

Erschienen in:
Vom Ursprung des Universums zur Evolution des Geistes (P. Walde, P.L. Luisi, Hsg),
vdf: Zürich, 137 - 144 (2002)

Die Entstehung von Neuem: Aus der Perspektive der Astrophysik

Arnold Benz

Als Jugendlicher hat mich die Frage, was denn die Welt im Innersten zusammenhält, stark beschäftigt. Töne sowohl aus der Naturwissenschaft wie aus der Theologie haben da in mir gleichzeitig und wie selbstverständlich angeklungen. Als Physiker habe ich in den vergangenen Jahren Gelegenheit gehabt, mit Theologen interessante Diskussionen zu führen. Ich habe viel über das andere Fachgebiet gelernt, aber noch mehr über das eigene: seine methodischen Annahmen und damit seine Grenzen, sowie auch über den grösseren Rahmen in dem es stattfindet. Der Gegensatz von Physik und Theologie sorgt bekanntlich seit 400 Jahren für heisse Köpfe. Es dünkt mich, dass er zu mehr als dem führen könnte, nämlich zu einer der heissesten Kernfragen unserer Kultur. Ein Dialog ist noch kaum richtig angelaufen¹.

Ich möchte hier das Entstehen von Neuem aus der astrophysikalischen Perspektive skizzieren. Damit ist eine bestimmte Methode vorgegeben: Astrophysikalische Modelle gründen alle auf einer meist grossen Zahl von verschiedenen Beobachtungen, die dann mit einer Interpretation verknüpft werden.

These 1

Alle Dinge im Universum sind erst im Laufe der Zeit entstanden. Noch heute entsteht Neues.

Das Universum begann, wie verschiedene Beobachtungen nahelegen, in einem Urknall vor etwa 14 Milliarden Jahren². Weniger bekannt ist vielleicht, dass kein einziges Objekt des heutigen Universums im Urknall entstanden ist. Selbst die Materie bildete sich nicht etwa zur Zeit Null. Die Bestandteile von Atomkernen, Protonen und Neutronen, entstanden erst eine Mikrosekunde nachher. Helium tauchte erst einige Minuten später auf. Galaxien und Sterne begannen sich erst nach einer halben Million Jahren zu bilden, als das Universum durchsichtig wurde. Die ersten Planeten formten sich aus dem Staub von früheren Sternenerationen. Auch die Sonne ist nicht mit den ersten Sternen entstanden, sondern erst neun Milliarden Jahre nach dem Urknall. Das menschliche Bewusstsein keimte noch viel später auf, erst vor wenigen hunderttausend Jahren. Im frühen Universum geschahen unvorstellbare Umwälzungen bezüglich Zustand und Struktur. Sogar die Voraussetzungen, dank derer sich die kosmischen Objekte von Atomen, Sternen bis zu Lebewesen bilden konnten, traten erst im Laufe der Zeit ein.

Der Kosmos begann demnach nicht wie im Theater, wenn das Bühnenbild und die Schauspieler bereitstehen, der Vorhang sich öffnet und das Spiel beginnt. Die kosmische Entwicklung verlief viel dramatischer, wie wenn anfangs nur glühendes Magma gewesen wäre, das zu Gestein erstarrte, woraus sich ein Gebäude bildete. Darin wäre eine Werkstatt für Bühnenbauten aufgetaucht, dann eine Schauspielschule, eine Bühne. Alles fiel wieder zusammen, würde wieder aufgebaut usw. bis schliesslich dann unser Stück gespielt wird.

Der Urknall ist gewiss ein interessantes Forschungsgebiet vor allem für mathematische Physiker, die an diesem Ereignis neue Theorien der Materie finden und prüfen können. Der Big Bang hat auch einen gewissen mythischen Reiz, der solche Forschungen durchaus beleben kann. Vom rein physikalischen Standpunkt aus gibt es aber keinen grundsätzlichen Unterschied zwischen dem Urknall und einer Sonneneruption. Das ist ein wichtiger Punkt: Es ist die gleiche Art von Physik (letztlich die Quantenfeldtheorie) welche die Vorgänge beschreibt. Wenn wir das Entstehen von Neuem im Universum beschreiben, braucht es keine grundsätzlich andere Physik als jene im Laboratorium. Wenn wir nun verfolgen wollen, wie Neues im Universum entstand und immer noch entsteht, greife ich daher zu einem relativ leicht nachprüfbareren Beispiel: die Entstehung von Sternen.

These 2

Neues bildet sich nach den Regeln der Kausalität und des Zufalls.

Schon der junge Kant machte sich Gedanken über das Entstehen von Neuem. In seiner Allgemeinen Naturgeschichte publizierte³ er 1755 einen „Versuch von der Verfassung und dem mechanischen Ursprunge des ganzen Weltgebäudes nach Newtonischen Grundsätzen“. Weltgebäude meint hier das Sonnensystem, und statt „Versuch“ würde man heute vielleicht „Hypothese“ oder auch nur „Szenario“ sagen. Kant beschreibt, wie Sterne entstehen an Orten, wo das Gas dichter ist als nebenan. Die etwas grössere Schwerkraft der Dichtefluktuatoin zieht das umgebende Gas an. Dadurch wird die Verdichtung stärker und verleiht sich noch weiteres Gas ein. Der Prozess verstärkt sich. Kant nahm an, dass der Nebel bei der Kontraktion zu rotieren beginnt und daher eine Scheibe bildet, die wir heute Akkretionsscheibe nennen. In der Scheibe entstehen die Planeten, jeder an seiner Stelle. Das Kantsche Modell hat für mich die Einfachheit und schlichte Eleganz eines Uhrwerks.

Im Jahre 1796 entwickelte der bekannte französische Mathematiker und Astronom P. S. Laplace ähnliche Ideen und arbeitete die Theorie weiter aus. Er erklärte die Scheibenrotation mit der Erhaltung des Drehimpulses bei der Kontraktion. Als er seine Arbeit Napoleon vorstellte und dieser fragte, wo denn Gott hier vorkomme, antwortete Laplace: „Sire, je n'ai pas besoin de cette hypothèse.“ Ähnliches hat natürlich auch Kant in seinem Begriff des „mechanischen Ursprungs“ ausgedrückt. Damit wird eine Vorstellung angesprochen, in der Sterne aus existierender Materie nach bekannten Naturgesetzen entstehen im Gegensatz z.B. zur augustinischen Vorstellung der Schöpfung aus dem Nichts⁴. Für Laplace war Gott abwesend in der naturwissenschaftlichen Wirklichkeit, selbst beim Entstehen von Neuem. Hier scheint mir der Kern des neuzeitlichen Agnostizismus zu liegen, denn an diesem Punkt haben sich die Wege von Theologie und Naturwissenschaft getrennt. Ich betrachte es als Aufgabe und Herausforderung, gerade an diesem Punkt den Dialog wieder aufzunehmen.

These 3

Die Naturwissenschaften enträtseln die Natur nicht vollständig.

Die Kant-Laplace-Theorie bekam bald ernsthafte Kritiker. Sie griffen folgenden Widerspruch hervor: In der Akkretionsscheibe eines Sterns bewegt sich jedes Volumenelement auf einer Bahn, die genauso wie eine Planetenbahn durch die Keplergesetze gegeben ist. Und genau wie ein Planet müsste es für immer kreisen. Es schien keinen Grund zu geben, warum das Gasvolumen zu einem

Stern kontrahiert. Mit anderen Worten: Es war unerklärbar, warum der Drehimpuls der Planeten konstant blieb, jener der Sonnenmaterie aber verloren ging. Die Kant-Laplace-Theorie konnte zwar das Entstehen der Planeten erklären, aber nicht, wie die Sonne und andere Sterne aus dem Gas der Akkretionsscheibe entstanden. Besonderes Gewicht bekam eine Studie Maxwells über die Saturnringe. Sie zeigte, dass sich flüssige oder gasförmige Ringe nicht zu einer Zentralmasse zusammenballen. Um 1880 schlug daher Bickerton eine alternative Theorie vor, nach welcher sich die Sonne zuerst bildete und die Planeten nachträglich infolge einer Sternkollision aus der Sonne herausgeworfen wurden.

Heute wissen wir, dass Sternkollisionen äusserst selten sind und wahrscheinlich in unserer immerhin rund 13 Milliarden Jahre alten Milchstrasse noch nie passierten. Die heutige Astrophysik ist wieder zurückgekehrt zu den Vorstellungen von Kant und Laplace, hat diese aber angereichert mit Dutzenden von neuen Elementen.

Sehr grosse Fortschritte gelangen dabei in den vergangenen zehn Jahren. Dank Beobachtungen im Infrarot und in Radiowellen konnte man feststellen, dass allein in unserer Milchstrasse, einer Galaxie von einigen hundert Milliarden Sternen, gegenwärtig etwa hundert Millionen Sterne am Entstehen sind. Die Vorgeschichte eines Sterns samt seiner „Geburt“ dauert rund zehn Millionen Jahre. Etwa zehn neue Sterne entstehen also jährlich in unserer astronomischen Nachbarschaft. Der Kosmos überquillt von Fruchtbarkeit.

Sterne entstehen in interstellaren Molekülwolken, die für ihre wunderschönen, wolkenartigen Dunkelstrukturen bekannt sind. Zum Glück kollabieren sie nicht einfach unter ihrer eigenen Schwerkraft. Dies würde zu einer Gaskugel von Millionen von Sonnenmassen führen. Der Gasdruck könnte sich nicht genügend entwickeln, so dass die Kugel zu einem massiven Schwarzen Loch zusammenbrechen würde. Ganz im Widerspruch zu Kant und Laplace würde kein Stern entstehen.

Das interstellare Magnetfeld, von dem Kant und Laplace noch nichts wissen konnten, verhindert dies. Aber es verhindert nicht eine langsame Fragmentierung, durch die sich die Materie allmählich in dichten Wolkenkernen konzentriert. Diese Entwicklung verstärkt sich über mehrere Millionen Jahre, bis die Wolkenkerne schliesslich unter ihrer eigenen Schwerkraft zusammenbrechen. Dabei fällt das Gas im freien Fall gegen das Zentrum der Kerns, wo der verbleibende Drehimpuls die Materie zu einer rotierenden Scheibe formt.

Das Magnetfeld wird im Kollaps mitgerissen und bildet eine spiralförmige Struktur, welche in der Rotationsachse liegt und die Scheibe mit der Aussenwelt verbindet. Die magnetischen Feldlinien wirken wie Zapfenzieher und schleudern einen Teil der Materie und des Drehimpulses weg. Jeder Stern produziert in einer bestimmten Phase seiner Entstehung zwei Jets, die senkrecht zur Scheibe wegströmen. Magnetfelder wirken vor allem auf das Gas, und nur unbedeutend auf Staub und Planeten. Sie scheinen auch die Erklärung dafür zu sein, wie sich aus Akkretionsscheiben Protosterne entwickeln. Das sind nur Andeutungen, im Detail verstehen wir die Vorgänge noch nicht.

Nach weiteren drei Millionen Jahren werden Temperatur und Dichte im Zentrum so gross, dass die Verschmelzung von Wasserstoff zu Helium einsetzt und Kernenergie in einem gewaltigen Ausmass entfesselt wird. Der zusätzliche Gasdruck, der durch die neue Energiequelle entsteht, stoppt die Kontraktion. Im innersten Teil des Wirbels bildet sich ein Gleichgewicht zwischen Schwerkraft und Gasdruck: der Stern ist geboren.

Der Entwicklungsprozess umfasst erstaunlich viele Vorgänge, die ablaufen müssen, damit sich ein Stern, umringt von einem Planetensystem, bilden kann. Das Beispiel der Kant-Laplace-Theorie zeigt, wie die kausale Erklärung eines Vorgangs zu vielen neuen Fragen führt. Es erinnert an das bekannte Problem bei der Bestimmung der Küstenlänge von England. Misst man sie mit einem Faden auf einer Landkarte, scheint dies kein Problem zu sein. Will man es aber genauer wissen und geht im Freien mit einem Messband an die Arbeit, wird es schwieriger und die Frage lässt sich nicht abschliessend beantworten. Denn es könnte jemand gar mit einem Mikroskop messen und erhielte wieder ein anderes Resultat. Die Fortschritte im Verständnis der Sternentstehung erinnern auch an ein Wort von C. V. Weizsäcker: „Die Physik erklärt die Geheimnisse der Natur nicht weg, sie führt sie auf tieferliegende Geheimnisse zurück.“ Im Wort Geheimnis tönt eine subjektive Komponente an. Ich verstehe diese Eigenschaft auch so, dass „mechanische“ Erklärungen das Staunen über die Entstehung von Neuem nicht verunmöglichen.

Das Universum entwickelt sich mit einer ungeheuren Dynamik, das Entstehen von Sternen und die Bildung von Planeten stellen nur Teilprozesse dar, die auf kosmischen Vorgängen im frühen Universum wie der Materiebildung aus Quarks und der Galaxien-Entstehung aufbauen. Die qualitative Entwicklung ist eine fundamentale Eigenschaft des Kosmos. Dabei spielt die Zeit eine wichtigere Rolle, als früher angenommen wurde. Das Neue entsteht nicht vor der Zeit, in einer mystischen Vergangenheit, sondern in der Zeit und infolge der Zeit.

These 4

Die Vernunft kann in der Kreativität des Universum ein Prinzip des Werdens erkennen.

Die grosse Frage bleibt: Wie ist es möglich, dass eine dermassen komplexe Entwicklung überhaupt abläuft, ja dass überhaupt etwas Neues entsteht? Warum ist unser Universum so beschaffen, dass etwas geworden ist und nicht nichts? In diesen Fragen geht es um die Grundlage der Naturgesetze, und sie enthalten die Frage nach dem Vernunftursprung im Gegensatz zum zeitlichen Ursprung⁵. Dass wir und alle Dinge geworden sind, ist unbestreitbar. Im Universum scheint es eine allgemeine Möglichkeit zum Entstehen von Neuem zu geben. Dieses „Prinzip des Werdens“ ist eine Grundeigenschaft und zeigt sich auch in der Chemie, Biologie, bis hin zur menschlichen Gesellschaft. Nicht nur entsteht Neues, auch alles Gewordene zerfällt. Das Universum ist aber nicht im Gleichgewicht eines ewigen Kreislaufes, denn das Neue ist anders als das Gewesene. Die Entwicklung in den vergangenen 14 Milliarden Jahren ist nicht zu übersehen. Heutige Sterne sind anders als frühere. Es gab aber auch eine qualitative Entwicklung: Einer der vielen Sterne war der erste.

Über das Wesen dieses Prinzips des Werdens könnten nun ähnliche Überlegungen angestellt werden, wie es griechische Philosophen im 5. Jahrhundert v. Chr. über den „Seinsgrund“ taten. Die Griechen meinten damit eine metaphysische Grösse, die nicht mit dem biblischen Gottesbegriff identisch ist. Das Weltbild hat sich im vergangenen Jahrhundert gewandelt vom statischen Sein zu einem dynamischen Werden. Daher müssten wir entsprechend nach einem „Grund des Werdens“ fragen. Ich möchte hier betonen, dass dieser Begriff einer philosophischen Überlegung entstammt und nicht vorschnell mit „Gott“ gleichgesetzt werden darf.

Der biblische Gottesbegriff hat seinen Ursprung weder in philosophischen noch in naturwissenschaftlichen Überlegungen. Er beruft sich auf Erfahrungen und Wahrnehmungen, die sich wesentlich von jenen in der Naturwissenschaft unterscheiden: die Vision eines brennenden

Dornbuschs, die Bewahrung auf der Flucht aus Ägypten, Erscheinungen auf einem Berggipfel und nach dem Tod von Jesus, sowie die alltäglichen Erfahrungen seiner Jünger. Es handelt sich immer um Begegnungen mit einem Gegenüber, mit einem „Du“. Der Mensch muss also an dieser Erfahrung teilnehmen. Im Gegensatz dazu verlangen die methodischen Voraussetzungen der Naturwissenschaft, dass Messungen und Beobachtungen reproduzierbar und objektiv sein müssen. Der Forschende ist austauschbar, und die Resultate sind von ihm unabhängig.

Der Gottesbegriff ist im rein naturwissenschaftlichen Sprachspiel nicht plausibel zu machen⁶, und muss sich letztlich auf teilnehmende Wahrnehmungen beziehen. Zum Beispiel regt die Zweckmässigkeit des Universums zum Staunen an. Glaubt ein Mensch an Gott aufgrund *anderer* Erfahrungen, kann er in der Sternentstehung neben der kausalen Folge von Ursache und Wirkung im Vernunftursprung das Wirken Gottes sehen. Nur dann wird aus dem Prinzip des Werdens das, was mit dem biblischen Gottesbegriff gemeint ist. Ohne teilnehmende Wahrnehmungen bleibt es ein abstraktes Prinzip. Der Weg kann nur indirekt über das menschliche Bewusstsein gehen und nicht von der Naturwissenschaft direkt zu religiösen Antworten führen.

Es folgt daraus, dass die Ausgangspunkte von Naturwissenschaft und Religion grundverschiedene Erfahrungen sind. Die beiden Erfahrungsarten spannen in der Folge auch zwei verschiedene Ebenen von Sprache und Methode auf. In der gegenwärtigen Diskussion zwischen Naturwissenschaft und Theologie führt es immer wieder zu Missverständnissen und falschen Erwartungen, wenn diese beiden Ebenen der Wahrnehmung nicht auseinander gehalten werden.

These 5

Die Spaltung des Weltbildes in Religion und Naturwissenschaft kann nicht der letzte Schluss sein. Die Theologie wird eine naturwissenschaftliche Bildersprache entwickeln müssen, um verständlich zu bleiben.

Religion und Naturwissenschaft lassen sich nicht vollständig trennen. Die Naturwissenschaft wird von Menschen betrieben, die ihre Motivation und Relationen aus einem grösseren Rahmen beziehen. Die Faszination des Ursprungs in der Astrophysik ist dazu ein gutes Beispiel.

In der Religion spielen persönliche Bezüge zur Welt und zum praktischen Leben eine wichtige Rolle. Nicht zuletzt: Über Gott lässt sich nicht anders als in Bildern sprechen. Jesus hat fast nur in Gleichnissen gesprochen. Seine Bilder stammen aus der Alltagswelt und prägen noch heute das Gottesbild unserer Kultur. Ein guter Teil der Konflikte zwischen Theologie und Naturwissenschaft folgt daraus, dass sich unsere Bilder der Welt verändert haben, indem sie mehr und mehr der Naturwissenschaft entstammen. Die Theologie muss sie aufnehmen, damit sie ihre Sprache nicht verliert. Erste Ansätze dazu gibt es bereits.

Konkret geht es z.B. darum zu zeigen, was es bedeutet, beim Entstehen von Sternen von Schöpfung zu reden. Das war früher selbstverständlich möglich. Es geht aber nicht nur darum wieder zu verstehen, was früher damit gemeint war, sondern es einer heutigen, interessierten Öffentlichkeit verständlich zu machen. Die Bilder und Sprache der Theologie werden nie einen endgültigen Status erreichen. Nicht zuletzt liegt dies an der Tatsache, dass wir Astrophysiker kaum je die physikalische Seite der Sternentstehung vollständig verstehen werden!

-
- ¹ Erschienen vom Autor zu diesem Thema: *Würfelt Gott? Ein ausserirdisches Gespräch zwischen Physik Theologie*, Patmos Verlag, 2000 (mit S. Vollenweider) und *Die Zukunft des Universums: Zufall, Chaos, Gott?*, dtv Verlag, 2001.
- ² Siehe Beitrag von J.O. Stenflo in diesem Band.
- ³ I. Kant, *Allgemeine Naturgeschichte und Theorie des Himmels* (Zweiter Teil, erstes Hauptstück), 1755
- ⁴ Siehe Beitrag von T. Fuhrer in diesem Band.
- ⁵ Siehe Beitrag von H. Holzhey in diesem Band.
- ⁶ J. Fischer, *Freiburger Zeitschrift für Philosophie und Theologie* 41, S. 491, 1994