

Erschienen in:
Wissenschaftler und Verantwortung,
*Mitteilungen der Gesellschaft für Verantwortung
in der Wissenschaft*, 13/3, 5 – 12 (2004)

Zukunft von Erde und Universum

Arnold Benz

Hamburg, 17. April 2004

Was hat das Universum mit uns zu tun? Diese Frage ist sicher berechtigt auf der Tagung einer Gesellschaft, die sich mit der Verantwortung des Menschen in der Wissenschaft und in der Umwelt befaßt. Sind die Weiten des Kosmos jenseits unseres Sonnensystems und die Zeiträume der kosmischen Vorgänge nicht viel zu groß, als dass der Mensch je nur den geringsten Einfluß haben könnte? Es geht in diesem Vortrag nicht um Umweltschutz in kosmischen Dimensionen. Ich möchte Ihnen vielmehr zeigen, wie sich das Bild des Universums in den vergangenen Jahren verändert hat. Dieses neue Weltbild nimmt zunehmend Einfluß auf unser Denken auch im alltäglichen Umkreis. Die Welt im Großen gehört zum Rahmen, in dem unser Selbstverständnis und unsere Ethik ihren Platz finden müssen. Eine Ethik ohne solche Perspektive wäre blind.

1. Das Universum hat eine Geschichte

Lassen Sie mich zuerst einen Blick zurück tun: Ein bedeutender Umschwung begann Ende der 1960er Jahre, als sich die Einsicht durchzusetzen begann, dass sich das Universum nicht in einem Gleichgewicht befindet, sondern einen Anfang hatte. Heute ist der Urknall das allgemein akzeptierte Szenario. Der Umschwung war das Resultat vieler Beobachtungen und Indizien, die sich damit mühelos erklären lassen. Sie reichen von der kosmologischen Hintergrundstrahlung, über die Heliumhäufigkeit bis zur beobachtbaren Entwicklungsgeschichte der Galaxien. Der Kosmos begann aber 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. Die einzelnen Bestandteile, wie Galaxien, Sterne und Planeten, ja selbst die Materie, waren am Anfang nicht vorhanden. Selbst die Vorbedingungen für ihr Entstehen bildeten sich erst im Laufe der Zeit heraus.

Die große Erkenntnis der Astrophysik in der zweiten Hälfte des vergangenen Jahrhunderts war, dass das Universum eine Geschichte hat. Der Kosmos ist nicht im ewig gleichen Zustand. Ohne diese Entwicklungen im Universum hätte der Mensch gar nicht entstehen können. Wir sind ein Teil der kosmischen Geschichte. Und diese Geschichte geht weiter.

Die Geburtsstunde der Astronomie war vor mehr als viertausend Jahren, als es Menschen gelang, aus dem Stand der Gestirne die Jahreszeiten zu bestimmen und somit zum Beispiel vor den jährlichen Überschwemmungen des Nils zu warnen. Heute kann vieles mehr vorausberechnet werden, wie zukünftige Planetenbahnen, die Lebensdauer der Sonne oder

die Entwicklung von Galaxien. Wie stehen die Prognosen für Erde, Milchstraße und schließlich für das ganze Universum?¹

2. Die zukünftige Entwicklung der Erde

2.1 Meteoriten, Kometen und Supernovae

Die Erde ist ein Teil des Universums und somit in seine Entwicklung eingebettet. Unsere nähere Umgebung wird dominiert durch die Sonne und die Planeten. Aber auch Asteroiden, Kometen und kleinste Körper bis zur Größe von Staubkörnern bewegen sich auf elliptischen Bahnen quer zu den planetaren Kreisen. Die Bahnen kreuzen sich, und es kommt gelegentlich zu Kollisionen oder Meteoriteneinschlägen, wie wir sie auch nennen. Die Zahl der Einschläge wird aus Kraterzählungen auf Mond, Erde und Mars bestimmt. Sie ist im inneren Sonnensystem seit mehreren Milliarden Jahren konstant geblieben. Die Wahrscheinlichkeit eines Einschlags kann daher annäherungsweise berechnet werden.

Die Wahrscheinlichkeit ist geringer, je größer das Objekt. So ist zum Beispiel mit dem Einschlag eines Meteoriten mit einem Durchmesser von einem Kilometer, etwa von der Größe jenes der das Nördlinger Ries verursachte, durchschnittlich alle drei Millionen Jahre zu rechnen. Die Energie entspricht der Detonation von 100 Gigatonnen TNT, und der aufgewirbelte Staub kühlt das Erdklima für Jahre ab. Man kennt heute etwa 200 Asteroiden dieser Größe, welche die Erdbahn kreuzen und zum Teil die Erde oder den Mond treffen werden. Es gibt aber wahrscheinlich noch fünfmal mehr solche Objekte, also etwa 1000. Die Chancen, dass ein Objekt dieser Größe in den nächsten tausend Jahren einschlagen wird, steht 1 : 3000.

Gut bekannt ist zum Beispiel der Asteroid Eros mit 20 km Durchmesser und einer 5%igen Wahrscheinlichkeit, daß er in den nächsten 100 Millionen Jahren auf die Erde einschlagen wird². Die Katastrophe wäre größer als jene vor 65 Millionen Jahren, in deren Folge die Saurier ausstarben.

Die einzelnen Himmelsobjekte haben die bemerkenswerte Eigenschaft, daß ihre Bahnen nicht beliebig weit in die Zukunft extrapoliert werden können. Die Sonne wie auch mehrere Planeten bestimmen die Bahn eines Planetoiden. Sie beeinflussen sich aber auch gegenseitig und bilden zusammen ein nicht-lineares System. Ein Fehler, wie man ihn bei der Bahnberechnung wegen ungenauer Anfangswerte immer macht, wächst dann exponentiell: anfangs langsam, dann immer schneller. Dies bedeutet, daß nach einer gewissen Zeit, der sogenannten Lyapunov-Zeit, die Ungenauigkeit dermaßen stark anwächst, daß auch ein verbesserter Anfangswert keine wesentliche Verlängerung der Voraussagezeit bringen würde. Dieses Verhalten ist typisch für chaotische Systeme. Bei manchen Asteroiden ist die Voraussagezeit nur einige hundert Jahre. Chaos im Sonnensystem bedeutet unter anderem, daß wir nicht berechnen können, an welchem Datum der nächste Himmelskörper auf der Erde einschlagen wird. Langfristig müssen wir uns mit Wahrscheinlichkeitsangaben begnügen.

¹ Die kosmischen Entwicklungen werden vom Autor ausführlicher beschrieben in *Die Zukunft des Universums – Zufall, Chaos, Gott?*, Patmos Verlag, Düsseldorf, 4. Auflage, 2001. Teile dieses Artikels wurden in einem anderen Zusammenhang publiziert in *Die Welt als Schöpfung und als Natur*, Neukirchner Verlag, 2002.

² Michel P., Farinella P. und Froeschlé C., *Astron. Journal* 116, 2023 (1998)

Die Bahnen der Nachbarsterne sind ebenfalls chaotisch. Daher läßt sich nicht langfristig voraus berechnen, welche Sterne dem Sonnensystem nahe kommen oder welche gar in ihrem Endstadium in unserer Nähe als Supernova ausbrechen und mit ihrer Einstrahlung unsere Umwelt verändern werden. Die Wahrscheinlichkeit ist einmal in hunderttausend Jahren.

2.2 Bewohnbarkeit der Erde

Trotz dieser Katastrophen wird das Leben auf der Erde weiter blühen; aber nicht für immer. Die Sonne hat bereits einige Procente ihres Wasserstoffs zu Helium verschmolzen, der Druck im Kern ist angestiegen und die Verschmelzungsrate steigt. Seit der Entstehung hat die Leuchtkraft der Sonne bereits um 40% zugenommen. Unser Zentralgestirn wird in 5,5 Milliarden Jahren in die Phase der Roten Riesen eintreten. Zwar sinkt die Oberflächentemperatur dann auf 3000°C, aber der Sonnendurchmesser steigt ums Hundertfache, sodaß die Abstrahlung weiter zunimmt. Aus diesem Grund wird die Temperatur auf der Erde weit über tausend Grad Celsius ansteigen, zu heiß für jegliches Leben. Unser Planet wird in spätestens zwei Milliarden Jahren für uns nicht mehr bewohnbar sein.

2.3 Das Ende der Sonne

Nach der Rote Riesenphase zieht sich die Sonne zu einem Weißen Zwerg zusammen und kühlt über Trillionen von Jahren langsam aus. Da sie aber nur noch die Größe der Erdkugel haben wird, kann sie nicht genug abstrahlen, um die Erde nennenswert zu wärmen. Nach der Glutofenhitze wird sich auf der Erde die Temperatur des Weltraums von minus 270 Grad Celsius einstellen.

3. Die zukünftige Entwicklung des Universums

3.1 Entwicklung der Milchstraße

Vielleicht wird das Leben dann in andere Planetensysteme auswandern. Aber auch dies ist nicht für unendlich lange möglich. Es entstehen heute zwar immer noch neue Sterne in unserer Galaxis, der Milchstraße. Es gibt Wasserstoff für noch etwa 100 Milliarden weitere Sterne. Die letzten Sterne werden wahrscheinlich am Rande der Milchstraße entstehen, vielleicht ausgelöst durch eine Kollision mit einer anderen Galaxie. Irgendwann, in etwa 10 Billionen Jahren, wird aber die Epoche des Sternenlichts zu Ende gehen. Die letzten Weißen Zwerge kühlen aus und kein Stern wird mehr leuchten.

Durch Sternbegegnungen geht der Milchstraße Energie verloren, zum Teil in Form von Gravitationswellen, zum Teil durch Sterne, die aus der Galaxis geschleudert werden. Die Bahnen der verbleibenden Sterne werden kleiner, der Durchmesser der Milchstraße schrumpft, und die Überreste von Sternen verschwinden in spätestens 10 Trillionen Jahren im zentralen Schwarzen Loch der Milchstraße. Schwarze Löcher sind Gebiete mit hoher Materiedichte, in denen die Schwerkraft so groß ist, daß selbst das ausgestrahlte Licht wieder zurückfällt. Im Zentrum der Milchstraße, fünfundzwanzigtausend Lichtjahre von hier, befindet sich ein Schwarzes Loch mit 2,7 Millionen Sonnenmassen³.

3.2 Entwicklung des Universums

³ Genzel R., Eckhart A., Ott T., Eisenhauer F., *Monthly Notices Royal Astron. Soc.*, 291, 219 (1997)

Bis vor kurzem war nicht klar, ob es das Universum in 10 Trillionen Jahren noch geben wird. Das Universum ist erst 13 Milliarden Jahre alt und könnte nach der jetzigen Expansionsphase wieder kollabieren. Die neusten Beobachtungen mit dem Hubble-Teleskop legen jedoch eine unendliche Expansion des Universums nahe. Das Universum wird demnach immer größer und hat eine unbeschränkte Lebensdauer. Gemäß der wichtigsten physikalischen Theorie zerfallen aber die Protonen und mit ihnen alle Materie in etwa 10^{33} Jahren. Bei ihrem radioaktiven Zerfall entstehen Positronen und Photonen.

Auch die Schwarzen Löcher leben nicht unendlich lange. Sie strahlen eine geringe Wärmestrahlung ab, derzufolge sie in 10^{100} Jahren schließlich verdampfen. Zuletzt würde das Universum nur noch aus Photonen, Elektronen und Positronen bestehen⁴. Aussagen über diese ferne Zukunft des Universums sind allerdings wegen der unsicheren physikalischen Theorien noch sehr spekulativ.

4. Möglichkeiten und Zuverlässigkeit wissenschaftlicher Prognosen

Die Zuverlässigkeit wissenschaftlicher Voraussagen müßte von Fall zu Fall diskutiert werden. Wie sich Vorräte abbauen, hängt nur vom Anfangswert und der Verbrauchsrate ab. Im Fall der Lebenszeit der Sonne, ist die Energiefreisetzung nicht konstant. Dies kann an älteren Sternen beobachtet werden, die in ihrer Entwicklung schon weiter fortgeschritten sind, und wird in der Berechnung entsprechend berücksichtigt. Die Modelle können damit getestet werden und die Vorhersage ist recht zuverlässig.

Bei Systemen mit mehreren wechselwirkenden Elementen, wie zum Beispiel im Planetensystem, ist dies anders. Ihre Entwicklung ist chaotisch, und Voraussagen über dynamische Vorgänge können weder genau noch zuverlässig gemacht werden. Beispiel: Die Erdbahn kann kurzfristig sehr genau vorausberechnet werden, wie die Sonnenfinsternis letztes Jahr eindrücklich gezeigt hat. Aber dies gilt nur für die nächsten 100 Millionen Jahre. Wir kennen die Position der Erde im Sonnensystem auf 15 Zentimeter genau. Wollten wir berechnen, wo auf ihrer Bahn die Erde in 200 Millionen Jahren sein wird, müßten wir die heutige Position nicht doppelt genau kennen, sondern etwa auf einen Atomdurchmesser genau. Auch die Erdbahn ist chaotisch wegen der Wechselwirkungen mit anderen Planeten.

4.1. Der feste Rahmen der Erhaltungsgrößen

Wir halten zunächst fest, daß durch Erhaltungsgrößen ein fester Rahmen für die Entwicklung auch sehr komplexer Systeme gegeben ist. Zum Beispiel ist sehr gut belegt, daß die Energie eines abgeschlossenen Systems konstant bleibt. Dieser Rahmen legt einen Bereich von Entwicklungen fest, die überhaupt möglich sind. Gerade in komplexen Systemen ist dieser Bereich aber noch sehr groß.

4.2. Die Zukunft ist offen

Innerhalb des Rahmens der Erhaltungssätze entwickeln sich viele natürliche Systeme im Universum chaotisch, weil ihre Elementemiteinander in Wechselwirkung stehen. Obwohl ihre Entwicklung im Prinzip durch bekannte Gleichungen exakt determiniert ist, lassen sie sich nicht im Detail vorausberechnen. Für uns bleibt die Entwicklung offen.

⁴ Dyson F.J., *Rev. Modern Physics* 51, 447 (1979)

Die Offenheit der Zukunft kann jedoch nicht darüber hinweg täuschen, daß alle uns bekannten Himmelskörper (und nicht nur sie!) Alterungsprozessen unterworfen sind und schließlich zerfallen. Ihr Zerfall hat einen zwingenden Charakter.

5. Bisherige Entwicklung des Universums war sehr kreativ

Die Kehrseite zum allgemeinen Zerfall ist nun aber die Tatsache, daß alle Objekte im Universum auch einmal entstanden sind.

5.1 Neues und neue Entwicklungsdimensionen

Und zwar sind die meisten Dinge im Universum nicht etwa im Urknall entstanden, sondern haben sich erst im Laufe der Zeit herausgebildet. Nicht nur neue Objekte sind entstanden, darüber hinaus haben diese selbst wieder neuartige Entfaltungsmöglichkeiten geschaffen, sodaß die Kreativität stufenweise anwachsen konnte. Bei jedem Stufenschritt entstand eine neue Kategorie von Dingen, die auf den vorangegangenen aufbaute, z.B. entstanden Galaxien, als das Universum eine halbe Million Jahre nach dem Urknall durchsichtig wurde. Wahrscheinlich entstanden erst in diesen Galaxien die ersten Sterne. Die ersten Sterne wiederum produzierten in ihrer Spätphase kosmischen Staub, aus dem in späteren Sternenerationen Planeten wurden. Erst darnach konnte Leben entstehen. Dieses war schließlich eine Voraussetzung für das menschliche Bewußtsein. Das Universum hat sich mehrmals stark verändert seit dem Urknall und die Entwicklung war über alle Stufen hinweg sehr kreativ.

5.2 Das Neue ist nicht prognostizierbar

Neue Sterne entstehen, wenn interstellare Dunkelwolken zu kleineren Wolkenkernen fragmentieren und diese kollabieren. Das Neue entsteht inmitten des Zerfalls der Dunkelwolke oder, wie im Beispiel des kosmischen Staubs von zerfallenden alten Sternen, als Folge eines Zerfalls. Das Neue entwickelte sich nicht aus dem Nichts, vielmehr enthält es das Alte. Eine der wichtigen Bedingungen zu seinem spontanen Entstehen ist ein Zustand von Ungleichgewicht, das erst die Dynamik ermöglicht. Die meisten neuen Strukturen und Objekte im Universum haben etwas Überraschendes und wären kaum voraussagbar gewesen, hätte es schon Menschen gegeben. Im Nachhinein können sie aber kausal erklärt werden, wenn auch vielfach die Details bis heute unbekannt geblieben sind.

6. Ethische Überlegungen

In den klassischen Geisteswissenschaften bedeutet das Wort „Geschichte“ nicht nur, dass sich etwas ereignete und sich daraus eine logische Folge bildete. Die Geschichte interessiert, weil sie uns existentiell betrifft in unserem Selbstverständnis oder weil sie uns wichtig erscheint im Deuten der Gegenwart und in unseren Erwartungen an die Zukunft. Aber wir wissen von der politischen Geschichte, dass sie kein kausaler Vorgang ist, den man mathematisieren könnte. Man kann immerhin versuchen, die Geschichte zu verstehen. Verstehen nennt man das Erkennen durch sich Hineinversetzen in Zusammenhänge und durch das Nacherleben. Im Gegensatz dazu will die Naturwissenschaft die Natur erklären⁵.

⁵ Als erster hat Wilhelm Dilthey (1833 – 1911) auf diesen Unterschied hingewiesen.

Dabei wird ein Sachverhalt durch Gleichungen modelliert und in ein Verhältnis von Ursache und Wirkung gebracht.

Im neuen Weltbild der kosmischen Entwicklung ist das Erscheinen des *Homo sapiens* Teil einer viel größeren und längeren Entwicklung. Ungefragt kommt ein Mensch zur Welt und findet sich in eine Umwelt hinein geworfen, die sich seit Jahrmilliarden herausgebildet hat und nach seinem Tod weiter entwickeln wird. Er nimmt selbst auch teil an den Veränderungen in Politik, Ökonomie, Kunst, Religion und Ideologie und übernimmt Mitverantwortung.

Wenn es nun um die kosmische Geschichte geht, ist der Mensch offensichtlich ein winziger Teil, was die räumlichen und zeitlichen Dimensionen betrifft. Wenn es um Komplexität von Systemen geht, ist diese Unbedeutsamkeit nicht mehr evident. Jedes Lebewesen erscheint uns komplexer als ein Stern. Die Komplexität, von der hier die Rede ist, meint die Vielzahl der signifikanten Wechselwirkungen der Elemente und damit die große Zahl der Gleichungen, die nötig wären, um das System zu beschreiben. Es ist eine wichtige Eigenschaft des Universums, dass solche Komplexität entstehen kann, auch wenn das immer lokal und räumlich sehr beschränkt sein wird. Weil wir die Entstehung des Lebens noch nicht genügend verstehen, ist es heute völlig unmöglich, Aussagen über seine Häufigkeit im Universum zu machen. Für die nachfolgenden ethischen Überlegungen müssen wir davon ausgehen, dass die biologische Evolution auf der Erde vielleicht nicht einmalig ist, aber nicht häufig im Universum soweit fortschreitet, bis ihrer selbst bewusste Lebewesen entstehen.

An der Entwicklung des irdischen Lebens hat heute der Mensch einen wesentlichen Teil. Es ist nicht unbedeutend für die Evolution, dass heute 100 Tierarten pro Tag aussterben. Das heutige Artensterben auf der Erde wird ein bleibender Einschnitt in die Geschichte des Universums sein. Es ist noch nicht abzusehen, wie groß der Einschnitt sein wird im Vergleich zu den früheren Katastrophen, die durch kosmische Ereignisse ausgelöst wurden.

Ethische Überlegungen können nicht direkt aus dem naturwissenschaftlich gegebenen Rahmen hergeleitet werden. Naturwissenschaftliche Überlegungen kommen aber zum Schluss, dass die Entwicklung des Lebens auf der Erde wenn auch mit Einbrüchen, noch über mindestens eine Milliarde Jahre weiter gehen kann. Der größte Risikofaktor ist der Mensch. Eine Ethik im Weltbild der kosmischen Entwicklung müßte sich daran orientieren, dass die Entwicklung, die über die vergangenen 4 Milliarden Jahre voran geschritten ist, nicht plötzlich abbricht. Unser Handeln darf nicht von kurzfristigem Interesse der menschlichen Spezies geleitet sein. Es muss eine neue „Ehrfurcht vor der Entwicklung“⁶ entstehen.

Unter Entwicklung braucht man sich keineswegs nur die biologische Evolution vorzustellen. Die Entwicklung hat sich seit langem auf geistige und kulturelle Werte ausgeweitet. Gerade in der Entwicklung der menschlichen Gesellschaften zeigen sich die größten Veränderungen in den letzten zehntausend Jahren. Die verschiedenen Kulturen wachsen immer mehr zusammen, getrieben von der globalen technischen Zivilisation und ihrem ungestümen Fortschritt. Die menschliche Kultur läßt sich auch immer weniger von der Natur abgrenzen, denn unsere Zivilisation steht in einem engem Verhältnis zur Umwelt und schließt sie mehr und mehr ein. Dank engagierten Fürsprechern hat andererseits der verantwortliche Umgang mit den natürlichen Ressourcen bereits erstaunlich viel Akzeptanz gewonnen. Trotz dem

⁶ In Erweiterung der bekannten ethischen Maxime von Albert Schweitzer auf den ganzen Kosmos, inkl. der unbelebten Materie.

manchmal entmutigenden Wettrennen gegen Auswüchse der technischen Entwicklung hat der Umweltschutz auch etliche Erfolge zu verbuchen. Auch dies sind Entwicklungen.

7. Hoffnung trotz Zerfall?

Die „Ethik der Entwicklung“ steht aber auf schwachen Füßen, wenn letztlich doch alles zerfällt. Was ändert es, ob die Entwicklung nur einige hundert oder noch einige Milliarden Jahre weitergeht? Den Status quo können wir schon gar nicht für immer erhalten. Es bleibt dabei, dass die Erde langfristig unbewohnbar wird und damit das Leben in der heutigen Form ausgelöscht wird. Wird sich dann etwas Neues bilden? Es besteht eine merkwürdige Asymmetrie zwischen dem Zerfall aller Dinge im Universum, den wir zum Teil genau vorausberechnen können, und dem Entstehen von Neuem, das nicht prognostizierbar ist.

Zum ethischen Handeln braucht es Hoffnung, selbst wenn es nicht um Jahrtausende geht. Hoffnung für die Zukunft haben in einem sich entwickelnden Universum, wo alles auch wieder zerfallen wird, kann nur heißen, auf etwas Neues zu setzen, auf etwas, das es vielleicht jetzt noch nicht gibt, oder nur in Anzeichen sichtbar ist. Hoffend deuten wir die Zeichen der Zeit in der Erwartung von etwas Neuem. Gewiß, das kann auch Illusion sein, also eine billige Hoffnung, welche die Fakten verdrängt. Hoffnung muß aber nicht billig sein. Woher nehmen wir Hoffnung?

Die Naturwissenschaft bietet keine Hoffnung an, diesem Begriff begegnet man in der Astrophysik nicht, denn diesbezügliche Erfahrungen sind nicht Teil der Naturwissenschaften. Hoffnung gründet auf Erfahrungen des Vertrauens. Die Hoffnung ist eines der möglichen Grundmuster, mit denen man die Gegenwart deuten kann. Deuten heißt, in der existentiellen Wirklichkeit ein Muster wieder erkennen, das aus einem früheren Ereignis bekannt ist, das sogenannte Musterbeispiel. Das Muster der Hoffnung ist zentral für den christlichen Glauben, wo selbst der Zerfall und der Tod nicht das letzte Wort haben. Das Musterbeispiel ist die Geschichte von Karfreitag und Ostern.

Hoffnung auf Neues ist eines von mehreren Deutungsmustern. Entscheiden wir uns für dieses Muster, so wird die bisherige Entwicklung des Universums zum Bild für die Zukunft. Noch mehr: Im Deuten bewerten wir das naturwissenschaftlich Vorfindliche und interpretieren es aufgrund anderer Erfahrungen, die nicht aus naturwissenschaftlichen Messungen und Beobachtungen stammen. Die naturwissenschaftlichen Fakten erscheinen in einem neuen Licht und unter einer bestimmten Perspektive. In religiöser Sprache: Der Schöpfer der Welt wird auch die Zukunft erschaffen. Selbst wenn alles zerfällt, wird seine Gnade bleiben. Ich kenne keine andere Sprache, welche die tiefsinnige Symbolik besitzt, diese existentiellen Grunderfahrungen besser auszudrücken.