

Tobias Jung

Statik und Dynamik im astronomischen Weltbild

Dieter B. Herrmann schreibt in seinem Büchlein „Das Weltall. Aufbau, Geschichte, Rätsel“:¹

„Dass wir Menschen heute in der Lage sind, die allein zeitlich unvorstellbare *Lebensgeschichte des Universums* wenigstens in groben Zügen zu verstehen und beschreiben, ist eine höchst erstaunliche Tatsache.“

Diese „Lebensgeschichte des Universums“ wird im Rahmen des heutigen Standardmodells der Kosmologie expliziert.² Das Universum begann vor etwa 13,7 Milliarden Jahren mit dem Urknall. Innerhalb von 10^{-10} s bildeten sich aus einer ursprünglichen Urkraft die vier uns heute bekannten fundamentalen Grundkräfte, die Gravitation, der Elektromagnetismus, die starke Kraft und die schwache Kraft. Innerhalb der ersten Minuten entstand das Quark-Gluon-Plasma, aus diesem das Hadronen-Plasma und in der primordialen Nukleosynthese das Wasserstoff-Helium-Plasma. Es entwickelten sich Strukturen wie Sterne, Galaxien, Galaxienhaufen, Superhaufen und Leerräume, wobei die Dunkle Materie eine bedeutende Rolle spielte.

Fundamentale Kräfte, Teilchen und Strukturen entstehen und entwickeln sich. Folglich ist eine Entwicklung oder Evolution, anders gesagt: Geschichtlichkeit, ein grundlegender Aspekt der modernen Kosmologie. Darauf weist auch der Philosoph Georg Picht (1913–1982), ein enger Freund von Carl Friedrich von Weizsäcker (1912–2007), ausdrücklich hin:³

„Die kosmologischen Entwürfe der Astrophysiker in den letzten Jahrzehnten sind insgesamt Geschichtsentwürfe. Man kann das daran erkennen,

- 1 Dieter B. Herrmann: *Das Weltall. Aufbau, Geschichte, Rätsel*, C. H. Beck, München, 2006, S. 71, meine Hervorhebung.
- 2 Vergleiche zum Beispiel Peter Coles, Francesco Lucchin: *Cosmology. The origin and evolution of cosmic structure*, John Wiley & Sons, Chichester, 1997, Andrew Liddle: *Einführung in die moderne Kosmologie*, Wiley-VCH, Weinheim, 2009 sowie John A. Peacock: *Cosmological physics*, Cambridge University Press, Cambridge, 1999.
- 3 Georg Picht: *Der Begriff der Natur und seine Geschichte*, Klett-Cotta, Stuttgart, 1998, 4. Auflage, S. 25.

dass sie durchgängig (in, wie mir scheint, höchst fragwürdiger Weise) physikalische Spekulationen über den Anfang und das Ende der Geschichte des Universums enthalten.“

Auch heutige Wissenschaftler wie Hans-Joachim Blome (geb. 1950) vertreten die Ansicht, „dass Astronomen und Kosmologen nichts anderes als fragende Historiker des Universums sind.“⁴

Die Bedeutung dieser Geschichtlichkeit als ein wesentlicher Grundzug der Kosmologie scheint mir philosophisch nach wie vor nicht genügend reflektiert zu sein. Wissenschaftshistorisch stellt sich zunächst die Frage, wie dieser Gedanke der Geschichtlichkeit aufkam und Eingang in die kosmologischen Entwürfe fand. Auf diese Frage möchte ich in dieser Arbeit einige Schlaglichter werfen.

Der griechische Philosoph Aristoteles (384 v. Chr.–322 v. Chr.) unterteilte den Kosmos in eine sublunare und eine supralunare Sphäre.⁵ Die sublunare Sphäre, also der Bereich unterhalb der Mondbahn, ist der Bereich der Veränderung. Die vier Elemente des Empedokles (um 494 v. Chr.–um 434 v. Chr.), Feuer, Erde, Wasser und Luft, wandeln sich ständig ineinander um. In der supralunaren Sphäre, dem Bereich oberhalb der Mondbahn, befinden sich die Himmelskörper. Sie bestehen aus dem Äther, der Quintessenz, also dem fünften Element, und bewegen sich auf unveränderlichen, ewigen, göttlichen Kreisbahnen.⁶ Diese Unterteilung erwies sich als so wirkungsmächtig, dass sich die Physik des Himmels von der irdischen Physik trennte. Eine mathematische Beschreibung der Planetenbewegungen als den damals als wesentlich angesehenen Himmelskörpern auf Grundlage astronomischer Beobachtungsdaten gelang Johannes Kepler (1571–1630).⁷ In seiner 1609 veröffentlichten „*Astronomia nova*“ formulierte er das 1. und das 2. Keplersche Gesetz. Die Planeten bewegen sich demnach auf elliptischen Bahnen um die

4 Hans-Joachim Blome, Harald Zaun: *Der Urknall. Anfang und Zukunft des Universums*, C. H. Beck, München, 2007, 2., aktualisierte Auflage, S. 11.

5 Aristoteles, *De caelo*, A 268 b 1 ff.

6 Die Kreisbewegungen der Himmelskörper stellen zwar eine Veränderung dar, die aber nicht im Sinne einer Entwicklung zu verstehen ist. Hier kommt die Differenzierung des Begriffs der Bewegung bei Aristoteles zum Tragen. Ortsveränderung ist nur eine Art der Bewegung neben quantitativer Veränderung, qualitativer Veränderung und substantialer Veränderung (Wesensveränderung).

7 Vergleiche zum Beispiel Volker Bialas: *Johannes Kepler*, C. H. Beck, München, 2004; Martin Carrier, Jürgen Mittelstraß: *Johannes Kepler (1571–1630)*, in: Gernot Böhme (Hrsg.): *Klassiker der Naturphilosophie. Von den Vorsokratikern bis zur Kopenhagener Schule*, C. H. Beck, München, 1989, S. 136–157 sowie Bruce Stephenson: *Kepler's physical astronomy*, Princeton University Press, Princeton (New Jersey/USA), 1994.

Sonne, die in einem Brennpunkt der Ellipse steht. Der Radiusvektor von der Sonne zum Planeten überstreicht dabei in gleichen Zeiten gleiche Flächen. 1619 erschien Keplers „*Harmonice mundi*“, die sein 3. Gesetz enthält, in dem eine Beziehung zwischen zwei Planetenbahnen um die Sonne als dem gemeinsamen Zentralkörper konstatiert wird: die Quadrate der Umlaufzeiten verhalten sich wie die Kuben der großen Halbachsen der Ellipsen. Grundlegende Gesetze der irdischen Physik fand etwa zeitgleich Galileo Galilei (1564–1642) mit den Fallgesetzen oder den Gesetzen der Pendelbewegung.⁸ Es war die große Leistung von Isaac Newton (1643–1727), die getrennten Bereiche der Himmelsphysik und der irdischen Physik auf Grundlage seiner drei Axiome und des Gravitationsgesetzes zu vereinen.⁹ Diese Grundlagen legte er in seinem Werk „*Principia mathematica philosophiae naturalis*“ aus dem Jahr 1687 dar. Mit den drei Axiomen und dem Gravitationsgesetz schaffte Newton auch das Fundament für eine physikalische Kosmogonie und Kosmologie. Aber er selbst war hinsichtlich einer kosmologischen Anwendung seiner Theorie eher zurückhaltend. Am deutlichsten äußerte er seine kosmologischen Vorstellungen in einem Briefwechsel mit dem Gräzisten und Theologen Richard Bentley (1662–1742) aus den Jahren 1692 und 1693. Er argumentierte zugunsten eines unendlichen, statischen Sternennuniversums auf Grundlage des kosmologischen Prinzips, also der homogenen und isotropen Verteilung der Materie. Dass die Sterne ihre Positionen zeitlich nicht verändern, dass die Sternverteilung also statisch ist, nahm Newton implizit ohne weitere Erläuterung an. Empirische Evidenz, die für eine Eigenbewegung der Sterne spricht, fehlte zu dieser Zeit auch völlig. Deshalb schreibt der französische Mathematiker, Naturforscher und Philosoph René Descartes (1596–1650) in seinem erstmals 1644 erschienenen Werk „*Principia philosophiae*“:¹⁰

„Unter den Sternen besteht der Unterschied, daß die Fixsterne immer ihre gegenseitige Entfernung und Stellung zueinander bewahren, die anderen aber ihre Stellung fortwährend ändern, weshalb sie Planeten oder Wandelsterne heißen.“

8 Vergleiche zum Beispiel Stillman Drake: *Galileo at work. His scientific biography*, Dover, Mineola (New York/USA), 2003.

9 Vergleiche zum Beispiel Werner Kutschmann: *Isaac Newton (1643–1727)*, in: Gernot Böhme (Hrsg.): *Klassiker der Naturphilosophie. Von den Vorsokratikern bis zur Kopenhagener Schule*, C. H. Beck, München, 1989, S. 171–186 sowie Richard S. Westfall: *Never at rest. A biography of Isaac Newton*, Cambridge University Press, Cambridge, 1980.

10 René Descartes: *Die Prinzipien der Philosophie*, übers. und mit Anm. von Artur Buchenau, Meiner, Hamburg, 1992, 8., durchges. Aufl., S. 67 f.

Im Briefwechsel mit Bentley äußerte Newton den Gedanken einer Entstehung und Entwicklung der Sonne, der Planeten und der übrigen Sterne, um ihn aber sogleich wieder zu verwerfen:¹¹

„But if the matter was evenly dispersed throughout an infinite space, it would never convene into one mass, but some of it would convene into one mass and some into another, so as to make an infinite number of great masses, scattered at great distances from one another throughout all that infinite space. And thus might the sun and the fixed stars be formed, supposing the matter were of a lucid nature. But how the matter should divide itself into two sorts, and that part of it, which is fit to compose a shining body, should fall down into one mass and make a sun, and the rest, which is fit to compose an opaque body, should coalesce, not into one great body, like the shining matter, but into many little ones or if the sun at first were an opaque body like the planets, or the planets lucid bodies like the sun, how it alone should be changed into a shining body, while all they continue opaque, or all they be changed into opaque ones, while it remains unchanged, I do not think explicable by mere natural causes, but am forced to ascribe it to counsel and contrivance of a voluntary agent.“

Im Jahre 1755 veröffentlichte der junge Immanuel Kant (1724–1804) anonym eine Schrift mit dem Titel „Allgemeine Naturgeschichte und Theorie des Himmels oder Versuch von der Verfassung und dem mechanischen Ursprunge des ganzen Weltgebäudes nach Newtonischen Grundsätzen abgehandelt“. Jürgen Hamel (geb. 1951) bemerkt in seinem Nachwort zur Ausgabe der Kantschen Schrift in „Ostwalds Klassikern der exakten Wissenschaften“ völlig zu Recht:¹²

„Es war die erste Schrift, die eine geschlossene Theorie der Kosmologie und Kosmogonie auf der Grundlage der [...] Newtonschen Physik bot.“

Kant ging davon aus, dass „die Fixsterne nicht als ein ohne sichtbare Ordnung zerstreutes Gewimmel, sondern als ein System anzusehen [sind], welches mit einem planetischen die größte Ähnlichkeit hat“.¹³ Deshalb konnte er exemplarisch die Entstehung des Planetensystems einschließlich der Sonne auf Grundlage der Newtonschen Physik abzuleiten versuchen und die Erkenntnisse dann per Analogieschluss auf andere Sonnensysteme und größere

11 Isaac Newton: *Philosophical writings*, hrsg. von Andrew Janiak, Cambridge University Press, Cambridge, 2004, S. 94 f.

12 Jürgen Hamel: „Nachwort“, in: Immanuel Kant: *Allgemeine Naturgeschichte und Theorie des Himmels*, mit einem Nachwort von Jürgen Hamel, Ostwalds Klassiker der exakten Wissenschaften, Band 12, Harri Deutsch, Frankfurt am Main, 2005, 4. Auflage, S. 148.

13 Kant: „Allgemeine Naturgeschichte“, A XXXVII.

Systeme wie Galaxien, deren Existenz Kant behauptete, übertragen. Kant setzte die Existenz von zwei Arten von Kräften, nämlich anziehende und abstoßende Kräfte, voraus. Als anziehende Kraft war die Gravitationskraft bekannt, die „Zurückstoßungskraft [...] [offenbaret] sich in der Elastizität der Dünste, dem Ausflusse starkriechender Körper und der Ausbreitung aller geistigen Materien“.¹⁴ Als Anfangszustand nahm Kant ein Chaos an, das aber bereits eine gewisse Struktur in Form von Teilchen verschiedener Masse aufwies, wobei die relative Häufigkeit der Teilchen mit der Masse abnehmen sollte. Kant schreibt:¹⁵

„[D]ie Materie [...] hat in ihrem einfachsten Zustande eine Bestrebung, sich durch eine *natürliche Entwicklung* zu einer vollkommeneren Verfassung zu bilden.“

Aufgrund der unterschiedlichen Massen, welche die Teilchen aufweisen, differieren auch ihre jeweiligen Gravitationspotenziale. Dadurch dauert „[b]ei einem auf solche Weise erfüllten Raume [...] die allgemeine Ruhe nur einen Augenblick“¹⁶ und „das Chaos [fängt] in den Punkten der stärker anziehenden Partikeln sich zu bilden an [...]“.¹⁷ Kant beschreibt, wie sich ein vorhandener Dichtekontrast gravitativ verstärken kann. Damit ist grundsätzlich verstanden, wie sich aus einer gleichförmigen Materieverteilung, oder besser gesagt einer zufälligen Verteilung von Teilchen unterschiedlicher Masse im Raum, überhaupt Strukturen bilden können. Allerdings würde man aus einer Fortsetzung der Kontraktion die Entstehung von einem einzigen Materieklumpen und nicht von verschiedenen Körpern wie der Sonne und den Planeten erwarten. Für das Planetensystem ist zudem zu klären, warum die Planeten näherungsweise auf Kreisbahnen um die Sonne laufen, warum die Planetenbewegungen um die Sonne denselben Umlaufsinn zeigen und warum alle Planeten in nahezu einer Ebene umlaufen. Die Entwicklung von „Kreisbewegungen“ – Kant subsumiert unter Kreis Figuren wie Ellipse und Zirkel – erläutert Kant beispielsweise folgendermaßen:¹⁸

„Durch die [...] Zurückstoßungskraft [...] werden die zu ihren Anziehungspunkten sinkende Elemente durcheinander von der geradlinichten Bewegung seitwärts gelenket, und der senkrechte Fall schlägt in Kreisbewegungen aus, die den Mittelpunkt der Senkung umfassen.“

14 Kant: „Allgemeine Naturgeschichte“, A 29.

15 Kant: „Allgemeine Naturgeschichte“, A 27 f., meine Hervorhebung.

16 Kant: „Allgemeine Naturgeschichte“, A 29.

17 Kant: „Allgemeine Naturgeschichte“, A 28.

18 Kant: „Allgemeine Naturgeschichte“, A 29 f.

Kant weist ferner explizit auf die mögliche Entwicklung der Himmelskörper selbst hin, wenn er von der „Sonne“ spricht, „ob sie gleich diejenige flammende Glut alsdenn noch nicht hat, die nach vollendeter Bildung auf ihrer Oberfläche hervor bricht“.¹⁹ Trotz aller Kritik, die man berechtigterweise *ex post* an den Kantschen Ausführungen zu üben vermag, besteht Kants Verdienst darin, die Unifizierung von himmlischer und irdischer Physik ernst genommen und einen großen Schritt vorangebracht zu haben. In der zeitgenössischen Geologie war es unbestritten, dass sich die Erde entwickelt, und auch die Erdbildungslehren hatten sich vom theologischen Einfluss durch die Schöpfungslehre befreien können.²⁰ Dies wäre auch für Aristoteles nicht verwunderlich gewesen, da sie zur sublunaren Sphäre der Veränderung gehört. Die Übertragung des Entstehungs- und Entwicklungsgedankens auf das Sonnensystem und größere kosmische Systeme durch Kant ist daher für die Bedeutung einer einheitlichen Physik nicht zu unterschätzen.

Das Modell eines sich entwickelnden Universums wird aber zunächst nicht von der Naturwissenschaft aufgenommen. Dies lag auch daran, dass im 19. Jahrhundert die Stellarstatistik die wichtigste Aufgabe der Astronomie war und die Kosmologie meines Wissens eine sehr untergeordnete Rolle spielte. Ein konsistentes kosmologisches Modell stellte erst wieder Albert Einstein (1879–1955) im Jahre 1917 mit seinen „Kosmologischen Betrachtungen zur Allgemeinen Relativitätstheorie“²¹ vor.²² Einstein ging wie Newton von einer gleichförmig verteilten Materie aus und betrachtete die Sterne als fundamentale Teilchen. Er nahm die Statik der Sternenverteilung an und begründete sie damit, dass die Pekuliargeschwindigkeiten der Sterne klein sind verglichen mit der Lichtgeschwindigkeit. Statt der Newtonschen Physik setzte er natürlich die Allgemeine Relativitätstheorie voraus. Zunächst kämpfte er mit dem Problem, zur Lösung der Feldgleichungen Randbedingungen im Unendlichen vorzugeben. Dann löste er das Problem, indem er es

19 Kant: „Allgemeine Naturgeschichte“, A 32.

20 Vergleiche Jürgen Hamel: „Nachwort“, in: Immanuel Kant: Allgemeine Naturgeschichte und Theorie des Himmels, mit einem Nachwort von Jürgen Hamel, Ostwalds Klassiker der exakten Wissenschaften, Band 12, Harri Deutsch, Frankfurt am Main, 2005, 4. Aufl., S. 149 ff.

21 Albert Einstein: Kosmologische Betrachtungen zur allgemeinen Relativitätstheorie, Sitzungsberichte der Königlich Preußischen Akademie der Wissenschaften zu Berlin, 1917, S. 142–152.

22 Vergleiche Tobias Jung: Einsteins Beitrag zur Kosmologie – ein Überblick, in: Wolfgang Dick, Hilmar Duerbeck (Hrsg.), Einsteins Kosmos – Untersuchungen zur Geschichte der Kosmologie, Relativitätstheorie und zu Einsteins Wirken und Nachwirken, Acta Historica Astronomiae Vol. 27, Harri Deutsch, Frankfurt am Main, 2005, S. 67–107.

einfach auflöste: in einem endlichen, aber unbegrenzten, das heißt in sich gekrümmten Raum wäre eine Setzung von Randbedingungen gar nicht nötig. Aber seine Gleichungen erlaubten keine Lösung für einen positiv gekrümmten, statischen Sternkosmos. Aus diesem Grunde sah sich Einstein gezwungen, seine ursprünglichen Feldgleichungen zu modifizieren und einen Term mit kosmologischer Konstante hinzuzufügen. Anschaulich gesprochen entspricht dieser kosmologischen Konstante eine repulsive Kraft, die der attraktiven Gravitationskraft die Waage hält. Die Einführung der kosmologischen Konstanten soll Einstein später als „größte Eselei seines Lebens“²³ bezeichnet haben. Der statische Einstein-Kosmos ist übrigens genauso wenig stabil wie Newtons Sternuniversum. Eine kleine Dichtefluktuations würde sich jeweils verstärken und bei Einsteins Modell eine Expansion oder Kontraktion des Kosmos und bei Newtons Modell einen Gravitationskollaps nach sich ziehen. Dies erkannte jedoch Einstein nicht; erst 1930 konnte der Physiker Arthur Stanley Eddington (1882–1944) den Nachweis der Instabilität des Einstein-Universums erbringen.²⁴

Der Entstehungs- und Entwicklungsgedanke wurde schließlich 1931 vom belgischen Physiker und Priester Georges Lemaître (1894–1966) wieder in die Kosmologie eingeführt. Lemaître formulierte in einem kurzen Aufsatz,²⁵ der in der Zeitschrift „Nature“ erschien, seine Idee eines Uratoms, aus dem in einem radioaktiven Zerfall die chemischen Elemente hervorgebracht werden. Sein Gedanke stellt gewissermaßen den vorläufigen Abschluss des Übergangs vom statischen Sternkosmos zu einem expandierenden Galaxienuniversum dar. Zu diesem Übergang hatten neben Lemaîtres eigenen Arbeiten vor allem die Arbeiten des russischen Mathematikers, Meteorologen und Physikers Alexander Friedmann (1888–1925) sowie die astronomischen Beobachtungen von Edwin Powell Hubble (1889–1953) beigetragen. Friedmann hatte verschiedene kosmologische Modelle auf Grundlage der Allgemeinen Relativitätstheorie entwickelt, in denen der Weltradius expandiert, kontrahiert oder oszilliert.²⁶ Hubble hatte Ende 1923 gezeigt, dass die neb-

23 Gängige deutsche Übers. von George Gamow: *My world line: An informal autobiography*, Viking Press, New York, 1970, S. 44.

24 Vergleiche Arthur Stanley Eddington: *On the instability of Einstein's spherical world*, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* **90**, 1930, S. 668–678.

25 Georges Lemaître: *The beginning of the world from the point of view of quantum theory*, *Nature*, 1931, S. 706.

26 Vergleiche hierzu Tobias Jung: *Friedmann und Lemaître: „Väter des Urknalls“? Ein Vergleich ihrer kosmologischen Arbeiten aus den 1920er Jahren*, *Philosophia Naturalis* **41**, 2004, S. 53–89.

ligen Fleckchen zum Teil extragalaktischer Natur sind, dass es sich also um eigenständige Sternsysteme außerhalb unserer Galaxis handelt. 1929 formulierte er die Rotverschiebungs-Entfernungs-Relation für Galaxien, die von anderen Wissenschaftlern als Fluchtbewegung der Galaxien voneinander weg und damit als Manifestation der Expansion des Universums interpretiert wurde.

Die Einführung des Entstehungs- und Entwicklungsgedanken im Rahmen einer geschlossenen kosmologischen Theorie verdanken wir Kant, der sich damit von Newton absetzte. Kants Ideen mussten, nachdem Einstein in Anlehnung an Newton sein statisches Weltmodell entwickelt hatte, im Rahmen der allgemeinrelativistischen Kosmologie wieder neu entdeckt werden. Heute stellt die Entstehung und Entwicklung des Universums einen wesentlichen Grundzug des Standardmodells der Kosmologie dar. Damit erweist sich Geschichtlichkeit als weit über die spezifisch menschliche Geschichte hinausgehendes Phänomen.