursive Funktionen nicht berechnet werden können. Georg Kreisel (1967) und später Roger Penrose (1989) vermuteten, daß solche im Quantenbereich und auch bei den Denkprozessen solche Abläufe vorkommen. In Zusammenhang mit dem früher genannten Kontinuum der reellen Zahlen hat F.G. Abramson 1971 noch einmal den Berechenbarkeitsbegriff verbreitert, indem er bei seiner ETM, einer erweiterten TM, erlaubt, daß auf dem Eingabefeld auch reelle Zahlen geschrieben und mit ihnen

auch Rechenoperationen ausgeführt werden können. Die Erweiterung besteht also darin, daß jedes Eingabefeld nicht nur 0 und 1, sondern auch reelle Zahlen aufnehmen kann.¹⁹ Allerdings wird der Speichervorgang nicht beschrieben, was nicht ins Gewicht fällt, solange die Diskussion nur um die logische Möglichkeit geht, die Grenzen des Rechenvorganges in Relation zur Zeit auszutesten. Hier kann die ETM zweifellos mehr als eine TM, sie kann etwa die Haltefunktion einer UTM berechnen, allerdings nicht ihr eigenes Halteproblem lösen. An dieser Stelle macht sich Gödels Unentscheidbarkeitstheorem bemerkbar, das zwar eine unendliche Hierarchie von TM erlaubt, das Halteproblem der einzelnen TM aber nur in der jeweils höheren Ordnung lösbar ist. Das zeitliche Element spielt in der Entwicklung der Idee der Berechenbarkeit immer wieder eine Rolle, weil der Computer ein Gerät ist, der das Problem in einem bestimmten Zeitablauf lösen soll. Wenn man nun entweder größere Zahlen von TM sequentiell einsetzt oder parallel verwendet oder einzelne Rechner exponentiell beschleunigt arbeiten läßt, dann ändert sich jedesmal die Leistungskraft und es werden Probleme lösbar, die auf der untersten Stufe der Berechenbarkeit nicht entwirrbar sind. H. Putnam, der sich lange Zeit für die mechanistische Auffassung eingesetzt hatte, wonach das menschliche Denken strukturell einer TM gleicht, und darin auch eine Bestätigung der materialistischen These sah, hat später seine Auffassung in der Hinsicht geändert, daß eine geisterzeugende Maschine als physikalisches System betrachtet nicht unbedingt eine TM sein muß.²⁰ Eine Maschine als physikalisches System der Newtonschen Physik gedeutet muß keine TM sein. Die Zeitentwicklung physikalischer Systeme muß also nicht unbedingt durch eine rekursive Funktion beschreibbar sein. Speziell wenn man daran denkt, daß die Anfangs- und Randbedingungen durch Mengen reeller Zahlen bestimmt sind, leuchtet ein, daß es natürliche Systeme geben kann, deren Zeitentwicklung durch nicht rekursive Funktionen beschrieben werden.²¹ Grundsätzlich ist es wichtig, das natürliche Rechnen, wie es in materialisierten intelligenten Systemen wie neuronalen Netzwerken und genetischen Algorithmen vorkommt, von den abstrakten Ableitungskalkülen zu unterscheiden.²²

5. Wie wir im Vorstehenden gesehen haben, besteht der Brennpunkt der Problematik des Verhältnisses von Zahl und Zeit in der schwierigen Faßbarkeit und dem offenen ontologischen Status des Kontinuums.

Wird die Raumzeit der Naturvorgänge nur aus Gründen der Bequemlichkeit als stetig betrachtet, oder ist sie nur oberflächlich glatt und ab einer winzigen Größenordnung wartet das Diskontinuum? In den Untersuchungen zum deterministischen Chaos spielt auch das Kontinuum eine Rolle, weil die klassischen Bewegungsgleichungen Stetigkeit und Differenzierbarkeit voraussetzen. Erst mal schien das Kontinuum in der Geschichte der Naturphilosophie einem Irrgarten zu gleichen, weil die meisten Irrationalzahlen sich nicht exakt bestimmen ließen. Leibniz glückte es dann für eine besonders wichtige Zahl des Kontinuums, nämlich π , eine alternierende Reihe zu finden, die deren Berechnung bis auf beliebige Stellen erlaubt:

10

$$\pi/4 = 1 - 1/3 + 1/5 - 1/7 + 1/9 - 1/11 + 1/13 + \dots$$

π ist im Unterschied zu den algebraischen Zahlen des reellen Kontinuums transzendent, erfüllt somit nicht die Bedingung, Lösung einer Gleichung von der Form $ax^n + bx^{n-1} + \dots + px + q = 0$ zu sein.

Das Erstaunliche an diesem Ergebnis ist die Tatsache, daß es für einige transzendente Zahlen offenbar einen Algorithmus gibt, der eine beliebig genaue Berechenbarkeit der Dezimalentwicklung erlaubt, obwohl die meisten Zahlen dieses Typs keinen Algorithmus zur Berechnung besitzen. Neben der Kreiszahl π ist es noch die Liouville-Zahl, die sonst keine ausgezeichnete Rolle in der Mathematik spielt und die durch die Reihe $L = 1/10^{1!} + 1/10^{2!} + \dots + 1/10^{n!} + \dots$ definiert ist, und die Eulersche Zahl, die Basis der natürlichen Logarithmen, $e = 1 + 1/1! + 1/2! + 1/3! + \dots + 1/n! + \dots$. Zudem stellte sich heraus, daß die algebraischen Zahlen nur eine verschwindende Untermenge aller reellen Zahlen bilden und daß die allermeisten von ihnen transzendent sind und nicht durch eine Reihe berechenbar. Wenn man aufs Geratewohl oder durch einen Zufallsgenerator gesteuert eine reelle Zahl herausgreift, dann erhält man fast sicher eine transzendente nicht berechenbare Zahl. Gregory Chaitin drückt sicher die Meinung vieler Beobachter der mathematischen Szene aus, wenn er meint: „Why should I believe in a real number if I can't calculate it, if I can't prove what its bits are, and if I can't even refer to it? And each of these things happens with probability one!“²³

Gerade die letzte Eigenschaft muß schon nachdenklich stimmen, denn es ist ja wirklich nicht möglich, Namen für all die überabzählbar vielen transzendenten Zahlen zu finden, weil es in keinem Alphabet irgend-

einer Sprache ausreichend Namen geben kann. Auf der anderen Seite hat Chaitin bei der letzten Bemerkung die Turingberechnung vorausgesetzt, die, wie wir gesehen haben, nur eine von vielen möglichen Explikationen des Berechenbarkeitsbegriffes ist. Die physikalische Realisierbarkeit ist dabei, dies muß nochmals betont werden, nicht involviert. Die erkenntnistheoretische Problematik des Kontinuums spaltete sich in der Folge auf. Einmal kreiste sie um die Bestimmung der Mächtigkeit des Kontinuums. Diese Frage bildet den Gegenstand von Cantors Kontinuumshypothese. Er vermutete, daß $2^{\aleph_0} = \aleph_1$ sei, konnte es aber nicht beweisen. Später stellte sich heraus, daß diese Vermutung unabhängig vom Axiomensystem der Mengenlehre ZFC ist. Für einen mathematischen Realismus ist dies eine sehr unbefriedigende Situation, denn dann kann die Mächtigkeit des Kontinuums als beliebig groß betrachtet werden. Damit wäre der Bereich der platonischen Formenwelt durch die Axiome unterbestimmt. Neben dieser mathematik-internen Diskussion über das Kontinuum, die v. a. die Frage der abstrakten Existenz betraf und die, wie wir noch sehen werden, zum Intuitionismus und Konstruktivismus führte, ergab sich auch ein Zusammenhang mit der Physik und hier speziell mit der Entwicklung instabiler dynamischer Systeme. Dabei ist zentral das Zeitproblem betroffen.

6. Schon 1877 hat J. C. Maxwell darauf hingewiesen, daß auch bei klassischen deterministischen Systemen Fälle vorkommen können, bei denen winzige Variationen der Anfangs- und Randbedingungen in endlicher Zeit zu heftigen Veränderungen in den Spätzuständen führen. Sein anschauliches Beispiel ist die falsche Weichenstellung bei einem Eisenbahnzug, bei der eine kleine Verschiebung eines Metallteils eine Katastrophe auslösen kann.²⁴ Poincaré näherte sich 1903 der gleichen Frage vom Meßproblem her. Er zeigte dann an instabilen Situationen in der Mechanik, daß auch dort Entwicklungen auftreten können, die sich empirisch nicht vom Zufall unterscheiden, obwohl alle Prozesse kausal ablaufen. Charakteristische Vorgänge sind dabei Glücksspiele, die ja auch gerade so definiert sind, daß ihr Ausgang nicht prognostiziert werden kann. Poincaré orientierte sich dabei an Laplaces idealisierter Form der Berechenbarkeit. Der Dämon sollte die vollständigen Naturgesetze und zugleich auch die Anfangsbedingungen auf einer Hyperfläche der Raumzeit mit beliebiger Genauigkeit kennen. Poincaré legt den Finger auf den Schwachpunkt der beliebigen Vorhersagbarkeit,

nämlich die Messung der dynamischen Variablen bis auf die Genauigkeit einer reellen Zahl, denn die Hamiltongleichungen der Mechanik operieren auf dem reellen Kontinuum. Wenn nun kleine Unterschiede in den Anfangsbedingungen große Differenzen in den Wirkungen zur Folge haben, wie es bei Systemen mit nichtlinearer Fehlerfortpflanzung der Fall ist, wird die Langzeitvorhersage unmöglich und wir haben ein Phänomen, das empirisch dem Zufall gleichkommt.²⁵

Der Ursprung der unvorhersagbaren Zustandsentwicklung instabiler dynamischer Systeme liegt nach heutiger Auffassung in der Verwendung des reellen Zahlkörpers. Fast alle (also bis auf abzählbar unendlich viele) Zahlen sind durch Zufallsfolgen von Dezimalstellen gegeben. Es ist die Unberechenbarkeit dieser Zahlen und die Unbeschreibbarkeit von Anfangszuständen mit solchen Zahlen, die die eigentliche Quelle der Unvorhersehbarkeit bildet und die die Chaotizität der dynamischen Systeme hervorruft, die auf diesem Zahlkörper aufbauen.²⁶ Es drängt sich nun vielleicht die Frage auf, warum es in der Himmelsmechanik so viel berechenbare Ordnung gibt und warum unser Planetensystem eine bis jetzt erstaunliche Langzeitstabilität bewiesen hat, die allererst die Möglichkeit einer Evolution begründete. Hier sind wieder die Zahlenverhältnisse der Bewegung von entscheidender Wichtigkeit. Speziell der Unterschied von rationalen und irrationalen Umlauffrequenzen spielt dabei eine ausschlaggebende Rolle. Man kann dies an der großen Anomalie von Jupiter und Saturn einsehen. Während zweier Umläufe des Saturns umkreist Jupiter fünf Mal die Sonne. Dadurch kommen sich die beiden Planeten immer wieder an derselben Stelle nahe, aber glücklicherweise nur 500 Jahre lang, weil das Rotationsverhältnis nur näherungsweise 2:5 ist. Wenn dieses Verhältnis exakt der rationalen Zahl $2/5$ entspräche, müßte man befürchten, daß die durch die Gravitationswechselwirkung verursachten Störungen sich zu einer das System zerstörenden Resonanzkatastrophe aufschaukeln. Da das Umlaufverhältnis beider Planeten um die Sonne aber einer irrationalen Zahl entspricht, kommt diese gefährliche Aufschaukelung nicht zustande und das System bleibt stabil. Nach 900 Jahren kehren die Planeten wieder zu ihren alten Bahnen zurück. Die Frage nach der Stabilität des Sonnensystems ist durch das KAM-Theorem einer Lösung näher gerückt. Dadurch versteht man, warum in der Menge aller nichtintegrierbaren Hamilton-Systeme²⁷ es Stabilitätsinseln gibt, die einem regulären Verhalten der Körper entsprechen.²⁸ Beim KAM-Theorem betrachtet

man Hamiltonsche Systeme mit kleiner nicht-integrabler Störung und beweist, daß die Systeme dennoch bis zu einer gewissen Größenordnung der Störung stabil bleiben.

7. Jedenfalls denke ich, daß aus den vorstehenden Beispielen soviel Deutlich wird, daß der in den Berechnungen von Bewegungen verwendete Zahlkörper eine entscheidende Rolle spielt und daß die dabei involvierten Zahlklassen zu unterschiedlichen begrifflichen Folgen führen. Zu ähnlicher Zeit, als Poincaré in der Physik auf die seltsamen Konsequenzen der Himmelsmechanik gestoßen war, spielte in der Grundlagendiskussion der Mathematik, die sich nach der Krise der Mengenlehre ergeben hatte, speziell das Kontinuum eine entscheidende Rolle. Die Probleme beim Aufbau des Zahlensystems kreisten später um die höheren Formen des Unendlichen, wie sie durch das Theorem von Cantor gegeben wurden, wonach sich zu jeder Menge M eine weitere Menge $P(M)$ größerer Mächtigkeit angeben läßt und somit die Reihe der unendlichen Mächtigkeiten nach oben hin unbegrenzt ist. Der Ausgangspunkt der Potenzmengenbildung ist allerdings die zumeist von allen Beteiligten als unverfänglich empfundene unendliche Menge der natürlichen Zahlen. Aber auch ihre aktuale zeitlose Existenz wurde in der Vergangenheit der Philosophie der Mathematik keineswegs als unproblematisch empfunden. Aristoteles behandelt Raum und Zeit sehr ungleich: Der Raum ist für ihn von endlicher Erstreckung und wird durch die Fixsternsphäre begrenzt, was zur Folge hat, daß schon Euklidische Geraden, jedenfalls in der gewöhnlichen Definition, nicht darin untergebracht werden können. Die beliebige Teilbarkeit einer Geraden läßt er zwar gelten, verlangt aber, daß der Teilungsprozeß niemals als ein abgeschlossener Vorgang betrachtet wird.²⁹

Aristoteles' kosmologisches Modell ist in zeitlicher Hinsicht in Zukunft und Vergangenheit offen. Das Universum hat keinen Anfang und kein Ende in der Zeit. Während die Zukunftsunendlichkeit des Kosmos gut mit der Vorstellung des potentiellen Charakters der kommenden Zeitpunkte harmoniert, ist es schwierig, sich die Vergangenheitsunendlichkeit der Welt anders vorzustellen als einen Vorgang, der nie begonnen hat, aber doch im gegenwärtigen Augenblick vollendet ist. Es ist dem Stagiriten wohl nicht gelungen, diese Spannung wirklich aufzulösen, weil er sich dezidiert gegen jedes Zugeständnis hinsichtlich einer aktualen Unendlichkeit sträubte. Diese Haltung führte ihn

zu einer extremen Konsequenz bezüglich der Existenz der natürlichen Zahlen. In Gedanken können wir die Folge dieser Zahlen immer fortsetzen, aber das bedeutet nicht, daß diese Folge auch existiert, genau so wie wir unseren Körper auf beliebige Dimensionen ausgedehnt vorstellen können, ohne daß er in Realität auf diese Weise vorhanden ist. 30 Zahlen sind Eigenschaften von Klassen empirisch faßbarer Dinge, wenn Aristoteles mit dieser Voraussetzung Ernst macht, muß er die Konsequenz akzeptieren, daß es nicht beliebig große natürliche Zahlen gibt.³¹

Durch diese empiristische Vorgabe setzt er sich in Gegensatz zum unzweifelhaften arithmetischen Gesetz, daß jede Zahl einen Nachfolger besitzt, weil es ansonsten eine größte Zahl gegen müßte. Der Rekurs auf das, was beobachtet oder auch mental repräsentiert werden kann, spielte in der modernen Grundlagendiskussion eine wichtige Rolle. Das Element der Zeit kommt dabei in der Diskrepanz der Auffassungen zum Ausdruck, „ob denn die Gesamtheit der natürlichen Zahlen wirklich als ein festes, abgeschlossenes Ganzes oder nur ein offener, stets im Werden begriffener Prozeß zu werten ist“.³² Die Gruppe der Intuitionisten und Konstruktivisten hat sich in verschiedenem Grade der restriktiven Erkenntnishaltung angeschlossen, wonach selbst die elementarste Unendlichkeit nicht als autonome Entität gefaßt werden kann. Dies hatte die Konsequenz, daß aus intuitionistischer Sicht wesentliche Teile der klassischen Mathematik eliminiert werden sollten. Der Übergang zum Kontinuum und heute zu den immer neuen großen Kardinalzahlen gestaltete sich noch mal schwieriger, da hier die Restriktionen noch viel schwieriger einzuhalten waren.

Genau genommen waren die Hürden für die ernsthafte Zulassung des Kontinuums, dem man nur mehr den Status „eines Mediums freien Werdens“ zugestand, zu hoch. Es sollte aber nicht in Vergessenheit geraten, daß der Streit um die Zulässigkeit im wesentlichen ein erkenntnistheoretisches Fundament besitzt und letztlich immer wieder darauf rekurriert, daß menschliche kognitive Aktivitäten zeitlich begrenzt sind, durch die Lebensdauer der einzelnen Forscher und auch durch die vermutete Endlichkeit der Gemeinschaft aller Mathematiker künftiger Generationen. Die philosophische Wurzel der Beschränkung der Erkenntnismittel wird schon bei Leopold Kronecker deutlich, der das empiristische Arithmetisierungsprogramm und die Ausschaltung des Irrationalen wie folgt motiviert: „... Dabei ist aber das Wort „Arithmetik“ nicht in dem üblichen beschränkten Sinne zu verstehen, sondern

es sind alle mathematischen Disziplinen mit Ausnahme der Geometrie und Mechanik, also namentlich die Algebra und Analysis, mit darunter zu begreifen. Und ich glaube auch, daß es dereinst gelingen wird, den gesamten Inhalt aller dieser mathematischen Disziplinen zu „arithmetisieren“, d. h. einzig und allein auf den im engsten Sinne genommenen Zahlbegriff zu gründen, also die Modifikationen und Erweiterungen dieses Begriffs – ich meine hiermit namentlich die Herausnahme der irrationalen sowie der kontinuierlichen Größen – wieder abzustreifen, welche zumeist durch die Anwendungen auf die Geometrie und Mechanik veranlaßt worden sind. ...“ Die letzte Bemerkung ist in erster Linie gegen Ausarbeitung der Funktionenlehre durch Weierstraß gerichtet, in der das potentiell Unendliche im Limesbegriff seinen berechtigten Ort hatte.³³ Später richtete sich die Abwehr der Gruppe um Poincaré, Borel und Lebesgue vor allem gegen die aufkommende transfinite Mengenlehre Cantors, die mit der Eigenständigkeit abgeschlossener unendlicher Größen konstitutiv ernst macht.

Die Intuitionisten waren alles andere als eine geschlossene Gruppe, waren sich aber einig in der Ablehnung exotischer, der Anschauung widerstreitender mathematischer Objekte. Darunter zählten die transzendenten Zahlen, aber auch Weierstraß' Funktion, die überall stetig ist aber nirgends differenzierbar. Es handelt sich dabei um eine Folge von Streckenzügen, die sich sukzessiv einer bestimmten Kurve nähern, die in keinem Punkte eine bestimmte Steigung besitzt und deshalb auch nirgends eine Tangente hat. Den Verteidigern des traditionellen Standpunktes in der Mathematik stießen sich v. a. an den vielen Psychologismen und Werturteilen, die in den Grundlegendiskussionen um den Intuitionismus eine Rolle spielten. So bemerkt Karl Menger schon zu Zeiten des Wiener Kreises: „Was nun ... Aussagen, wie ‚Diese Schlußweisen sind intuitiv begründet, jene sind sinnlos‘ betrifft, so können sie nichts anderes sein, als eine Beschreibung von subjektiven Vorgängen oder ein Ausdruck subjektiven Geschmacks. Es sind *Werturteile*, also im Grund Gefühlsäußerungen, ... denen man aber nicht als Erkenntnissen gegenüber treten kann, die man als wahr oder falsch zu bezeichnen vermöchte.“³⁴ In ähnlicher Weise wurde die Abhängigkeit des Intuitionismus von Kants reiner Anschauung als problematisch angesehen.

Für Kant sind mathematische Urteile synthetisch a priori und beruhen auf der reinen Anschauung der Zeit.³⁵ Diese ermöglicht das suk-

zessive Hinzufügen von Einheiten zu immer größeren Zahlen. Diese Prozeßvorstellung von arithmetischen Operationen liegt auch der Brouwerschen Absicht zugrunde, bei der mit Hilfe der Tätigkeit der introspektiven Konstruktion endliche mathematische Objekte aufgebaut werden. Die unendlichen abstrakten Gebilde können danach nur als unfertige Konstruktionsprozesse angesehen werden, für deren Vollendung die Zeit aber nicht gereicht hat. In jedem Fall ist für den Intuitionismus wie für Kant das schrittweise Zusammenfügen, der iterative Aufbau von Einheiten in der Zeit das Basiskonzept. Grundintuitionen lassen sich natürlich nicht beweisen, sondern nur plausibel motivieren und hier fragt es sich, ob die Bindung an das anthropologische Faktum, daß lebendige Wesen in endlicher Zeit nur endlich viele Einheiten aneinanderreihen können, die optimale Basis für den Aufbau der gesamten Mathematik darstellt. Es zeigt sich hier eine Parallele mit dem Aufbau der Physik nach dem Muster der induktiven Methode, indem man im Logischen Empirismus von elementaren Protokollsätzen zu Hypothesen, Theorien und Symmetrieprinzipien aufsteigen wollte.

Hier ergab sich die Schwierigkeit, daß die Induktion – abgesehen vom Problem ihrer logischen Rechtfertigung – keine theoretischen Begriffe erzeugen kann, die auf nicht beobachtbare aber zweifellos reale Entitäten weisen. Es wurde im Laufe der Diskussion um den ontologischen Status theoretischer Entitäten deutlich, daß die theoretische Physik, vermutlich schon die Experimentalphysik, nicht mit ausschließlich empirischen Begriffen, die auf direkt Sichtbares weisen, das Auslangen finden könnte.³⁶ Die hypothetisch-deduktive Methode, die mit frei postulierten Begriffen und Entitäten beginnt und erst im Nachhinein, durch die Ausarbeitung der Konsequenzmenge der Axiome die Bewährung der Annahmen vorantreibt, kann sich theoretischer Begriffe bedienen, die nicht der Bedingung der Beobachtbarkeit unterworfen sind, sondern nur der Fruchtbarkeit und Reichhaltigkeit. Eine zumindest notwendige Bedingung ist auf jeden Fall erfüllt, die theoretischen Objekte sind einwandfrei gesetzesartig, es gibt keinen Zweifel wie $\omega = \{0, 1, 2, 3 \dots\}$ aufgebaut ist und welche Regeln für die darauf folgenden Zahlen $\omega + 1$, $\omega + 2$, $\omega + 3 \dots$ bis $\omega + \omega = \omega \cdot 2$ usw. gelten. Selbstredend ist das Hinüberzählen über das gewöhnliche abzählbar Unendliche (Hilbert) kein Prozeß in der Zeit. Transfinites Zählen schließt sich an das finite Zählen begrifflich aber nicht physisch an. Entscheidend ist die Gesetzesartigkeit, bei der Einführung eines neuen theoretischen Objektes, deshalb

gibt es ja so viele Einwände gegenüber metaphysischen, zumeist semantisch unbestimmten gesetzlosen Entitäten.

Die neuen Gegenstände der Mengenlehre waren aber durchwegs bestimmt, so zeigte sich, daß für zwei wohlgeordnete Mengen M_1 und M_2 die Summe $M_1 + M_2$ definiert ist, aber das kommutative Gesetz nicht mehr gilt, dagegen für drei Mengen die Assoziativität gewährleistet ist und dasselbe auch für die Multiplikation gilt.³⁷ Methodisch unterscheidet sich ein solches Verfahren nicht von der Einführung theoretischer Entitäten in der mathematischen Physik, wo man die prinzipielle Kontrolle der Theorie an einigen ihrer deduktiven Konsequenzen verlangt, aber nicht die Beobachtbarkeit aller abstrakten Elemente der Theorie.

Die intuitionistische Vorgabe, daß mathematisches Tun als introspektive Konstruktion in der subjektiven Zeit zu fassen sei, welche vorsprachlich und ohne Symbole abläuft und erst anschließend für die Mitteilung in Zeichen gefaßt wird, leuchtete den traditionellen Mathematikern nicht ein und ist wohl auch nur nachzuvollziehen, wenn man ein bestimmtes Nahverhältnis zur Innenschau besitzt. Für jemand, dessen Aufmerksamkeit in erster Linie der empirischen Dingwelt gilt, ist die Verankerung numerischer Objekte im Zählvorgang diskreter Teile der Natur viel naheliegender. Die Durchmusterung der eher amorphen eigenen Psyche fördert bei den meistern Menschen keine Zahlen zu Tage. Demgemäß spaltete sich auch die Einschätzung der Mathematiker-gemeinde beim Intuitionismus. Man schätzt Brouwer in bezug auf seine topologischen Arbeiten, so etwa seinen Beweis der Dimension als Invariante von eineindeutigen und stetigen Abbildungen von Mannigfaltigkeiten aufeinander. Bekannt wurde auch sein Fixpunktsatz, wonach bei einer beliebigen stetigen Transformation einer Kreisscheibe auf sich selbst stets ein Punkt seine Lage nicht verändert. Aber die Urintuition, die auf der Apriorität der reinen Zeitanschauung beruht, wurde von vielen Denkern als Irrationalismus empfunden.³⁸ Der an manchen Stellen solipsistisch erscheinende Ansatz Brouwers erschwerte sowohl die Wiedergewinnung der Objektivität der Mathematik als auch eine Erklärung der außerordentlich erstaunlichen vielfältigen Anwendbarkeit dieser Wissenschaft in der empirischen Realität.

Brouwer stützt sich zwar auf Kant, akzeptiert aber nur den apriorischen Charakter der Zeit und nicht des Raumes.³⁹ Dies wiederum erscheint seltsam angesichts der symmetrischen Rolle, die Raum und Zeit in den relativistischen Lorentztransformationen spielen. Selbst der

apriorische Charakter der Zeit allein harmoniert kaum mit den Beobachtungen der Zeitdilatation in bewegten Systemen, aber hier werden Intuitionisten, da sie den korrespondenztheoretischen Wahrheitsbegriff und die Existenz einer subjektunabhängigen Realität ablehnen, auf den Innenaspekt der Zeiterfahrung hinweisen, der durch die Resultate der äußeren Wahrnehmung nicht erschüttert werden kann. Schon Karl Popper hat jedoch darauf hingewiesen, daß durch die Verwendung der Nichteuclidischen Geometrie in der Physik nicht nur Kants Raumsondern auch seine Zeitauffassung obsolet werden, denn die Einheit der absoluten Zeit als Prozeßform aller, auch der relativ zu einander bewegten, Objekte ist dadurch zerstört.⁴⁰ Damit ist aber auch das Fundament des Intuitionismus betroffen, denn eine reine Anschauung, die sicheres intuitives Erkennen gestattet, kann es nicht geben oder vielleicht sollte man sagen, niemand hat je einen Hinweis auf eine solche gefunden. Jedenfalls hat die Vorgabe von einer sicheren Anschauung der zeitlichen Abfolge, Voraussetzung im Intuitionismus, um aus einer Einheit eine Zweifelt zu machen, den Charakter einer psychologischen Hypothese. „So ist also nicht nur die allgemeine Lehre von der Anschauung als einer unfehlbaren Erkenntnisquelle ein Mythos, sondern unsere Zeitan-schauung ist ebenso der Kritik und der Berichtigung unterworfen, wie es nach Brouwers eigenem Zugeständnis unsere Rauman-schauung ist.“⁴¹ Damit läßt sich auch die von den Intuitionisten geforderte Unabhängigkeit der intuitiv geschauten Gehalte und der sprachlichen Artikulation dieser Wesenheiten nicht mehr durchhalten. Die Objektivität der mathematischen Aussagen konstituiert sich durch die von jedermann verfolgbaren ausformulierten Beweise.⁴²

Das Ergebnis ist, daß es wohl die spontane Erfassung elementarer Stückzahlen gibt, welche aber nicht Gegenstand einer unfehlbaren inneren Wahrnehmung ist. Dies entspricht der Erwartung die man in Alltag, von der Sicherheit der äußeren und inneren Wahrnehmung besitzt. Jeder ist sicherer in bezug auf die Tatsache daß er 10 Finger besitzt, als daß er ein unwandelbares personales Selbst sein eigen nennt. Nichts ist so täuschungsanfällig wie die Evidenz der inneren Wahrnehmung. Popper selber kommt den eingangs genannten Verfechtern der Gegenständlichkeit abstrakter Objekte ein Stück weit entgegen, allerdings nur so weit, daß Zahlen und ihre Relationen ein autonomes Reich bilden, das einmal vom Menschen auf den Weg gebracht sich so verselbständigt, daß man von mathematischen Entdeckungen sprechen kann. Es fragt sich allerdings,

ob die Platoniker in der Mathematik mit dieser Art einer selbsterzeugten Objektivität zufrieden sein sollten. Jedenfalls können sie sich unbeschadet ihrer Position von der Sicherheit der mathematischen Aussagen trennen, auch ein starker ontologischer Platonismus – etwa im Sinne Hardys – muß nicht voraussetzen, daß eine bestimmte Beweisintuition fehlerfrei ist. In der Tat werden ja immer wieder verborgene Voraussetzungen in klassischen Beweisen entdeckt, die zu einem Zeitpunkt als unproblematisch galten, wie etwa die selbstverständliche Verwendung des Tertium non datur. Andrew Wiles erster Beweisvorschlag für Fermats letzte Vermutung hatte eine Lücke, die aber geschlossen werden konnte. Dies ist problemlos vereinbar mit der Vorstellung, daß Fermats Satz immer schon wahr war, ohne daß es jemand wußte. R. Penrose hat in einem Gedankenexperiment die absurden Konsequenzen einer soziologischen Relativität mathematischer Gültigkeit aufgezeigt.⁴³ Um die Stärke der realistischen Position zu gewichten, muß man sich vor Augen führen, wie eine Alternative dazu aussehen könnte. Solomon Feferman vertritt etwa in seinem begrifflichen Strukturalismus den Standpunkt, wonach die Objektivität der Mathematik in der Stabilität und Kohärenz der Kommunikation der Gemeinschaft der Forscher gründet.⁴⁴ Damit gibt es in der Mathematik nur eine intersubjektive, soziologisch konstituierte Objektivität, bei der die Objekte der Formalwissenschaft nur deshalb existieren, weil es der Wunsch der Beteiligten ist, daß es so sein möge.

Den Verfechtern einer solchen schwachen Objektivität, die letztlich keine scharfe Grenze zwischen den unverbindlichen Spielregeln von Schach und Halma und den Peano-Axiomen der Arithmetik zu ziehen vermögen, kann es kaum gelingen, die einzigartige kulturelle Invarianz der Zahlentheorie und der Rechenkunst zu erklären, die sich dramatisch von sämtlichen anderen zeitlich veränderlichen sozialen Verhaltensmustern unterscheidet.

8. Das Zentrum der Bestimmung des Verhältnisses von Zahl und Zeit hat sich jüngst stark auf die Anwendungsebene verschoben. E. P. Wigner lenkte schon vor Jahren die Aufmerksamkeit auf den Grund für den erstaunlichen Erfolg der Mathematik in den Naturwissenschaften. Der Grad der Erstaunlichkeit hängt allerdings entscheidend von dem vorausgesetzten ontologischen Status abstrakter Objekte ab. Wenn die starke ursprüngliche Unzeitlichkeit der formalen Objekte vorausgesetzt

wird, ist deren Teilhabe an der sich zeitlich verändernden Welt schwer verstehbar. Aber es gibt hier eine Reihe von Interpretationsoptionen, die letztlich auf Aristoteles zurückgehen.⁴⁵ Die Mathematik handelt dann nicht von einer gespenstischen Welt der Abstrakta, bei denen man nicht weiß wie die Schnittstelle mit der materiellen Natur aussieht, sondern gibt einfach den quantitativen und strukturalen Aspekt der Realität wieder. Die Australische Schule der Philosophie der Mathematik mit D. M. Armstrong und J. J. C. Smart und in jüngster Zeit die Strukturalisten S. Shapiro und D. M. Resnik haben diese Deutung reaktiviert. Unter den mathematischen Physikern hat v. a. P. A. M. Dirac den intrinsischen Strukturalismus verteidigt. Die mathematische Begreiflichkeit besitzt demnach eine ontologische Verankerung: „This must be ascribed to some mathematical quality in nature, a quality which the casual observer of nature would not suspect, but which nevertheless plays an important rôle in nature’s scheme.“⁴⁶ Damit wird die zeitliche Welt des Werdens auch besser an den scheinbar unnahbaren Bereich der abstrakten Formen angenähert.

Es gibt dann nicht eine zeitlose platonische Formenwelt, die nur mit Hilfe einer rein mythisch deutbaren Erinnerung an die Materie ankoppelt, sondern die empirische Welt war immer schon numerisch strukturiert, womit der mathematische Erklärungserfolg in der Physik verständlich wird. Allerdings muß auch diese Deutung mit einer substantiellen Schwierigkeit fertig werden, nämlich mit den Teilen der Mathematik die noch keine Manifestation in der physikalischen Welt besitzen, wie etwa die höheren Bereiche der Mengenlehre mit ihren Axiomen der großen Kardinalzahlen. Schon Quine hatte diese Schwierigkeit in Zusammenhang mit dem Unvermeidlichkeitsargument gesehen. Immerhin überblicken wir nur einen winzigen Teil der physikalischen Realität und es kann durchaus sein, daß die derzeit noch nicht verwendeten Teile der Formenwelt ihre Repräsentation in einer Ecke des Universums haben, zu denen uns der Zugang verwehrt ist. Zwar ist der Überhang der nicht verwendeten Teile der Mathematik enorm, wenn man die höheren Regionen der Mengenlehre betrachtet, aber mit der wachsenden Ausdehnung der Welten der String-Kosmologie ist ja noch einiges denkbar.

Es ist deshalb James Franklin zuzustimmen, wenn er meint: „Aristotelian realism unifies mathematics and the other natural sciences. It explains in an straightforward way how babies come to mathematical

knowledge through perceiving regularities, how mathematical universals like ratios, symmetries and continuities can be real and perceivable properties of physical and other objects, how new applied mathematical sciences like operations research and chaos theory have expanded the range of what mathematics studies, and how experimental evidence in mathematics leads to new knowledge.⁴⁷ Nicht zuletzt vermag auch ein solcher intrinsischer Realismus über formale Objekte ein Brücke zu schlagen zu einem Naturalismus, in dem die Natur als ein umfassendes raumzeitliches System existiert, das allerdings eine formale Struktur besitzt, die wir in der Entdeckung der Naturgesetze herausstellen können. Das Erstaunen über die erfolgreiche Anwendbarkeit abstrakter Formen reduziert sich, wenn man diesen nicht nur eine mentale Existenz, sondern auch eine materiale Seinsweise zubilligt.

Der Zeitparameter besitzt dabei einen natürlichen Ort in einer sich entwickelnden Welt, der nicht nur eine räumliche sondern auch eine temporale Struktur zu eigen ist. Die relativistische Kosmologie ist wohl das beste Beispiel wie eine sich entwickelnde Welt, entlang einem homogenen Zeitparameter, komplexe Strukturen aufbaut. Das bewährte Standardmodell läßt sich im Sinne des Unvermeidlichkeitsargumentes auswerten, wonach wir alle und nur die Entitäten, die in unseren bewährten Theorien unvermeidbar vorkommen, ontologisch ernst nehmen sollten, unbesehen, ob sie materieller oder formaler Natur sind.⁴⁸ Die kosmologische Zeit ist zweifelsohne ein unentbehrliches Element unserer erfolgreichen Naturbeschreibung. Wenig Zweifel besteht daran, daß wir in einem sich entwickelnden, vom kosmischen Zeitparameter abhängigen, Universum leben. Deshalb werden wir gehalten sein, die Zeit nach der aristotelischen Denkfigur auch als innerliche Struktur der Welt zu deuten.⁴⁹ Aus dieser Sicht stellt sich dann auch das Verhältnis von Zahl und Zeit weniger rätselhaft dar als aus der platonischen Perspektive, bei der man die Unwandelbarkeit der Formenwelt letztlich nicht mit der Veränderlichkeit der Natur harmonisieren kann. Wenn die Zahl aber eine wesentliche Qualität der Natur bildet, wie P. A. M. Dirac es gesehen hat⁵⁰, dann ist es nicht mehr erstaunlich, daß wir mit zeitabhängigen Gleichungen erfolgreich die Natur erfassen können.

Anmerkungen

- 1 Hardy ist u. a. für seine Untersuchungen zur Riemannschen ζ -Funktion, die er mit J. E. Littlewood durchführte bekannt geworden. So bewies er, daß diese Funktion auf der kritischen Geraden $\text{Re}(\zeta) = 1/2$ unendlich viele Nullstellen hat.
- 2 G. H. Hardy 1940, Nr. 22.
- 3 G. H. Hardy *ibid.*, Nr. 24.
- 4 R. Penrose 2005, S. 17.
- 5 Platon: *Politeia* VII. Buch 514a.
- 6 Parmenides: Fragment 8 in: W. Capelle 1953, S. 166.
- 7 A. Grünbaum. Middletown 1967.
- 8 Aristoteles *Physik* VI, c.9 Vgl. Auch Th. Heath 1970, S. 133.
- 9 J. Mosterín/R. Torretti 2003, S. 438.
- 10 Für Details vergleiche R. Courant/H. Robbins 1962, S. 55.
- 11 M. Colyvan 2001.
- 12 A. Kanamori 2003.
- 13 H. Weyl 1928, S. 34.
- 14 B. Russell 1915, S. 143.
- 15 J. Copeland/D. Proutfoot 1999, S. 76–81.
- 16 Für ein Überblick über alle Arten für Hypercomputer vgl. B. J. Copeland 2002, S. 461–502.
- 17 R. Kurzweil 2005.
- 18 Joel David Hamkins 2002, S. 521–539.
- 19 Vgl. Copeland a.a.O., S. 468.
- 20 H. Putnam 1992.
- 21 Wenn die grundsätzliche Möglichkeit von Hyperberechnung oder Superarbeit diskutiert wird, verschwimmen oft die Argumentationsebenen, es sollte aber immer klar sein, ob die physikalischen Realisierungen oder die logische Konstruierbarkeit gemeint sind. Für eine ausführliche Diskussion der Einwände gegen die Unendlichkeitsrechnung und das Ausführen von unendlichen Arbeiten vgl. Copeland *loc. cit.* S. 486, wo er 17 Gegenargumente ausführlich widerlegt.
- 22 B. J. MacLennan 2003, S. 3–22.
- 23 G. Chaitin 2005, S. 105.
- 24 J. C. Maxwell 1920, S. 13–14.
- 25 H. Poincaré 1914, S. 57.
- 26 J. Ford 1989, S. 354.
- 27 Die Hamilton-Funktion H eines dynamischen Systems enthält die Summe der potentiellen und kinetischen Energie des Systems. H hängt generell von den verallgemeinerten Orts- und Impulskordinaten und der Zeit ab., $H(p_k, q_k, t)$ Die Bewegungsgleichungen lassen sich einfach lösen, wenn H durch eine kanonische Transformation nur mehr von Winkel- und Wirkungsvariablen abhängt, was einer Zerlegung der Bewegung des Systems in unabhängige Komponenten entspricht. Hamiltonsche Systeme, die man auf die bevorzugten Koordinaten transformieren kann, nennt man integrierbar, weil die Integration durchgeführt werden kann.

- 28 B. Kanitscheider 1993, S. 169 ff.
 29 Th Heath 1970, S. 102.
 30 Aristoteles: Physik 208a, S. 14–22.
 31 D. Bostock 2009, S. 167.
 32 Adolf Fraenkel 1928, S. 222.
 33 L. Kronecker 1887, S. 337–355.
 34 K. Menger 1933, S. 116.
 35 I. Kant 1956, B15.
 36 M. Bunge 2006, Chapter 3.
 37 G. Cantor 1883, § 3.
 38 Vgl. etwa S. Gottwald et al 1990, S. 80.
 39 Die manchmal dunkle Diktion Brouwers macht eine Einschätzung seiner Ideen schwierig. Für eine klare Darstellung vgl. A. Fraenkel 1928, § 14.
 40 K. R. Popper 1973, S. 147.
 41 Ibid., S. 154.
 42 In jüngster Zeit wird die numerische Intuition von den Neuropsychologen untersucht, mit dem Ergebnis, daß es eine genetisch programmierte Zahlenerfassung zu geben scheint. „The results indicate that a sense of number is part of *Homo sapiens*’ core knowledge, present early on in infancy, and with a reproducible cerebral substrate. It permits a rapid evaluation of (1) approximately how many objects are present in a scene, (2) whether this number is more or less than another number, and (3) how this number is changed by simple operations of addition and subtraction. Its operation obeys three criteria that may be seen as definitional of the term ‚intuition‘: it is fast, automatic, and inaccessible to introspection.“ (Stanislas Dehaene 2009).
 43 R. Penrose 2005, S. 14.
 44 S. Feferman 2008.
 45 James Franklin 2009, S. 103.
 46 P. A. M. Dirac 1938, S. 122.
 47 J. Franklin: loc. cit., S. 151.
 48 M. Colyvan 2009, S. 660.
 49 Für eine ausführliche Darstellung und Argumentation in Richtung auf einen intrinsischen Realismus formaler Strukturen vgl. B. Kanitscheider: Natur und Zahl, Springer Heidelberg, erscheint 2013.
 50 P. A. M. Dirac 1939, Part II, S. 122–129.

Literatur

- Aristoteles, 1988: Physik. Vorlesungen über Natur. Hamburg: F. Meiner.
 Bostock, David, 2009: Empiricism in the Philosophy of Mathematics.
 In: Irvine, Andrew D. (Hg.): Philosophy of Mathematics. Amsterdam: Elsevier, S. 157–229.
 Bunge, Mario, 2006: Chasing Reality. Toronto: University of Toronto Press.

- Cantor, Georg, 1883: Grundlagen einer allgemeinen Mannigfaltigkeitslehre Nr. 5. Leipzig: Teubner.
- Capelle, Wilhelm, 1953: Die Vorsokratiker. Stuttgart: Kröner.
- Chaitin, Gregory, 2005: Meta Math! The Quest for Omega. New York: Pantheon.
- Colyvan, Mark, 2001: The Indispensability of Mathematics. Oxford: Oxford UP.
- Colyvan, Mark, 2009: Mathematics and the World. In: Irvine, Andrew D. (Hg.): Philosophy of Mathematics. Amsterdam: Elsevier, S. 660.
- Copeland, B. Jack, 2002: Hypercomputation. In: Minds and Machines 12, S. 461–502.
- Copeland, Jack, Proutfoot, Dinane, 1999: Alan Turings Forgotten Ideas in Computerscience. In: Scient. Am. 280, S. 76–81.
- Courant, Richard; Robbins, Herbert, 1962: Was ist Mathematik? Heidelberg: Springer.
- Dehaene, Stanislas, 2009: Origins of Mathematical Intuitions. In: Ann. Acad. Sci 1156, S. 232–259.
- Dirac, Paul Adrien Maurice, 1938: The Relation between Mathematics and Physics. In: Proc. Roy. Soc. (Edinburgh) LIX, S. 122–129.
- Feferman, Solomon, 2008: Conceptions of the Continuum. In: Philosophical Reflections on Set Theory Barcelona. <http://math.stanford.edu/~feferman/papers/ConceptContin.pdf>
- Ford, Joseph, 1989: What is chaos, that we should be mindful of it? In: Davies, Paul (Hg.): The New Physics. Cambridge: Cambridge UP, S. 354.
- Fraenkel, Adolf, 1928: Einleitung in die Mengenlehre. Springer: Berlin.
- Franklin, James, 2009: Aristotelian Realism. In: Irvine, Andrew D. (Hg.): Philosophy of Mathematics. Amsterdam: Elsevier, S. 103–155.
- Gottwald, Siegfried et al., 1990: Lexikon bedeutender Mathematiker. Bibliographisches Institut Leipzig
- Grünbaum, Adolf, 1967: Modern Science and Zeno's Paradoxes. Middletown: Wesleyan UP.
- Hamkins, Joel David, 2002: Infinite Time Turing Machines. Minds and Machines 12, S. 521–539.
- Hardy Godefrey, Harold, 1940: A mathematician's Apology. Cambridge: Cambridge UP.
- Heath, Thomas, 1970: Mathematics in Aristotle. Oxford: Oxford UP.

- Kanamori, Akihiro, 2003: The higher Infinite. Large Cardinals from the Beginnings. Berlin: Springer.
- Kanitscheider, Bernulf, 1993: Von der mechanistischen Welt zum kreativen Universum. Darmstadt: WBG.
- Kant, Immanuel, 1956: Kritik der reinen Vernunft. Hamburg: Felix Meiner.
- Kronecker, Leopold, 1887: Über den Zahlbegriff. In: Crelle's Journal für reine und angewandte Mathematik 101, S. 337–355.
- Kurzweil, Ray, 2005: The Singularity is near. New York: Penguin.
- MacLennan, Bruce J, 2003: Transcending Turing Computability. In: Minds and Machines 13, S. 3–22.
- Maxwell, James Clerk, 1920: Matter and Motion. New York: Dover.
- Menger, Karl, 1933: Die neue Logik. In: Mark, Hermann; Thirring, Hans (Hg.): Krise und Neuaufbau in den Exakten Wissenschaften. Leipzig: Deuticke, S. 93–122.
- Mosterín, Jesús; Torretti, Roberto, 2002: Diccionario de Lógica y Filosofía de la ciencia. Madrid: Alianza.
- Penrose, Roger, 2005: The road to reality. New York: Knopf.
- Platon, 1959: Politeia VII. Hamburg: Rohwolt.
- Poincaré, Henri, 1908: Wissenschaft und Methode. Paris: Xenomoi.
- Popper, Karl Raimund, 1973: Objektive Erkenntnis. Hamburg: Hoffmann und Campe.
- Putnam, Hilary, 1992: Renewing Philosophy. Cambridge: Cambridge UP.
- Russell, Bertrand, 1915: Our Knowledge of the external World. Chicago: Chicago UP.
- Weyl, Hermann, 1928: Philosophie der Mathematik und Naturwissenschaft. München: Leibniz.

Georg Mohr

Musik als erlebte Zeit

Die Vielfalt schießt zusammen:
zu einem Stück *tönend erlebter Zeit*:
einem Stück *Musik*.
(Stockhausen 1955, 98)

Musik ist die Zeit-Kunst par excellence. [...]
alles, aber auch wirklich alles, was sich in ihr abspielt,
[ist] auf Zeit bezogen, ist eine Funktion der Zeit,
ist Mikro- oder Makro-Zeit.
(Huber 1999, 67)

Traiter les sons hors temps,
hors de l'air qu'ils respirent
reviendrait à disséquer des cadavres.
(Grisey 1979, 41)

Music makes time audible,
and its form and continuity sensible.
(Langer 1953, 110)

Zusammenfassung

Will man Merkmale, Dimensionen und Bedingungen erlebter Zeit erkunden, dann ist Musik ein besonders geeignetes Phänomen. Musik gibt in ausgezeichneter Weise Aufschluss über Zeitstrukturierung und Weisen der Zeiterfahrung. Zeitlichkeit ist ein so wesentliches Merkmal von Musik, dass man Musik häufig ‚die Zeitkunst par excellence‘ nennt. Damit sind verschiedene Eigenschaften von Musik angesprochen, die sich größtenteils auf zwei Grundsachverhalte zurückbeziehen lassen: der irreversible Verlauf der Ton- oder Klangereignisse in der Zeit (Musik in der Zeit); die Zeitstrukturen, die in einer Musik zur ‚Darstellung‘ kommen (Zeit in der Musik). Philosophiegeschichtlich fällt auf, dass Musik in bedeutenden philosophischen Zeittheorien, insbesondere in Theorien des inneren Zeitbewusstseins, als heuristisches Exemplifikationsmedium verwendet wird. Theorien musikalischer Zeit ergeben im Gegenzug substantielle Rückschlüsse für philosophische Zeittheorien. Musikbegriff und Zeitbegriff scheinen in ihrer jeweiligen Bedeutung auf eine nicht-kontingente Weise aufeinander verwiesen zu sein.

Abstract

If one intends to analyse the relevant features, dimensions und conditions of experienced time, music is a particularly suited field. Music excellently exposes temporal structures and modes of time experience. Temporality is an essential feature of music in such a way that music has often been called “the art of time *par excellence*”. The variety of music-specific qualities can be related to two fundamental structural features of music: the irreversible course of tones, i. e. sound events in time (music in time); the temporal structures ‘represented’ in music (time in music). It is noteworthy that, on the one hand, music serves as the heuristic example in important philosophies of time, especially in philosophical theories of inner time consciousness. On the other hand, theories of musical time allow substantial conclusions to be drawn in philosophical accounts of time. The concepts of music and time, in their respective meaning, seem to be linked to each other in a non-contingent way.

Das Musikerlebnis: eine gute Zeit haben

Wenn es darum gehen soll, Merkmale, Dimensionen und Bedingungen erlebter Zeit zu erkunden, dann ist Musik ein besonders geeignetes Phänomen. Und um sich einem Phänomen anzunähern, ist ein guter Einstieg ein Blick in den Alltagssprachlichen Umgang mit ihm. Unter Musikkonsumenten ist die Rede gängig, dieses oder jenes Konzert sei ein ‚Musikerlebnis‘ gewesen. Damit ist, anders als die Oberflächengrammatik zu erkennen gibt, nicht eine bloße Feststellung gemeint, sondern eine positive Bewertung. Man war positiv beeindruckt, überwältigt etc. In solchen Situationen wird häufig auch gesagt, man habe eine ‚gute Zeit‘ gehabt. Mit diesen Redeweisen wird in der Regel Zufriedenheit über kurzweilige Unterhaltung ausgedrückt, eine Aussage über Zeiterleben im engeren Sinne beinhalten sie meist nicht, eher über ein während des Musikerlebnisses empfundenenes gesteigertes Lebensgefühl.¹

Unweigerliches Verfließen

Im Unterschied dazu wird häufig von Musik als erlebter Zeit gesprochen, um damit eine ausgezeichnete Bedeutung der Zeit für die Musik zu thematisieren. Der Beobachtung, dass Zeit, genauer: Zeitlichkeit, wesentliches Merkmal von Musik ist – und dies in einem fundamenta-

leren und spezifischeren Sinne, als für alle anderen weltlichen Gegenstände gilt, dass sie in der Zeit sind –, wird des Öfteren auch die dazu komplementäre Beobachtung hinzugefügt, dass Musik in ausgezeichneter Weise Aufschluss über Zeitstrukturierung und Weisen der Zeiterfahrung gibt. Um diese beiden Beobachtungen soll es im Folgenden primär gehen. Während die zweite Beobachtung vornehmlich im akademischen Schrifttum auftaucht, wird die erste Beobachtung durch alltäglich geteilte Erfahrungen mit Musik gestützt. Die nächstliegende solcher alltäglichen musikalischen Zeiterfahrungen ist diese, dass Musik in der Zeit verfließt: Sie erklingt und verklingt wieder, sie beginnt und endet wieder, hebt an und hört wieder auf. Solange sie erklingt, ist sie ‚gegenwärtig‘, sobald sie verklungen ist, ist sie wieder ‚verschwunden‘, nicht mehr da. Hiermit ist der ‚transitorische Charakter‘ des musikalischen Materials angesprochen.²

Der Verlauf der Musik von einem Anfang hin zu einem Ende ist ein irreversibler. Die Reihenfolge der Töne ist konstitutives Moment dessen, was als musikalische Abfolge von Tönen (Klängen) wahrgenommen wird. Eine Umkehr der Reihenfolge ist zwar möglich, sowohl kompositorisch durch musikalische Umkehrung („Krebs“) als auch mit technischen Mitteln der Reproduktion, in dem man eine aufgenommene Musik rückwärts ‚abspielt‘. Aber die dadurch entstehende Musik, der musikalische Zusammenhang, ist nicht mehr dieselbe.³ Die Reihenfolge der Töne und damit die Entwicklung der Intervall-Logik ist eine andere. Das Musikalische der Tonbeziehungen erschöpft sich nicht in der ‚Logik‘ der Tonbeziehungen (europäisch ‚klassisch‘: Funktionsharmonik), sondern ist auch und ebenso wesentlich durch die temporale Ordnung des Erklingens der Töne bestimmt. Die Charakterisierung der Musik als zeitlich bezieht sich in der Regel zunächst auf diesen Sachverhalt ihres irreversiblen Verlaufs.

Durch ihren Existenzmodus des irreversiblen Verlaufs scheint Musik etwas Ephemeres zu sein, nahezu Phantomhaftes: eine bloße Episode in der Zeit, davor nichts, danach nichts; man kann sie nicht festhalten, sie verfließt unweigerlich im Zeitstrom; sie scheint nirgends zu sein, bloßer Zeitfluss; weniger als ein Atemhauch, dessen Spuren man sehen kann.

Sinnbild menschlicher Endlichkeit

Dass Musik in der Zeit verfließt, muss man das überhaupt erwähnen? Ist es nicht eine Trivialität, die für jeden selbstverständlich ist? Ja, insofern als sie jeder kennt und man sie niemandem erst noch vorzuführen hätte. Aber es ist eine Trivialität besonderer Art, eine, die uns nicht gleichgültig lässt. Sie weiß nicht nur philosophierende ‚Laien‘ zu beschäftigen, sondern wird auch von Musikern immer wieder als bedeutsam und erwähnenswert empfunden. Am Ende eines Konzerts am 2. Juni 1964 in Hilversum sagt der Jazz-Musiker Eric Dolphy: „When you hear music, after it’s over, it’s gone, in the air. You can never capture it again.“ Das Album, auf dem das Konzert in Hilversum dokumentiert ist, heißt *Last Date* – als man den Mitschnitt veröffentlichte, dachte man, es sei das letzte auf Tonträger mitgeschnittene Konzert Eric Dophys. 27 Tage später stirbt Eric Dolphy. Durch diesen Umstand erhält sein philosophisches Schlusswort zum *Last Date* noch eine existentielle, dramatische Note. Musik erscheint dann wie ein Sinnbild des Lebens: Ein Musikstück ist wie ein Leben, es ist vom ersten Ton an zum Verklingen bestimmt. Elliott Carter etwa – es ließen sich weitere Komponisten nennen – versteht seinem eigenen Bekunden nach seine Musik als Ausdruck des Menschlichen insofern, als sie den Menschen als (im Sinne von Montaignes „ondoyant et divers“) in konstantem Wandel reflektiere.⁴ Dies ist die ‚existentielle‘ Dimension der Zeitlichkeit der Musik, nämlich ihre Sinnbildlichkeit für die Zeitlichkeit des menschlichen Lebens. In und durch Musik erleben wir Strukturen unserer Lebenszeit.

‚Musik‘ – ‚Zeit‘

Durch die Eigenschaft der ‚Flüchtigkeit‘ ihres vorübergehenden Eintretens in den Zeitfluss und wieder Verschwindens scheint sich Musik signifikant und wesentlich von anderen Künsten sowie von den sonstigen Gegenständen unserer Alltagswelt zu unterscheiden. An Musik kann in besonderer Weise Zeit erfahren werden. An Musik kann unmittelbarer als an allen anderen Phänomenen Zeit ‚erlebt‘ werden. So lautet die Überzeugung, die sich schon an der Alltagserfahrung der Flüchtigkeit und Unumkehrbarkeit von Musik (als gehörter) immer wieder zu bestätigen scheint. Für sie lassen sich aber durchaus auch philosophisch

vertiefende Gründe nennen. Diese jedoch beschränken sich keineswegs auf eine Interpretation des Befundes der Flüchtigkeit. Es gibt weitere Aspekte des Zeitlichen, die in einem engen Zusammenhang speziell mit Musik zu stehen scheinen und die weitere, andersgeartete Gründe für eine philosophische Interpretation von Musik als erlebter Zeit liefern. Solche weiteren Gründe müssen daraufhin überprüft werden, ob sie plausible und hinreichende Gründe für die These von der Musik als erlebter Zeit darstellen.

Erschwerend für eine solche Untersuchung ist, dass keiner der das Thema kennzeichnenden Termini unstrittig ist. Besonders belastend ist die notorische ‚Unstimmigkeit‘ mit Bezug auf den Musikbegriff. Ist Musik zu definieren als organisierter Klang?⁵ Ist Hörbarkeit, hörbares Erklingen wesentliches Merkmal von Musik?⁶ Aber auch beim Zeitbegriff fällt – zumal in der musikphilosophischen Diskussion – auf, dass er in stark abweichenden Bedeutungen verwendet wird, so dass die betreffenden Theorien untereinander kaum einen gemeinsamen Gegenstandsbereich haben. Wir haben es nicht nur mit verschiedenen Aspekten des Zeitbegriffs und deren (sich dann ergänzenden) Erörterungen zu tun, sondern mit verschiedenen Bedeutungen, und das heißt letztlich: mit verschiedenen Gegenständen. Die Vieldeutigkeit des Zeitbegriffs, die im Übrigen nicht nur in Theoriediskussionen festzustellen ist, sondern weitgehend in dem Umstand begründet ist, dass auch in alltäglicher Rede in grundlegend verschiedenartigen Kontexten von Zeit gesprochen wird, führt nicht selten zur Verunklarung der Fragestellungen. Die Verschiedenartigkeit der Kontexte möglicher Rede über Zeit geht mitunter so weit, dass die Diskurse nur durch eine Äquivokation, nicht aber durch sachliche Gemeinsamkeiten miteinander zu tun haben. Richard Klein stellt die Vieldeutigkeit treffend heraus: „Die Zeit ist eine Hydra, ein Monstrum mit vielen Köpfen. Jeder auch nur halbwegs seriöse Versuch, ‚Zeit und Musik‘ zum ‚Gegenstand‘ einer theoretischen und analytischen Auseinandersetzung zu machen, zieht einen Pluralisierungs- und Diversifizierungseffekt nach sich, der etwas von einem Dammbbruch an sich hat. Es gibt die Zeit bestimmter Komponisten, individueller Werke, typischer Gattungen, basaler Materialprinzipien (funktionale Harmonik, Taktrhythmik, Dodekaphonie, Serialismus) und medialer Repräsentationsformen (Partitur, Aufführung, Kompositionsprozeß). Diesen Momenten tritt die Geschichtlichkeit des Verstehens, Auslegens und Interpretierens von Musik an die Seite. Und wenn

die Formen musikalischer Zeit als Darstellung menschlichen Zeiterlebens und Zeitverstehens überhaupt in den Blick gelangen, wird man in eine weitere Dynamik der Vielstelligkeit hineingerissen und hat zusätzlich zu unterscheiden zwischen gelebter und erlebter Zeit, individueller Zeiterfahrung und sozialer Zeitkonstitution, zwischen der dimensionierten Lebenszeit endlicher Subjekte und dem Zeithorizont der Welt und des Kosmos, in den die erstere gleichsam eingebettet ist.⁴⁷

Es ist aber – um diesen Befund ins Konstruktive positiv zu wenden – interessant zu sehen, dass die Unterbestimmtheit beider Begriffe, des Musikbegriffs und des Zeitbegriffs, auch Spielraum für wechselseitige Bestimmung lässt, so dass beide Begriffe gerade durch ihre diskursive Beziehung aufeinander an Bestimmtheit, aber eben an interdependenten Bestimmtheit, gewinnen. Auch dies spricht für eine in der ‚Natur der Sache‘ liegende wesentliche Verbindung von Musik und Zeit: dass Musikbegriff und Zeitbegriff in der Frage ihrer jeweiligen Bedeutung aufeinander verwiesen sind, um in der Wechselbestimmung erst zu ihrer jeweiligen Bedeutung zu gelangen. Dennoch oder gerade deswegen machen es die genannten Unterbestimmtheiten und Vieldeutigkeiten des Musik- und Zeitbegriffs aber erforderlich, in einem ersten Schritt die ihnen jeweils entsprechend verschieden fokussierten Fragestellungen bzw. Thesen und Theorien auseinander zu halten. Obwohl gerade in den letzten Jahren die Literatur zu ‚Musik und Zeit‘ rasant zunimmt, steht der Musikphilosophie hier noch grundlegende Arbeit bevor.

Erlebte Zeit

Von „erlebter Zeit“ sprechen wir in verschiedenen Bedeutungen. Unter erlebter Zeit verstehen wir manchmal die Epoche, in der wir leben, die Geschichtszeit unseres Lebens, unser Zeitalter, die historische Gegenwart. In einem anderen Sinn sprechen wir von erlebter Zeit, wenn wir uns explizit bewusst werden, dass es Zeit gibt, dass Zeitlichkeit eine wesentliche Dimension des Lebens ist. „Wir erleben Zeit“ heißt dann soviel wie: wir erleben uns als zeitliche Wesen. Drittens sprechen wir häufig über unser „Zeitempfinden“ und beziehen uns dabei auf unser Empfinden der Geschwindigkeit des „Vergehens der Zeit“, oder genauer: des Vergehens der Ereignisse in der Zeit. „Wie schnell die Zeit vergeht“ ist hier die häufige Redeweise. Schließlich verstehen wir unter

„erlebter Zeit“ das bewusste Leben in einer Gegenwart, das Bewusstsein von Gegenwärtigkeit als der ‚Zentralperspektive‘, aus der sich die Dimensionen modaler Zeit aufspannen: Vergangenheit \Leftarrow Gegenwart \Rightarrow Zukunft.

Im Zusammenhang mit Musik sind alle vier Bedeutungen einschlägig. Jede Musik ist Ausdruck ihres Zeitalters. Von der durch die verfügbaren Instrumente gegebenen materiellen Grundlage des Erklingenden bis hin zu den Gattungen und Formen von Musik ist jede Musik ‚ihre Zeit in Klangerlebnisse gefasst‘. Musikhören ist zudem ein zeitlicher Vorgang, der Zeitlichkeit als Grundtatsache gewissermaßen vorführt. Wir müssen abwarten – sowohl beim Produzieren (Spielen, Singen) als auch beim Rezipieren (Hören) von Musik –, dass Zeit vergeht, in der Töne erklingen können, bevor wir im Begriff sind, Musik zu hören. Sodann ist Musik eine Kunst, die mitunter auch gezielt mit der Manipulierbarkeit unseres Empfindens von Geschwindigkeit spielt. In der europäischen Musik des 20. Jahrhunderts finden sich zahlreiche eindringliche Beispiele für das kompositorische Experimentieren mit dem Zeitgefühl in diesem Sinne. Schließlich geschieht Musikhören immer im Präsens. Die Gegenwärtigkeit des Aufführens und Vernehmens ist wesentlich für Musik. Gegenwärtigkeit ist der zentrale Modus des Musikhörens. Damit ist der zentrale Modus erlebter Zeit im allgemeinen (Gegenwärtigkeit) zugleich der für Musikwahrnehmung fundamentale und essentielle Modus.

Erleben

Was meinen wir mit „Erleben“? Mindestens zwei Merkmale sind wesentlich für den Begriff des Erlebens: Erleben ist eine Weise des Wahrnehmens und Erfahrens, und sie schließt ein Bewusstsein des Erlebnissubjekts von seinem Erleben ein. Erleben ist ein sich-selbst-Erleben *als* erlebend. Kurz: Erleben impliziert Selbstbewusstsein.⁸ Dies wäre in einer systematisch anspruchsvollen Explikation von Zeiterleben und Musikerleben im Rahmen einer Theorie innerer Erfahrung weiter auszuführen.⁹ Der Begriff des Erlebens ist mit Bezug auf Musik wesentlich, denn „in der Musik geht es um das Erleben“.¹⁰

Musik als Exemplifikation philosophischer Zeittheorien

Der einzige Bereich, in dem musikalische Phänomene eine konstitutive Rolle bei der Exploration grundlagenphilosophischer Probleme und der Exemplifikation von deren Lösungen spielen, ist die Zeitphilosophie, hier insbesondere die philosophische Theorie der Zeiterfahrung. Daraus lässt sich die Vermutung ableiten, dass Musik, d.h. die spezifische Weise, wie auditive Phänomene als auditive miteinander in Verbindung stehen, so dass mehrere zeitlich sukzedierende auditive Phänomene als Teilphänomene eines eine Einheit bildenden auditiven Phänomens aufgefasst werden, in besonderer Weise geeignet ist, Zeiterfahrung zu erforschen. Der Melodie kommt eine Eigenschaft zu, die sie gegenüber räumlichen Objekten oder wortsprachlichen Gebilden spezifisch auszeichnet: Ihr Zusammenhang scheint ohne Semantik und ohne Referenz bloß als zeitlicher Folgezusammenhang als Einheit wahrnehmbar zu sein. Und es scheint sogar so zu sein, dass wir diese Einheit im bloß zeitlichen Folgezusammenhang (bei Augustinus, Bergson und Husserl: von Tönen einer Melodie) als Einheit erfahren, unabhängig von einer Subsumtion des Wahrgenommenen unter Begriffe und unabhängig von der intentional-propositional hergestellten Beziehung des Wahrgenommenen auf ein Erkenntnisobjekt. Hierin unterschiede sich, wenn diese Beobachtung stimmen sollte, Musikwahrnehmung spezifisch von anderen Arten von Wahrnehmung, bei denen es gute Gründe gibt anzunehmen, dass das als-Etwas-Wahrnehmen kein unmittelbares Wahrnehmen, sondern ein durch Begriffsgebrauch und Objektbezug erst vermitteltes Wahrnehmen-als ist.

Tatsächlich hat schon die musikalische Exemplifizierung der Zeitphilosophie bei Bergson und Husserl wie dann insbesondere die musikalisch-kompositorische Erforschung der Zeit etwa bei Karlheinz Stockhausen, Bernd Alois Zimmermann, Pierre Boulez oder Gérard Grisey zur philosophischen Entdeckung der Differenz und Wechselbestimmung von innerer und äußerer Zeit, subjektiv erlebter Zeit, Erlebniszeit, *temps durée*, und objektiv gemessener, räumlich vorgestellter Bewegungs-Zeit, *temps espace*, geführt.¹¹ Und dieser musikalisch ‚dirigierte‘ Differenzierungsfortschritt führte erst zu der Entdeckung des ‚inneren Zeitbewusstseins‘ als eines für Zeiterfahrung konstitutiven Bereichs. Erst von hier aus wird eine Theorie modaler Zeit und eine Deutung der Zeitmodi Vergangenheit, Gegenwart und Zukunft möglich.

Musik als Zeitkunst par excellence

Dem Umstand, dass die Auffassung, Musik sei erlebte Zeit, so nahe liegt, korrespondiert der theoriegeschichtliche Befund, dass Musik immer wieder als „Zeitkunst par excellence“ bezeichnet wird. Musik ist „l’art du temps par excellence“.¹² „Nun unterscheiden sich die musischen von den bildenden Künsten, gleichsam schon im ersten Hinblick, durch ihre *zeitliche Seinsweise*. Musik und Musizieren sind ein Ereignis (*événement*) in der Zeit, das nicht nur in und mit der Zeit geschieht, sondern selbst ein zeitliches ist.“¹³ „Sätze, Abschnitte und Glieder [eines musikalischen Kunstwerks] stehen in dem Verweisungszusammenhang eines Vorher und Nachher und sind in keinem einzigen Augenblick ihres Verlaufs als Ganzes hörbar beisammen, sondern erst dann, wenn der letzte Ton verklungen ist.“¹⁴ „Das Hören ist ein Zeitsinn, und Musik ist eine Zeitkunst.“¹⁵ „Musik ist [...] Darstellung der Zeit“.¹⁶ „Musik ist [...] eine in der Zeit ausgelegte Kunst, vielleicht die Kunst in der Zeit schlechthin“¹⁷.

Physikalische Zeit – musikalische Zeit

Die These von der spezifischen, wesentlichen Relevanz der Zeit für Musik bezieht sich nicht nur auf die unstrittige und insofern auch triviale Tatsache, dass Musik im Vollzug ihres Erklings und Hörens in der physikalischen Zeit nur transitorisch existiert, dass ihre Elemente (Töne) sukzessiv in objektiver Zeit eine festgelegte Reihenfolge durchlaufen, bis das ‚Stück‘ (Werk) verklungen und zu seinem Ende gekommen ist. Dieser Umstand des ‚Nur-in-der-Zeit-Existierens‘, ‚reines Zeitobjekt‘ zu sein, ist zwar bereits eine wichtige ‚materielle‘ Basis für die Charakterisierung der Musik als Zeitkunst. Aber über Musik als Zeitkunst bräuchte nicht viel weiter nachgedacht werden, als es mit der Nennung der unstrittigen ‚physikalischen‘ Sachlage bereits geschehen ist, wenn nicht die Bestimmung der Zeitlichkeit von Musik über diese Sachlage hinausgehend weitere, musikspezifische Aspekte von Zeitlichkeit aufwiese. Philosophisch aufklärungsbedürftig ist weniger, dass *Musik in der Zeit* ist – obwohl auch dies in einem noch zu betrachtenden nichttrivialen Sinn relevant ist –, sondern vor allem, dass *Zeit in der Musik* ist. Musik reduziert sich nicht auf in der physikalischen

Zeit ablaufende Schallereignisse. Physikalisch betrachtet sind Töne „periodische Schwingungen eines stofflichen Mediums“¹⁸, die in ihrer durch die Sinuskurve dargestellten Reinform „Sinustöne“ sind. Durch natürliche Körper erzeugte und in einem natürlichen Raum erklingende Töne jedoch sind keine Sinustöne, sondern „etwas durchaus Zusammengesetztes“. „So wird schon beim Erleben eines einzigen musikalischen Tones ein Vielfaches von Intervallbeziehungen wirksam.“ Das Intervall ist „vertikal“, „im *Gleichzeitigen* eines Zusammenklanges mehrerer Töne“, als auch horizontal, „im *Nacheinander* einer Tonfolge“, „erlebbar“. „Dieses ist nur möglich innerhalb der Zeit. Hier nun wird die Bedeutung der Zeit als Grundform der Erfahrung eines Intervalls sowie der Musik überhaupt deutlich.“

Hier stellen sich grundsätzliche Fragen, die von der Musikphilosophie letztlich bis in die Erkenntnistheorie und Sprachphilosophie zurückreichen: Erlebe ich Musik schon durch die zeitliche Form des retentional-protentional verbundenen Nacheinander (Husserl) in der Dauer (Bergson)? Oder benötige ich Begriffe, um auditive Phänomene als Musik zu erleben?¹⁹ Und: Erlebe ich Zeit bloß als Relationengefüge, oder benötige ich Begriffe, um Zeitverhältnisse als solche wahrzunehmen, d. h. mir ihrer als solcher bewusst zu werden?

Inneres Zeitbewusstsein

Wenn wir zunächst und im präsentischen Verlauf des Musikhörens immer nur ‚Phasen‘ und damit Teile einer Musik hören, wie ist dann zu verstehen, dass wir ‚Musik‘ hören und es nicht bei einer bloß additiven Folge von jeweils isolierten fragmentarischen Episoden bleibt? Zu keiner Zeit ihres Erklingens ‚überschauen‘ wir das ‚Ganze‘, nicht nur des Werks (Warum sollte als Musik nur solches Erklingendes gelten, das im Werkmodus produziert wird?²⁰), sondern auch nur einer Melodie, eines Themas.

Auf dieses Problem reagiert zum einen die Phänomenologie des inneren Zeitbewusstseins des Augustinus, Bergsons und Husserls, indem sie die Verbindung der in der Zeit sich ablösenden Tonwahrnehmungen als in der Binnenstruktur des Zeitbewusstseins verankert sieht: Jede ‚jetzt‘ sich ereignende Tonwahrnehmung ist strukturell ‚vernetzt‘ mit auf zuvor Gehörtes bezogenen Retentionen sowie auf noch zu Hören-

des antizipierenden Protentionen. Das Bewusstsein von gegenwärtig zu Hörendem (Gegenwartsbewusstsein) ist kein isolierter Jetztpunkt, sondern eine sich retentional-protentional ‚erstreckende‘ ‚distentio animi‘²¹.

Knapp zusammengefasst beschreibt Husserl die zeitlichen Strukturzusammenhänge des Hörens von Tönen einer Melodie auf drei Ebenen. Auf der ersten Ebene hat nach Husserl bereits der einzelne Ton bzw. dessen Wahrnehmung eine zeitliche Struktur. Jeder Ton hat drei „Phasen“: a) die „Urimpression“, der Ton hebt zu einem Jetztpunkt an zu erklingen, die Wahrnehmung setzt ein; b) die „Retention“, d.h. ein Im-Bewusstsein-Halten der Ton-Wahrnehmung, eine „primäre Erinnerung“, die sich nicht auf Vergangenes bezieht, sondern den „Kometenschweif“ der jeweiligen Tonwahrnehmung bildet, im Unterschied zur „Wiedererinnerung“ von Vergangenen, die Husserl „sekundäre Erinnerung“ nennt; c) die „Protention“, d.h. die unmittelbare Erwartung folgender Tonwahrnehmungen. Erwartung ist konstitutives Moment von Zeitbewusstsein.²² In der Musik wird dies in besonderer Weise gezielt eingesetzt: Durch musikalische Strukturen, z.B. tonale Beziehungen und Richtungen, werden Erwartungen und damit Bögen von Ton zu Ton sowie vom Anfang zum Ende geschlagen. Aus dieser auf drei Ebenen sich erstreckenden Zeitstruktur des Bewusstseins folgt, dass ein Ton als wahrgenommener kein isoliertes Atom ist, sondern eine retentional-protentional-verweisende Zeitstruktur aufweist.

Auf der zweiten Ebene, der Ebene der Melodie, kommt zu der horizontalen Retention-Protention-Struktur eine vertikale Struktur von Schichten des „Herabsinkens“ von Jetztpunkten in den „Vergangenheitshorizont“²³ hinzu, so dass alle gehörten Töne, auch wenn sie verklungen sind, im Bewusstsein mitgegenwärtig bleiben. Die Wahrnehmung einer in der Zeit sich erstreckenden Folge von Tönen als Melodie ist nur dadurch möglich, dass die Töne in einer komplexen zeitlichen, sowohl horizontal-gerichteten als auch vertikal-geschichteten Beziehungsstruktur gegenwärtig und mitgegenwärtig sind.

In Erweiterung des Modells der Zeitstruktur von Tonwahrnehmung und Melodiehören ergibt sich auf der dritten Ebene die komplexe Zeitstruktur eines komplexen musikalischen Kunstwerks.²⁴ – Es ist nach Husserls Analyse also das innere Zeitbewusstsein, das die Melodie zur Melodie macht, das die Töne zur Musik macht.

Die Einzigartigkeit des musikalischen Augenblicks

Musik weist in und mit jedem Ton ebenso wie mit jeder Pause der Stille immer schon auf den nächsten Ton. Das Protentionale ist in der Musik sicher intensiver als in jeder anderen menschlichen Tätigkeit. Der gegenwärtige Ton hat insofern nicht für sich bereits, als isolierter Ton, Ton-Charakter; Gegenwart ist nicht für sich schon, als isoliertes Jetztbewusstsein, Gegenwart. Nur durch seine Position zwischen Retention und Protention erhält der Ton den Charakter eines Elements einer Melodie und insofern erst seinen Ton-Charakter. Nur die Position des Jetztbewusstseins als Gegenwart zwischen Retention bzw. Erinnerung und Protention bzw. Zukunftserwartung erhält die Gegenwart den Charakter eines Moments erlebter Zeit und insofern erst den Charakter von Gegenwärtigkeit. Aufgrund dieser Zusammenhänge ist es nur angemessen, dass Husserl für seine Zwecke der Analyse der komplexen retentional-protentionalen Binnen-Struktur von Zeitbewusstsein die internen zeitlichen Verweisungsbezüge der Momente dieser Struktur an der Melodie exemplifiziert.

Umgekehrt aber spannt sich die Beziehung zu vorhergehenden und folgenden Tönen, Retentionen und Protentionen, nur ausgehend von einem Jetztbewusstsein eines jeweils gegenwärtigen Tons auf. Das Jetztbewusstsein ist nicht nur Brücke zwischen vorher und nachher, sondern es ist die *Ur-Position*, an der die „Urimpression“ als „Quellpunkt“ fungiert,²⁵ von der aus es nur einen Horizont zeitlichen Erlebens geben kann. Sie ist ein wanderndes Gegenwarts-Zentrum. Gerade dadurch, dass es wandert, spannt sich ein Horizont zeitlichen Erlebens auf. Für das Auffassen einer Folge von Tönen ist die jeweilige Gegenwärtigkeit des jeweiligen „Tonjetzt“, wie Husserl es nennt, die – um im Bild zu bleiben – ‚zentrale‘ Bedingung, das Von-wo-aus der zeitlichen Tonbeziehungen. Ohne Auffassen jeweils gegenwärtiger Töne keine Melodie. Ohne Ergreifen der Gegenwart keine erlebte Zeit. Über diese von Husserl phänomenologisch eruierte, grundlegende formale Struktur von „Jetztbewußtsein“ hinaus gewinnt diese Vorausverweisung jedes Tons, mit Husserl die Protention, auch existentielle Bedeutung.

Musik durch Zeitbewusstsein?

An dieser Stelle werden die oben genannten grundsätzlichen Fragen virulent. Man kann gegen Husserls Theorie einwenden – und hat das auch getan²⁶ –, dass Zeitbewusstsein nicht hinreichend ist für *Musik*, sondern dass mit ihm nur das Bewusstsein von der Folge veränderter Tonereignisse gegeben ist. Für Musik brauche es mehr als erlebte Zeit. Und, so könnte man fortfahren: Musik ist nur insoweit erlebte Zeit, als diese Zeit bzw. die Erfüllungen der Zeit interpretiert sind, in Formen und Sinneinheiten gebracht werden, die eine Sukzession von gehörten Schallereignissen erst zu Musik machen. Der Einheitssinn einer Melodie werde nicht schon durch die bloße zeitliche Beziehung „zeitlich und numerisch begrenzter“ Tonfolgen verbürgt, sondern erfordere ein System von Regeln, die solchen Tonfolgen einen Einheitssinn geben.

Eine einfache Überlegung spricht dafür, dass wir mit der bloßen zeitlichen Sukzession nicht auskommen: De facto ist in jedem beliebigen Zeitintervall vieles hörbar. Eine Melodie wahrzunehmen setzt voraus, dass wir aus der unbestimmten Menge des Hörbaren dasjenige ‚heraus-hören‘, was zur Melodie gehört, und all dasjenige ‚aus-sortieren‘, was nur ‚Neben-Geräusch‘ ist. Melodie-Wahrnehmung schließt also Selektion ein. Selektion ist ein Tun, nicht nur passives, rezeptives Registrieren des sich Ereignenden. Selektion impliziert ein Sich-Richten auf Elemente einer Menge, um aus den intendierten Elementen einen geordneten Zusammenhang zu bilden. Aber wie funktioniert Selektion? Was benötigen wir, um eine Selektion vorzunehmen?

Tatsächlich ist die Verbindung der Töne einer Melodie zu *einer Melodie* eine durch bestimmte ‚Regeln‘ oder Einheits-‚Gesichtspunkte‘ der Verbindung konstituierte. Es liegt die These nahe, dass nur aufgrund solcher Verbindungsregeln die Protention und Antizipation ‚Orientierungen‘ bekommt. Das bloße zeitliche ‚Vernetztsein‘ des Jetzt zwischen Retention und Protention ist keine hinreichende Veranlassung der Verbindung der Jetzt-Erfüllungen zu einem Zusammenhang wie dem einer Melodie oder einem sonstwie als musikalisch wahrgenommenen ‚Gebilde‘. Dabei ist zu bedenken: Wir haben es in der Musik nicht mit Erkenntnis zu tun, daher brauchen wir keine Regeln, unter die subsumiert wird, um objektive Gegenstandsbegriffe zu bilden oder anzuwenden. Vielmehr haben wir es in der Musik mit Relationen offenerer Art zu tun, die das Spiel der Einbildungskraft mit Sinnlichkeit und Verstand stimulieren.

Das tonale System

Ein solches System ist das *tonale System* mit seinen Regeln für *tonale* Melodien. Die Theorie der tonalen Funktionsharmonik bietet nun zum anderen eine Erklärung für das Hören von musikalischen ‚Sinneinheiten‘, die jedoch den Zeitfaktor neutralisiert, indem sie bestimmten Prinzipien der Organisation von Intervallen die Eigenschaft zuschreibt, eine Verbindungs-*Logik* der Töne qua *Struktur* herzustellen. Wenn wir uns im Paradigma tonaler Musik bewegen, gilt in der Tat, dass die „Wahrnehmung einer tonalen Melodie als ein einheitliches und als sinnvoll erlebtes Gebilde nicht nur als eine zeitlich und numerisch begrenzte Folge von Tönen verstanden werden kann, wie Husserl es beschreibt, sondern auf Regeln des tonalen Systems und die durch sie bestimmten Akkordverbindungen bezogen werden muss, die eben den Einheitssinn einer tonalen Melodie erzeugen.“²⁷

Ganz grundlegend zutreffend ist an der diese These motivierenden Überlegung dies: Erlebte Zeit ist mehr als komplexe Sukzession. Als erlebte Zeit ist sie sinngedeutete erfüllte Zeit, oder etwas abgeschwächt: eine erfüllte Zeit, deren Erfüllung einer Interpretation offen steht, zu einer Interpretation veranlasst. Um Musik als erlebte Zeit zu erleben, muss ich Deutungssysteme in die Musikwahrnehmung investieren. Nach der Auffassung der Verfechter tonaler Musik – ‚Tonalisten‘ wie etwa Hugo Riemann im 19. Jahrhundert oder wie auch noch die meisten Musikphilosophen der Gegenwart²⁸ – ist das tonale System, d.h. insbesondere die auf die Funktionsharmonik abhebende Tonalität, ein solches Deutungssystem, aufgrund dessen erst das Erleben einer tonalen Melodie inklusive seines zeitlichen Einheitssinns möglich wird, weil eben erst durch das tonale System eine Melodie als „ein einheitliches und als sinnvoll erlebtes Gebilde“ verstanden werden könne. Der „Einheitssinn einer tonalen Melodie“ wird nach dieser Auffassung erst durch die Regeln des tonalen Systems und „die durch sie bestimmten Akkordverbindungen“ erzeugt. Und nur insofern es die Möglichkeit des Verstehens solcher durch einen Einheitssinn konstituierten ‚sinnvollen Gebilde‘ gibt, so lautet die These, können wir von Musikwahrnehmung in einem spezifischen Sinne sprechen.

Für tonale Melodien trifft diese These zu. Aber: Tonalität ist nur eines von mehreren möglichen und auch praktisch existierenden ‚Systemen‘ der Schaffung von musikalischen Sinneinheiten und damit des Verste-

hens von Musik. Aus der Perspektive anderer Musikpraktiken kann das Tonalitätssystem sogar als Verhinderung von sinnvoller Identität erlebt werden. Schönbergs System der 12 nur aufeinander bezogenen Töne ist keine bloße Destruktion tonaler Tradition, sondern beansprucht gerade, den Möglichkeitsraum musikalischer Sinneinheiten zu erweitern, gewissermaßen ‚mehr Sinn‘ zu ermöglichen. Dies gilt auch noch für Cecil Taylors und Ornette Colemans Ausbruch aus Akkordverbindungen und tonalen Melodie-Chorussen zugunsten des *Freedom Principle*.²⁹

Rhythmus

Aber räumen wir ein: Bloße Sukzession macht noch kein Erleben von (erfüllter) Zeit, erst recht noch keine Identität, sei es Subjektidentität oder kulturelle Identität, die sich ihrer selbst im Einheitssinn einer Melodie bewusst wird. Dann ist zunächst an ein der Zeitdimension viel verwandteres Merkmal von Musik zu denken, das als Einheits-sinn-stiftend gelten kann. Der Rhythmus ist dasjenige, was ich gehört haben muss, um eine Phrase oder Melodie als solche zu erfassen und einen Begriff des musikalischen Motivs oder der Gestalt zu gewinnen.³⁰ Und durch Rhythmus ist Wahrnehmung von Zeit insofern möglich, als Rhythmus Markierungen in den Zeitfluss bringt und dadurch Zeiteinheiten erst herstellt. Daher benötigen wir auch, um eine Melodie als Melodie wahrzunehmen, über die bloße Sukzession in der Zeit und auch über das kontinuierliche Zeitbewusstsein mit seinem wandernden Jetzt hinaus den Rhythmus. Eine elaborierte Theorie des Rhythmus erklärt einheitsstiftende Sinnbezüge zwischen einzelnen Tonwahrnehmungen durch zeitstrukturierende Bewegungsausdrucksverläufe, ohne auf die voraussetzungsreiche und zugleich den Musikbegriff drastisch einengende Tonalitätstheorie der Funktionsharmonik rekurrieren zu müssen. „Im *musikalischen Rhythmus* – als einem hörbaren Modell der Koordinierungstätigkeit des Geistes – sind die für sich allein genommenen abstrakten und endlichen Töne so aufeinander bezogen, daß sie zu Teilen größerer Einheiten, eben Bewegungsformen werden. Hierfür ist das Verklingen der Töne geradezu Bedingung: Es gäbe keinen Rhythmus, wenn die Töne nicht endlich wären, wie auch umgekehrt die Bewegungsform sich notwendig in der Zeit und nur so manifestiert, daß

die Form momentan und provisorisch ist.“³¹ „In der in sich bewegten Form des Rhythmus haben wir es nun mit einer (im weitesten Sinne) hörbaren Koordination und Integration von Bewegungen zu tun, also mit einer Form der Bewegtheit, in der sich die Zeit der Dinge und die Zeit des Ichs als ein und dieselbe erweisen.“³²

Luckner verwendet das Adjektiv „musikalisch“. Damit hätten wir, wollten wir anhand des Rhythmus-Begriffs etwas über Musik sagen, eine Art zirkulärer Definition. Was das Musikalische am musikalischen Rhythmus ist, bleibt offen. Ebenso offen bleibt, was am Rhythmus einen Rhythmus zu einem musikalischen macht, ob es etwas am Rhythmus gibt, was die Musik zur Musik macht, oder ob es die Musik ist, die Rhythmus musikalisch macht – wobei zu klären wäre, welche Musik aufgrund welcher Eigenschaften dies leisten soll.

Dessen ungeachtet liegt es nahe, Rhythmus als dasjenige zu verstehen, was noch unabhängig von bestimmten (enggefassten) funktionsharmonischen Tonalitätstheorien und unabhängig von bestimmten (enggefassten) Werk-, Satz- und Formkonventionen die Strukturierung und Relationierung von in zeitlicher Abfolge auftretendem Tonmaterial (Klangereignissen) erlaubt bzw. zu Gehör bringt, die ein auf der sinnlichen Ebene artikuliertes Erfassen von Einheit und Zusammenhang ermöglicht. Edgar Varèse stellt in *Ionisation* (1929–1931) den Rhythmus als musikalischen Parameter in aller Radikalität schon dadurch in den Vordergrund, dass er das Stück ausschließlich mit Schlaginstrumenten besetzt. Sie stellen eine hinreichende Dimension musikalischer Einheit her. „Melodie ist nur das Geschwätz“.³³

Aber selbst wenn man Harmonielehre als konstitutive Bedingung von musikalischer Einheit, und sei es auch nur im schwachen Sinn einer Beziehung zwischen den Tönen oder einer stärkeren Bedeutung der Anleitung der Protention, des Treibens von Ton zu Ton³⁴ verstehen will, bleibt man nur dann in der Musik, wenn man die in abstrakten Generierungs- oder Transitionsregeln beschreibbare Struktur (Tonika – Subdominante – Dominante – Tonika oder dgl.) in konstitutiver Wechselbeziehung zum Prozess des in der Zeit hörbaren Erklingens sieht oder setzt.³⁵ Der zeitliche Verlauf der Musik, ihre Zeitlichkeit als Progressivität, ist unverzichtbares Moment von Musik als Dimension ästhetischer Erfahrung. Der Verlauf als Prozess ist selbst „das Schöne“.³⁶

Sinnliches Hören – musikalisches Hören

Nicolai Hartmanns musikphilosophische Ausführungen in seiner *Ästhetik*³⁷ eignen sich wegen ihrer Klarheit – obgleich eben auch Anfechtbarkeit – zur Präzisierung der virulenten Fragen. „Musik nämlich – ein ‚Stück‘, eine Komposition, ein ‚Satz‘ – ist gar nicht das sinnlich Hörbare allein; sondern stets ist ein ‚musikalisch Hörbares‘ darüber hinaus vorhanden, das einer ganz anderen Synthese im aufnehmenden Bewußtsein bedarf, als das rein akustische Hören sie leisten kann.“ Hartmann setzt offenbar „sinnlich“ gleich mit „akustisch“. Das bestätigt sich im nächsten Absatz: „Man hört sinnlich real (rein akustisch) wohl eine beschränkte Tonfolge zusammen, desgleichen eine Harmoniefolge, aber doch nur so weit, als die akustische Retention reicht (das ‚Noch Nachklingen‘ des eben Gehörten). Und die Retention reicht nicht über einige Sekunden hinaus, zumal wenn die Musik weitergeht und das Neuerklingende sich fortlaufend verwischend über das zeitlich Verschwundene legt.“ „Ein ‚Satz‘ ist zeitlich ausgedehnt, er besteht gerade in der Aufeinanderfolge – und zwar in einer viel weiter ausgedehnten als die Reichweite der Retention.“ „Der Satz braucht Zeit [...]; in jedem Augenblick ist dem Hörenden nur ein Bruchstück präsent. Und dennoch wird er dem Hörer nicht auseinandergerissen, sondern wird als Zusammenhang, als als Ganzes erfaßt. So wenigstens im echten ‚musikalischen‘ Hören: er wird, ungeachtet seines Auseinandergezogeneins in die Zeitstadien, doch als ein Beisammensein aufgefaßt – nicht zwar als ein zeitlich Simultanes, wohl aber als ein Zusammengehöriges, als Einheit.“³⁸

Wenn wir eine Tonfolge oder Abfolge von Klangereignissen als Musik hören, hören wir eine Beziehung und einen Zusammenhang zwischen den ‚Tönen‘. Aber was heißt das genau? Wir hören genau genommen nur die jeweiligen, in den aufeinanderfolgenden Augenblicken (oder Zeitstadien) sich einander ablösenden, abwechselnden ‚Töne‘ oder Klangereignisse. Deren zeitliche ‚Nachbarschaft‘, dass der nächste Ton auf den vorherigen folgt, ist nicht hinreichend für das ‚Hören eines Zusammenhangs‘, einer ‚Musik‘. Musik ist mehr als die zeitliche Folge von Klangereignissen, denn nicht jede zeitliche Nachbarschaft von Gehörtem ist hinreichend dafür, dieses als Musik zu hören. Musik hören heißt, eine Selektion aus einem Wahrnehmungs-‚Feld‘ vorzunehmen.

Das hat auch Konsequenzen für den Begriff der *musikalischen Zeit*.

Musikalische Zeit ist nicht (nur) objektive Sukzessionszeit oder/und subjektive Erlebniszeit, sondern eine komplexe Zeitstruktur, in der die objektive Sukzessionszeit und die subjektive Erlebniszeit aufeinander bezogen sind. Musikalische Zeit ist keine bloße Verlaufszeit und keine rein sinnlich wahrnehmbare Sukzession. Musikalische Zeit ist eine Zeitstruktur, die durch funktionale Zusammenhänge der Organisation von Tonbeziehungen mitkonstituiert ist. Das heißt, die Sukzession erhält eine Tendenz zum Voranschreiten, eine Bewegungsrichtung, die die Protention, wenn nicht überhaupt veranlasst (die Protention liegt ja schon in der Struktur des inneren Zeitbewusstseins, verstanden als bloße formale Binnenrelation der Beziehbarkeit diskreter Ereignisse im kontinuierlichen Fluss), so aber doch auf das jeweils nächste Klangeignis hin orientiert.

Kann man überhaupt von einer „Wahrnehmung einer musikalischen Form im Ganzen“ sprechen? Folgt man Nicolai Hartmann, muss man das verneinen. Eine Aufeinanderfolge muss in irgendeinem Sinn als Einheit vorgestellt werden, um Musik zu sein, d. h. ein Zusammenhang von Tönen. Aber eben ein Zusammenhang, der als Einheit in der Aufeinanderfolge bestimmt ist. Eine Aufeinanderfolge als solche ist streng genommen keine Einheit, sondern nur eine Form. Nun kann man sagen, jede Form ist als solche Einheit, nämlich qua Form: Mit der Form der Anschauung ist die Einheit des Angeschauten, zumindest als Einheit in der Zeit, gegeben. Aber, wie wir von Kant wissen, Einheit der Anschauung ist gerade nicht als solche mit dem Angeschauten (hier: Angehörten) ipso facto gegeben, sondern muss gemacht werden. Die Form ist gegeben, aber die Einheit wird gemacht. Nach Kant kommt Einheit in die Anschauung nur durch Synthesis.

Hartmann macht diesen Punkt explizit mit Bezug auf das Hören geltend: Die Einheit des musikalischen ‚Satzes‘ als Zusammengehören der sukzessiv gehörten Einzeltöne oder Klangfragmente ist „hier nicht im sinnlichen Hören herstellbar [...], sondern nur im Vollzug einer Synthese, die sich im musikalischen Hören erst ergeben muß. Ja, in diesem Vollzug besteht überhaupt erst das musikalische Hören – im Gegensatz zum sinnlichen Hören. Denn nicht der Augenblicksklang, sondern erst das Ganze in der Einheit seiner Folge macht das musikalische Tongebilde des Satzes aus. Und erst von diesem Ganzen her bekommt das eingebaute Detail – das sinnlich Zusammenhörbare – seinen Sinn.“³⁹

Hierzu einige Bemerkungen. Wenn Hartmann schreibt, dass die Ein-

heit des musikalischen Satzes, obwohl sie „nicht im sinnlichen Hören herstellbar“ ist und also durch eine „Synthese“ erst gemacht werden muss, im Vollzug der Synthese „sich ergeben muss“, so heißt dies: Es wird nicht präjudiziert, dass im Hören Einheiten nach vorgefassten Kategorien aus dem Gehörten gemacht werden. Das wäre Begriffssubsumtion, ein Verfahren, mit dem man sich nicht im Bereich ästhetischer Einstellungen, sondern objektiver Gegenstandserkenntnis bewegt. Die Synthesis als Akt muss aber von Einheitsgesichtspunkten geleitet werden, um eine Einheit herzustellen. Welche können das sein? Erkenntnis-kategorien wie Kants „reine Verstandesbegriffe“ können es nicht sein, denn diese eignen sich nicht für ästhetische Kontexte. Die Synthesis im Vollzug musikalischen Hörens kann ihren Einheitssinn nicht von Erkenntniskategorien erhalten.

Des Weiteren ist zu beobachten, dass Hartmanns Rede vom „musikalischen Tongebilde des Satzes“ und seine Ablehnung des „Augenblicksklangs“ einen „Satz“-technischen Musikbegriff präjudiziert: Musik als Werk. Hartmann spricht stets vom „musikalischen Kunstwerk“⁴⁰ und damit von einem kulturell und historisch eingeschränkten Musikbegriff.⁴¹ In direktem Zusammenhang damit ist die Frage zu stellen, ob Hartmanns Voraussetzung, dass Musik immer ein Ganzes sei bzw. sein müsse und stets einen Sinn haben bzw. bekommen müsse, angemessen ist. Von dieser Voraussetzung sind Hartmanns Ausführungen nur zum Teil belastet – und es bleibt eine der wichtigen Fragen der gegenwärtigen Musikphilosophie, ob und inwieweit diese Voraussetzung, vielleicht in einer weniger kategorischen Form und mit Einschränkungen, verteidigt werden kann.

Hartmann erläutert das Sich-Ergeben der Einheit der Musik im zeitlich verlaufenden Hören zum Einen im Sinne der Augustinisch-Husserlschen Analyse: Im gegenwärtigen Hören sind Verklungenes und Kommendes verbunden. „Denn musikalisch weist jede Phase unmittelbar über sich hinaus, und zwar vorwärts wie rückwärts. Denkt man sie sich völlig isoliert, so verliert sie ihren musikalischen Sinn.“⁴² Musik ist Zeitkunst insofern als und genau dann wenn sie durch ihre interne Struktur und die interne Relationierung ihrer Elemente, das Verweisen der einzelnen Klangereignisse aufeinander und das Sich-Ergeben auseinander, das Fordern des nächsten Tons durch den vorhergehenden, die Retentional-Protentional-Struktur des inneren Zeitbewusstseins erfüllt und befördert, ja geradezu ermöglicht. Musik als Zeitkunst ist

Ermöglichung von innerem Zeitbewusstsein. Musik ist Darstellung von innerem Zeitbewusstsein.

Hartmann ergänzt diese Zeitbewusstseinsanalyse aber nun noch durch eine Strukturbeschreibung der Musik, die den Begriff des musikalischen Sinns an den der Ganzheit bindet. Der musikalische Sinn, so Hartmann, „hängt an der Ganzheit.“⁴³ Eine solche Ganzheit ist laut Hartmann nur durch eine Synthesis herzustellen. „Die Synthesis muß der Hörende selbst vollziehen. Insofern ist er nachbildend auch seinerseits kompositorisch tätig.“⁴⁴ „Das grundlegend Eigentümliche des musikalischen Kunstwerkes besteht somit darin, daß es in seinem zeitlichen Ablauf durch die innere Bindung seiner Glieder den Hörer die kompositorische Einheit eines solchen Aufbaus heraushören läßt, obgleich sie sinnlich nicht hörbar ist.“⁴⁵ „Das künstlerische Wunder des Tonwerkes ist nun aber dieses, daß sich mitten in seinem zeitlichen Nacheinander die Einheit eines Gesamtgebildes aufbaut, sich sukzessiv auffüllt, sich rundet und zum Bau zusammenschließt. Wir erleben im musikalischen Hören sein Emporsteigen, Anwachsen, Sich-Türmen; und dieses emporsteigende Gesamtgebilde ist gerade erst dann vollendet und beisammen, wenn die sinnlich hörbare Folge der Klänge zuende gelangt, d.h. bereits verklungen ist.“⁴⁶

So überzeugend die Hinweise auf die im Hörvollzug für Musikwahrnehmung notwendige Synthesisleistung sind, so unbefriedigend ist doch die Fixierung auf das ‚Endprodukt‘ als ‚ein Ganzes‘. Denn dieses wird bei Hartmann nicht mehr durch zeitlichen Verlauf, sondern durch den Überblick über die resultierende Form gekennzeichnet. Damit ist das Wesentliche von der Zeitform wieder abgekoppelt, abstrahiert. Dass Musik Zeitkunst, Kunst des Hörsinns ist, wird damit wieder neutralisiert.

Eine grundlegend wichtige musikphilosophische Frage bleibt aber die, wie die Verbindung der Ereignisse des Ertönens zu einer Musik(wahrnehmung) zu denken ist. Es kann in der Tat kein bloß sinnliches Hören als solches sein; die bloße sinnliche Form der Zeit als Verlaufsform des Auftretens der Ton-Ereignisse ist nicht hinreichend. Ebenso wenig sollte ausschließlich die Funktionsharmonik als Sinn- und Einheitsstifter für musikalische Zeit gelten, wenn diese auch *eine* Systematik anbietet, in der musikalische Zeit als notwendige Entwicklung und Synthese des im Zeitverlauf sinnlich Gehörten zu verstehen ist. Es sollten aber stattdessen primär *Zeit-Begriffe* investiert werden,

d.h. Begriffe von Zeitverhältnissen, von Organisations- und Konstruktionsverfahren für Zeitstrukturen. Bemerkenswert ist, dass Komponisten der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts von Elliott Carter⁴⁷ und John Cage, Bernd Alois Zimmermann⁴⁸ und Karlheinz Stockhausen⁴⁹, György Ligeti und Pierre Boulez, Klaus Huber⁵⁰ und Morton Feldman bis hin zu Gérard Grisey⁵¹ als *Komponisten* auffallend häufig und tief über Zeit nachdenken und ihre musikalisch-kompositorische Arbeit in hohem Maße mit zeitphilosophischer Reflexion verbinden. Manche Musik erscheint geradezu als musikalische Demonstration philosophischer Infragestellung überkommener, unzulänglicher, reduzierter, armer Vorstellungen von Zeit und der Neuerkundung des Erlebbarmachens von Zeitstrukturen. „Eines meiner kompositorischen Hauptanliegen betrifft die Zeitkomponente, die Musikalisierung von Zeit im komponierten Werk. Seit Jahren habe ich über die Problematik musikalischer Zeit nachgedacht, und dieses Nachdenken hat sich in meinen Kompositionen auf vielfältige Weise niedergeschlagen in Eigenschaften meiner Musik“.⁵²

Ein, wenn auch nur sekundäres, dennoch aber beredtes Indiz für die Hochkonjunktur der Zeitphilosophie in der Musik des 20. Jahrhunderts, die zugleich, nach langer Abwesenheit in der musikphilosophischen Theorie ihre erste Renaissance seit der Antike (dort zudem unter anderen metaphysischen Voraussetzungen) darstellt, ist der Umstand, dass in der seit 1949 erschienenen ersten Auflage der *Musik in Geschichte und Gegenwart* kein Eintrag zum Stichwort „Zeit“ zu finden ist, während die zweite Auflage, die seit 1997 erschienen ist, einen umfangreichen und substantiellen Artikel „Zeit“ enthält, der im ersten Teil „musikpsychologische Aspekte“, im zweiten Teil „musikästhetische [sprich: musikphilosophische] Aspekte“ darlegt.⁵³

Einschränkungen

Musik ist *nicht nur* Zeit-Kunst, sondern auch Raum-Kunst: a) Töne sind nur möglich in einem physikalischen Raum, in dem Schallwellen übertragen werden. Ausnahmen: eingebildete Töne, Tinnitus. Musik benötigt Raum für ihr Dasein, für ihre klangliche Realität: b) Raum ist musikalischer Parameter bei der räumlichen Disponierung von Stimmen und Instrumenten als den Quellen musikalischer Klangerzeugung:

siehe Haydns *Abschiedssinfonie*, Mozarts Orchester auf der Bühne im *Don Giovanni*, Mahlers Orchester oder Einzelinstrumente hinter der Bühne, z.B. in der Posthorn-Episode in der *Dritten*: „Wie aus weiter Ferne“ (3. Satz, Ziffer 13–14, Takt 255–56) erklingend, im Übrigen mit einer doppelten Ambivalenz: 1) der Raum-Zeit-Ambivalenz: a) räumliche Entfernung und b) zeitliche Ferne von Vergangenheit (oder auch ferne Zukunft), 2) der Ambivalenz von c) raumzeitlicher Lokalisierung und d) Delokalisierung (Verrückung, Verlagerung, Verschiebung – *displacement*) aus der Realität in einen Traum, eine Imagination.

Nicht nur Musik ist Zeitkunst, auch bildende Kunst, insbesondere moderne Kunst, die dies sogar explizit thematisiert: z.B. Jackson Pollocks Bilder präsentieren sich als Spuren von Bewegungen. Sie sind zwar räumliche physikalische Objekte, die in der Zeit beharren, aber das sind Partituren auch. Ähnlich wie Partituren als Zeichen für Realisierungsanweisungen (für Produktion und Rezeption, Aufführung und Wahrnehmung) stehen, sind Pollocks Bilder ‚Impulsgeber‘ für Rezeptionsakte, ‚Initiatoren‘ für Perspektiveneinnahmen. Schon William Turner und Paul Cézanne lösen die Objekte insofern auf, als sie an die Stelle der quasi-photographischen Abbildung des ‚fertigen‘, physikalisch ‚vorhandenen‘ Objekts die Sichtbarkeit der Bewegung des Pinselstrichs und der Farbe setzen. Das betrachtete Objekt ist Produkt einer Mit-Bewegung des Auges mit der Bewegungsrichtung von Farbklecksen und Strichen. Bildbetrachtung ist damit eben auch eine Zeitkunst, dann nämlich, wenn die Mit-Bewegung wesentlich für eine dem Bild adäquate Rezeption ist. Allerdings spitzt sich hier dann die Frage zu: Was ist dann noch das Spezifische an der musikalischen Zeiterfahrung, wodurch Musik in einem eminenten Sinne erlebte Zeit ist?

Was ist Musik?

Mit der Frage nach der Bedeutung der Zeit für Musik und nach der heuristischen Ergiebigkeit der Musik für das Verstehen von Zeit und Zeiterfahrung hängt unmittelbar die fundamentale Frage danach, was Musik sei, zusammen. Der Musikbegriff ist fundamental, nicht nur peripher oder sekundär davon betroffen, ob und inwieweit Zeit als konstitutiv für Musik betrachtet wird. Ob Musik eine Zeitkunst ist oder nicht – unterstellt die Bestimmtheit des Zeitbegriffs in dieser Charak-

terisierung – ist entscheidend für die Frage, was Musik ist. Mindestens in diesem Sinne ist Musik eine Kunst, über die anhand der Rolle, die die Zeit in und für sie spielen soll, entschieden wird – zwangsläufig. Die Entscheidung über die Rolle der Zeit in und für Musik ist eine, wenn nicht die ausschlaggebende Entscheidung darüber, was unter Musik zu verstehen ist. Unter der Voraussetzung einer intrinsisch an den Zeitbegriff gebundenen Musikkonzeption scheint mir die folgende Charakterisierung treffend: „Musik ist in der Zeit schon aufgrund des Materials, aus dem sie besteht. Der Ton in seinem Ertönen braucht nicht nur Zeit, er ist das Ertönen von Zeit [...]. Jede musikalisch gestaltete Ton-, Klang- und Geräuschfolge ist geformte, organisierte, komponierte, gespielte, ist: musikalische Zeit.“⁵⁴ „Die musikalische Zeit ist komponierte Erlebniszeit.“ „Die musikalische Zeit ist [...] stets versinnlichte, tönende Zeit, wobei es das Tönen ist (im weitesten Sinn: das Hörbar-Sein), also ein selbst spezifisch Zeit-bedingtes, das die Wahrnehmung, das Erleben von Zeit vermittelt und erfüllt.“

Anmerkungen

- 1 Vgl. Rohs 2000, 57.
- 2 Vgl. Cadenbach 1978, 31.
- 3 Vgl. Cadenbach 1978, 34, Anm. 7.
- 4 Vgl. Carters Erläuterungen in dem Film von Frank Scheffer: Elliott Carter: A Labyrinth of Time. DVD Ideale Audience 2006.
- 5 Dass Musik organisierter Klang sei, ist eine der seit dem 20. Jahrhundert am häufigsten von Musikphilosophen, Musikwissenschaftlern und Komponisten vertretenen Auffassungen. Aus der jüngsten musikphilosophischen Literatur vgl. stellvertretend Hamilton 2007, Kap. 2, 40–64.
- 6 Zur Hörbarkeit als definiens von Musik Cadenbach 1978, 25 et pass., Eggebrecht 1987, 185f.
- 7 Klein 2000, 59–60.
- 8 Vgl. Cramer 1974.
- 9 Vgl. Mohr 1992 und 2002. Erste Ansätze dazu im Blick auf Musik finden sich in Christian Friedrich Michaelis' Musikästhetik; dazu Mohr 2007, 144–146.
- 10 Epstein 1992, 348.
- 11 Vgl. Bergson 1888/89.
- 12 Brelet 1949, 25. Brelet will „auf die Erkenntnis des Zeitlichen in der Musik ein System der gesamten Musikästhetik aufbauen“ (Wiora 1957, 15).
- 13 Gurlitt 1954, 651.
- 14 Gurlitt 1954, 652.

- 15 Hartmann 1953, 117.
- 16 Picht 1969, 409.
- 17 Epstein 1983. Vgl. auch Alpersen 1980. Es ließen sich zahlreiche weitere Belege anführen.
- 18 Dieses und die folgenden Zitate dieses Absatzes: Zimmermann 1957/1974, 11.
- 19 Zu dieser Frage vgl. methodisch ganz unterschiedlich ansetzend Eggebrecht 1973 und DeBellis 1995.
- 20 Vgl. Goehr 1992, Kap. 4.
- 21 Zu Augustinus' wegweisender Theorie der *distentio animi* vgl. Wulf 2012.
- 22 Dies wird von neueren kognitionswissenschaftlichen Studien umfassend gestützt. Vgl. Huron 2006.
- 23 Husserl 1928, 389.
- 24 In dieser Darstellung folge ich Stolzenberg 2011, dessen tonalitätstheoretische Fokussierung ich allerdings nicht teile. Fruchtbarer scheinen mir dagegen die auf Husserl aufbauenden rhythmustheoretischen Ausführungen in Bönn 2012.
- 25 Husserl 1928, 390.
- 26 Vgl. Stolzenberg 2011. Seine Überlegungen stehen der Sache nach in der Tradition von Hartmann 1953. Auch Dahlhaus hält das „musikalische Faktum des Konsonanz-Dissonanz-Gegensatzes, das durch kompositorische Entscheidung aus dem psychologischen Sachverhalt der Sonanzgrade erwächst, [für] insofern konstitutiv für das im engeren Sinne ‚Musikalische‘, als es zu den Mitteln gehört, durch die sich die ‚gegebene‘ Zeitlichkeit der Musik als ‚hergestellte‘ Prozessualität realisieren lässt.“ (Dahlhaus 1985, 208) Zum „prozessorientierten Analyseverfahren“, das dezidiert von „Musik als Zeitverlauf“ ausgeht, vgl. Fuß 2005.
- 27 Stolzenberg 2011, 1335.
- 28 In Anbetracht der Tatsache, dass das Tonalitätsparadigma seit hundert Jahren zumindest nicht mehr die alleinherrschende Lehre ist (um es behutsam zu sagen), ist es einigermaßen überraschend, dass nach wie vor fast die gesamte musikphilosophische Literatur, inklusive der zahlreichen neueren angloamerikanischen Publikationen, die „common practice period“ (zu Deutsch: „Klassische Musik“) zum Maßstab ihrer Theorien und Analysen macht.
- 29 Vgl. Litweiler 1984.
- 30 Epstein 1992, 348.
- 31 Luckner 2000, 129.
- 32 Luckner 2000, 130, an Hegel anknüpfend.
- 33 Edgar Varèse zitiert nach Rattle 2005.
- 34 Vgl. Ernst Kurth in der Darstellung von Dahlhaus 1985, 175.
- 35 Die These des Wechselverhältnisses von Struktur und Prozess wird überzeugend in Dahlhaus 1985 entwickelt. Laut Dahlhaus muss die Rede von einer „Wahrnehmung einer musikalischen Form im Ganzen“, wenn sie nicht unreflektiert und unangemessen sein soll, auf „die Differenz und das Wechselverhältnis zwischen Prozeß und Struktur“ bezogen bleiben (175f.).

- 36 Vgl. Rohs 2000.
- 37 Hartmann 1953, hier insbes. 117–119.
- 38 Hartmann 1953, 117.
- 39 Hartmann 1953, 117.
- 40 Hartmann 1953, 119.
- 41 Vgl. die Kritik an ‚Werk‘-orientierten Musikphilosophien in Goehr 1992.
- 42 Hartmann 1953, 119.
- 43 Ebd.
- 44 Hartmann 1953, 118.
- 45 Hartmann 1953, 119.
- 46 Ebd.
- 47 Vgl. Carter 1965, 1976.
- 48 Vgl. Zimmermann 1957.
- 49 Vgl. Stockhausen 1957, 1958.
- 50 Vgl. Huber 1999, erster Teil: „Musikalische Zeit, Lebenszeit“.
- 51 Grisey 1979, 1987.
- 52 Huber 1999, 67.
- 53 Der Reichtum des Materials wie auch der Methoden und Theorien wird eindrücklich und dicht dargestellt von Auhagen/Busch 1998 und Mahrenholz 1998.
- 54 Dieses und die beiden folgenden Zitate aus Eggebrecht 1987, 184–185.

Literatur

- Alperson, Philip, 1980: „Musical Time“ and Music as an „Art of Time“.
In: *Journal of Aesthetics and Art Criticism* 38, S. 407–417.
- Auhagen, Wolfgang; Busch, Veronika, 1998: Art. „Zeit“, Abschnitt A.
Musikpsychologische Aspekte. In: *Musik in Geschichte und Gegenwart*. Hg. v. Ludwig Finscher, Kassel: Bärenreiter, ²1998, Sachteil
Bd. 9, Sp. 2220–2231 [Literaturangaben Sp. 2245–2251].
- Bergson, Henri, 1888/89: *Essai sur les données immédiates de la conscience*. Paris : PUF, 1985; dt. Übs.: *Zeit und Freiheit. Eine Abhandlung über die unmittelbaren Bewusstseinsstatsachen*. Jena: Diederichs, 1911.
- Bönn, Georg, 2012: *Rhythmus und Zeitwahrnehmung in der Musik*.
In: Mohr, Georg; Kreuzer, Johann (Hg.): *Vom Sinn des Hörens. Beiträge zur Philosophie der Musik*. Würzburg: Königshausen & Neumann, S. 127–151.
- Brelet, Gisèle, 1949: *Le Temps musical: Essai d'une esthétique nouvelle de la musique*. 2 Bde., Paris: PUF, 1949; Bd. 1: *La forme sonore et la forme rythmique*; Bd. 2: *La forme musicale*.

- Cadenbach, Rainer, 1978: Das musikalische Kunstwerk. Grundbegriffe einer undogmatischen Musiktheorie. Regensburg: Bosse.
- Carter, Elliott, 1965: The Time Dimension in Music. In: Carter, Elliott: Collected Essays and Lecture, 1937–1995. Hg. v. Jonathan W. Bernard, Rochester. NY: University of Rochester Press, 1997, S. 224–228.
- Carter, Elliott, 1976: Music and the Time Screen. In: Carter, Elliott: Collected Essays and Lectures. Hg. v. Jonathan W. Bernard, Rochester. NY: University of Rochester Press, 1997, S. 262–280.
- Dahlhaus, Carl, 1985: Musik und Zeit. In: Dahlhaus, Carl; Eggebrecht, Hans Heinrich: Was ist Musik? Wilhelmshaven: Noetzel, 4. Aufl. 2001, S. 174–180.
- DeBellis, Mark, 1995: Music and Conceptualization. Cambridge: Cambridge University Press.
- Eggebrecht, Hans Heinrich, 1973: Über begriffliches und begriffsloses Verstehen von Musik. In: Faltin, Peter; Reinecke, Hans-Peter (Hg.): Musik und Verstehen. Aufsätze zur semiotischen Theorie, Ästhetik und Soziologie der musikalischen Rezeption. Köln: Volk, S. 48–57.
- Eggebrecht, Hans Heinrich, 1987: Musik und Zeit. In: Dahlhaus, Carl; Eggebrecht, Hans Heinrich: Was ist Musik? Wilhelmshaven, S. 181–186.
- Epstein, David, 1992: Das Erlebnis der Zeit in der Musik. Struktur und Prozeß. In: Die Zeit. Dauer und Augenblick. Veröffentlichungen der Carl Friedrich von Siemens Stiftung. Hg. v. Heinz Gumin und Heinrich Meier. Bd. 2. München: Piper, 1992 (1. Aufl. München: Oldenbourg 1983), S. 345–364.
- Fuß, Hans-Ulrich, 2005: Musik als Zeitverlauf. Prozeßorientierte Analyseverfahren in der amerikanischen Musiktheorie. In: Zeitschrift der Gesellschaft für Musiktheorie 2/2–3, S. 21–34.
- Goehr, Lydia, 1992: The Imaginary Museum of Musical Works: An Essay in the Philosophy of Music. Oxford: Oxford University Press.
- Grisey, Gérard, 1979: Réflexions sur le temps. In: Grisey 2008, S. 39–44.
- Grisey, Gérard, 1987: Tempus ex machina. Réflexions d'un compositeur sur le temps musical. In: Grisey 2008, S. 57–88.
- Grisey, Gérard, 2008: Écrits ou l'invention de la musique spectrale. Éd. par Guy Lelong, Éditions MF.
- Gurlitt, Wilibald, 1954: Form in der Musik als Zeitgestaltung. In: Akademie der Wissenschaften und der Literatur in Mainz, Abhandlungen

- gen der geistes- und sozialwissenschaftlichen Klasse, Jg. 1954, Nr. 13, Wiesbaden: Steiner, S. 651–677.
- Hamilton, Andy, 2007: *Aesthetics and Music*. London/New York: Continuum.
- Hartmann, Nicolai, 1953: *Ästhetik*, Berlin: de Gruyter, 2. Aufl. 1966, insbes. 7. Kap., S. 113–125, 14. Kap., S. 197–212, 25. Kap., S. 312–321.
- Huber, Klaus, 1999: *Umgepflügte Zeit. Schriften und Gespräche*. Hg. v. Max Nyffeler, Köln (Edition MusikTexte); darin: Erster Teil: „Musikalische Zeit, Lebenszeit“.
- Huron, David, 2006: *Sweet Anticipation: Music and the Psychology of Expectation*. Boston: MIT.
- Husserl, Edmund, 1928: *Vorlesungen zur Phänomenologie des inneren Zeitbewußtseins*. Erstdruck in: *Jahrbuch für Philosophie und phänomenologische Forschung*. Hg. v. Martin Heidegger, Bd. IX, S. 367–498.
- Klein, Richard, 2000: *Thesen zum Verhältnis von Musik und Zeit*. In: Klein, Richard; Kiem, Eckehard; Ette, Wolfram (Hg.): *Musik in der Zeit – Zeit in der Musik*. Weilerswist: Velbrück, S. 57–107.
- Langer, Susanne K., 1953: *Feeling and Form. A Theory of Art developed from Philosophy in a New Key*. London: Scribner.
- Litweiler, John, 1984: *The Freedom Principle: Jazz After 1958*. New York: Da Capo.
- Luckner, Andreas, 2000: „Zeit, Begriff und Rhythmus: Hegel, Heidegger und die elementarische Macht der Musik“. In: Klein, Richard; Kiem, Eckehard; Ette, Wolfram (Hg.): *Musik in der Zeit – Zeit in der Musik*. Weilerswist: Velbrück, S. 108–138.
- Mahrenholz, Simone, 1998: *Art. Zeit, Abschnitt B. Musikästhetische Aspekte*. In: *Musik in Geschichte und Gegenwart*. Hg. v. Ludwig Finscher. Kassel: Bärenreiter, ²1998, Sachteil Bd. 9, Sp. 2231–2251.
- Mohr, Georg, 1992: *Thesen über Zeitbewußtsein und innere Erfahrung*. In: *Forum für Philosophie Bad Homburg* (Hg.): *Zeiterfahrung und Personalität*. Frankfurt/M.: Suhrkamp, S. 181–206.
- Mohr, Georg, 2002: *Indexikalische Repräsentation von Zeit und die Simultaneität von innerer und äußerer Erfahrung*. In: Pape, Helmut; Kettner, Matthias (Hg.): *Indexikalität und sprachlicher Weltbezug*. Paderborn: Mentis, S. 215–233.
- Mohr, Georg, 2007: „Die Musik ist eine Kunst des inneren Sinnes und der Einbildungskraft“. *Affekt, Form und Reflexion bei Christian*

- Friedrich Michaelis. In: Musik-Konzepte, Sonderband Musikphilosophie. Hg. Ulrich Tadday. München: Borberg, S. 137–151.
- Mohr, Georg; Kreuzer, Johann (Hg.), 2012: Vom Sinn des Hörens. Beiträge zur Philosophie der Musik. Würzburg: Königshausen & Neumann.
- Picht, Georg, 1969: Grundlinien einer Philosophie der Musik. In: Merkur 221, 1966, H. 8; wieder abgedruckt in ders.: Wahrheit, Vernunft, Verantwortung. Philosophische Studien. Stuttgart: Klett, S. 409–426.
- Rattle, Simon, 2005: Musik im 20. Jahrhundert (Leaving Home). Vol. 2: Rhythmus. DVD Arthaus.
- Rohs, Peter, 2000: Singend denken. Musikästhetische Überlegungen im Anschluss an einen Begriff von C. Ph. E. Bach. In: Zywiets, Michael (Hg.): Grenzgebiete. Festschrift Klaus Hortschansky zum 65. Geburtstag. Eisenach: Wagner, S. 65–89; wieder abgedruckt in: Mohr, Georg; Kreuzer, Johann (Hg.): Vom Sinn des Hörens. Beiträge zur Philosophie der Musik. Würzburg: Königshausen & Neumann, 2012, S. 57–76.
- Scheffer, Frank, 2006: Elliott Carter: A Labyrinth Of Time. Allegri Film 2004; DVD Collection Juxtapositions, Idéale Audience Internationale.
- Stockhausen, Karlheinz, 1955: Struktur und Erlebniszeit. In: die Reihe 2. Wien 1955; wieder abgedruckt in: Karlheinz Stockhausen: Texte zur elektronischen und instrumentalen Musik. Hg. v. Dieter Schnebel. Bd. 1: Aufsätze 1952–1962 zur Theorie des Komponierens. Köln: DuMont Schauberg, 1963, S. 86–98.
- Stockhausen, Karlheinz, 1957: ... wie die Zeit vergeht ... In: die Reihe 3. Wien 1957; wieder abgedruckt in: Karlheinz Stockhausen: Texte zur elektronischen und instrumentalen Musik. Hg. v. Dieter Schnebel. Bd. 1: Aufsätze 1952–1962 zur Theorie des Komponierens. Köln: DuMont Schauberg, 1963, S. 99–139.
- Stolzenberg, Jürgen, 2011: Über das Hören von Melodien. Überlegungen zu einer Phänomenologie des musikalischen Zeitbewusstseins. In: Deutsches Jahrbuch Philosophie 02: Lebenswelt und Wissenschaft. Hg. v. Carl Friedrich Gethmann. Hamburg: Meiner, S. 1115–1127.
- Wiora, Walter, 1957: Musik als Zeitkunst. In: Die Musikforschung 10, S. 15–28.
- Wulf, Silke, 2012: Hören als ZeitSinn. Augustinus' *De Musica* VI. In:

Mohr, Georg; Kreuzer, Johann (Hg.): Vom Sinn des Hörens. Beiträge zur Philosophie der Musik. Würzburg: Königshausen & Neumann, S. 21–37.

Zimmermann, Bernd Alois, 1957: Intervall und Zeit. In: Zimmermann, Bernd Alois: Intervall und Zeit. Aufsätze und Schriften zum Werk. Hg. v. Christof Bitter. Mainz: Schott, 1974, S. 11–14.

Verzeichnis der Autoren

Prof. Dr. Ulrich Gähde
Philosophisches Seminar der Uni-
versität Hamburg
Von-Melle-Park 6
20146 Hamburg
E-mail: ulrich.gaehde@uni-hamburg.de
[www.philosophie.uni-hamburg.de/
Team/Gaehde/index.html](http://www.philosophie.uni-hamburg.de/Team/Gaehde/index.html)

Prof. em. Dr. Bernulf Kanitscheider
Am Sonnenhang 50
35447 Reiskirchen/Bersrod
E-mail: [Bernulf.Kanitscheider@
gmx.de](mailto:Bernulf.Kanitscheider@gmx.de)
kanitscheider.ka.funpic.de

PD Dr. Meinard Kuhlmann
Abteilung Philosophie
Universität Bielefeld
Universitätsstr. 25
33615 Bielefeld
E-mail: mkuhlmann@uni-bielefeld.de
[www.uni-bielefeld.de/philosophie/
personen/index.html](http://www.uni-bielefeld.de/philosophie/personen/index.html)

Jun. Prof. Dr. Dennis Lehmkuhl
Universität Wuppertal
IZWT und Institut für Philosophie
Gaußstrasse 20
42119 Wuppertal
E-mail: [dennis.lehmkuhl@uni-
wuppertal.de](mailto:dennis.lehmkuhl@uni-wuppertal.de)
[www.izwt.uni-wuppertal.de/home/
personal/dennis-lehmkuhl.html](http://www.izwt.uni-wuppertal.de/home/personal/dennis-lehmkuhl.html)

Prof. Dr. Georg Mohr
Institut für Philosophie
Universität Bremen
Enrique-Schmidt-Str. 7
28359 Bremen
E-mail: gmohr@uni-bremen.de
[www.philosophie.uni-bremen.de/
personen.html](http://www.philosophie.uni-bremen.de/personen.html)

Prof. Dr. Peter H. Richter
Institut für Theoretische Physik
Universität Bremen
Postfach 33 04 40
28334 Bremen
E-mail: prichter@uni-bremen.de
[www-nonlinear.physik.uni-bremen.
de/~prichter/](http://www-nonlinear.physik.uni-bremen.de/~prichter/)

Prof. i.R. Dr. Dr. Gerhard Vollmer
Professor-Döllgast-Straße 14
86633 Neuburg/Donau
E-mail: g.vollmer@tu-bs.de
[www.tu-braunschweig.de/philoso-
phie/personen/ehemalige/vollmer](http://www.tu-braunschweig.de/philosophie/personen/ehemalige/vollmer)

PHILOSOPHIA NATURALIS

Eingereichte Beiträge dürfen weder schon veröffentlicht worden sein noch gleichzeitig einem anderen Organ angeboten werden. Mit der Annahme des Manuskriptes zur Veröffentlichung in der *Philosophia naturalis* räumt der Autor dem Verlag Vittorio Klostermann das zeitlich und inhaltlich unbeschränkte Nutzungsrecht im Rahmen der Print- und Online-Ausgabe der Zeitschrift ein. Dieses beinhaltet das Recht der Nutzung und Wiedergabe im In- und Ausland in körperlicher und unkörperlicher Form sowie die Befugnis, Dritten die Wiedergabe und Speicherung des Werkes zu gestatten. Der Autor behält jedoch das Recht, nach Ablauf eines Jahres anderen Verlagen eine einfache Abdruckgenehmigung zu erteilen.

Richtlinien zur Manuskriptgestaltung

Bitte jeden Beitrag mit *Titelblatt* abgeben, das folgende Angaben enthält: Name und Vorname des Autors / der Autorin (mit akad. Titel), Titel des Beitrags, vollständige Adresse (inkl. Telefon-Nummer), nähere Bezeichnung der Arbeitsstätte.

Die *Manuskripte* sollten 3-fach ausgedruckt und als Word- oder rtf-File eingereicht werden und ein deutsch- und englischsprachiges Abstract enthalten. Das Manuskript sollte einen breiten Rand haben.

Der *Umfang* (einschließlich Anmerkungen und Bibliografie) soll bei den Aufsätzen nicht mehr als 30 maschinengeschriebene Seiten (ca. 2.000 Anschläge, 2-zeilig) betragen.

Für *Abbildungen* im Text bitte die Originalvorlage einreichen. Abbildungen müssen nummeriert und mit Autorennamen versehen sein.

Zitate im Text sollten vom Haupttext durch eine Leerzeile abgehoben werden. Nach dem zitierten Text stehen Name des zitierten Verfassers, Erscheinungsjahr und Seitenangaben in Klammern, z. B.: (Elkana 1974, S. 34). Bei mehreren Autoren werden die jeweiligen Namen durch Schrägstriche getrennt, z. B.: Krantz/Luce/Suppes/Tversky 1971, S. 8). Wird auf mehrere Publikationen desselben Autors im selben Erscheinungsjahr verwiesen, so sollen sie nummeriert werden: (Ludwig 1970 a) bzw. (Ludwig 1970 b).

Die *Anmerkungen* sind im Manuskript fortlaufend zu nummerieren; sie stehen am Schluss des Beitrags in numerischer Reihenfolge.

Für das anschließende *Literaturverzeichnis* in alphabetischer und chronologischer Reihenfolge gilt folgendes Muster:

Elkana, Y., 1974: *The Discovery of the Conservation of Energy*. London: Hutchinson.

Clausius, R., 1850: Über die bewegende Kraft der Wärme. In: *Annalen der Physik und Chemie*, 79, S. 500–524.

Klein, M.J., 1978: The Early Papers of J. Willard Gibbs: A Transformation of Thermodynamics. In: E.G. Forbes (Hg.): *Human Implications of Scientific Advance*. Edinburgh: University Press, S. 330–341.

Korrekturen: Die Autoren erhalten vom Verlag die Fahnen ihres Beitrags mit der Bitte, die korrigierten Fahnen *innerhalb von zwei Wochen* an den Herausgeber zu schicken. In den Fahnen sollen nur noch Satzfehler berichtigt werden.

Nach Erscheinen des Heftes erhalten die Autoren 3 Belegexemplare des jeweiligen Heftes.

philosophia naturalis

Located at the crossroads between natural philosophy, the theory and history of science, and the philosophy of technology, JOURNAL FOR THE PHILOSOPHY OF NATURE has represented for many decades – not only in the German speaking countries but internationally – a broad range of topics not addressed by any other periodical.

The journal has a highly interdisciplinary focus. Articles with systematic as well as historical approaches are published in German and English. Their quality is assured by a strict peer review policy.

philosophia naturalis

Inhaltlich an der Schnittstelle zwischen Naturphilosophie, Wissenschaftstheorie, Wissenschaftsgeschichte und Technik-Philosophie angesiedelt, vertritt die Zeitschrift

JOURNAL FOR THE PHILOSOPHY OF NATURE seit mehreren Jahrzehnten nicht nur im deutschen Sprachraum, sondern auch im internationalen Vergleich, einen weiten Themenbereich, der von keinem anderen Publikationsorgan vertreten wird. Die Zeitschrift ist ausgesprochen interdisziplinär ausgerichtet. Sie veröffentlicht Aufsätze in deutscher und englischer Sprache, die sowohl systematisch als auch historisch orientiert sind. Deren Qualität wird durch ein besonders strenges Begutachtungsverfahren gesichert.

ISSN 0031-8027 www.klostermann.de
ISBN 978-3-465-04174-0



9 783465 041740