

Zwei Dinge

Peter Kafka

Zwei Dinge erfüllen das Gemüth mit immer neuer und zunehmender Bewunderung und Ehrfurcht, je öfter und anhaltender sich das Nachdenken damit beschäftigt: Der bestirnte Himmel über mir, und das moralische Gesetz in mir.

Selten erwachsen aus philosophischen Erwägungen so einfache geflügelte Worte. Oder ist dieser Satz Immanuel Kants nach 200 Jahren wissenschaftlichen Fortschritts überholt?

Was ist uns heute der bestirnte Himmel, der einst die ersten Einblicke ins Wesen von Naturgesetzen lieferte? Das Staunen ist nicht geringer geworden, denn seltsamerweise berührt sich die Erforschung fernster Himmelserscheinungen heute enger als je mit den tiefsten Fragen nach fundamentalen Gesetzen der Natur und der Weltschöpfung.

Jahrzehnte vor Kant hatte Olav Rømer entdeckt: Das Licht läuft nicht unendlich schnell, sondern etwa 300.000 Kilometer pro Sekunde, das sind 10 Billionen Kilometer im Jahr. Je weiter hinaus wir in den Raum schauen, um so weiter zurück schauen wir also in die Zeit. Damals reichten Fernrohre ein paar Millionen Jahre weit – ohne daß man es wußte. Heute überblicken wir Milliarden von Jahren. Gibt es da ein Ende?

Ja, denn es gab einen Anfang. Das haben Astronomie und Astrophysik nun herausgefunden. Licht, das wir heute wahrnehmen, kann nicht vor dem Anfang der Welt ausgesandt worden sein. Doch wenn wir so weit wie möglich hinaus schauen, sollten wir zum Anfang kommen. Im bestirnten Himmel über uns finden wir *unseren Ursprung*.

Und das andere Ding, das Kant staunen ließ und das nicht nur er in sich fand? Dieser Drang nach oben – nicht zu den Sternen, sondern in ein viel weiteres Reich als es der dreidimensionale Raum der physikalischen Erfahrung bietet? Dieses Spüren und Wissen, daß wir nicht hassen, sondern lieben wollen? Daß wir nicht verloren sind? Daß es auf uns ankommt? Daß hier und jetzt, in uns, die Wirklichkeit ihren weiteren Weg in den unermeßlich reichen Raum der Möglichkeiten ertastet? Sind wir mit diesem *zweiten Ding*, das wir in uns selbst erfahren, in einer anderen Welt? Und finden wir dort ein Ziel?

Lassen Sie uns unterm Sternenhimmel darüber nachsinnen, wie die zwei Dinge zusammenhängen.

1. Der Himmel – auf den Punkt gebracht.

Wie merkwürdig: *Es gibt ein Universum!* Es hat Sinn, von *einem Weltall* zu sprechen. Weil die Zahl der in ihm verwirklichtbaren Möglichkeiten so unermeßlich groß ist, gleicht zwar kein Staubkorn exakt einem anderen, doch scheint alles, was wir am Himmel und auf Erden kennenlernten, den gleichen physikalischen Grundgesetzen zu gehorchen – wenn diese auch keineswegs völlig ergründet sind. Diese Einheitlichkeit ist nicht selbstverständlich. Hätten wir nicht beim Hinaus- und Zurückschauen *andere Welten* entdecken können, mit fremden Gesetzen? Oder doch wenigstens Bereiche, in denen fundamentale Naturkonstanten andere Werte hätten, und daher Elementarteilchen und Atome ganz andere Eigenschaften als hier und heute?

Immerhin verstehen wir neuerdings, daß es *sehr viel anders* nicht hätte sein dürfen. Sonst könnte zum Beispiel kein Stern alt genug werden, um auf einem Planeten die lange Kette von Versuch und Irrtum zu erlauben, die schließlich eine so komplexe Erscheinung wie *Ehrfurcht* Wirklichkeit werden ließ. Möglich war dies ja offensichtlich. Aber war es vielleicht im Schöpfungsprozeß so unwahrscheinlich, daß an die hundert Milliarden Milchstraßen mit je hundert Milliarden Sternen nötig waren, um wenigstens an einer winzigen Stelle von Raum und Zeit das materielle Geschehen – in Gestalt von Großhirnaktivität

– so hoch ins Reich der Ideen gelangen zu lassen? Oder geschieht anderswo ähnlicher Aufstieg? Wir wissen es nicht.

Ohne die beobachtete Einheitlichkeit der Gesetze und großräumigen Strukturen hätte es überhaupt keinen Sinn, von einem "Universum" zu sprechen. Daß dieses Wort dennoch schon lange vor den neuen kosmologischen Entdeckungen in Gebrauch war, dürfte aber nicht nur an einem theologischen Vorurteil abendländischer Universitätsprofessoren gelegen haben. Mußte nicht in allen Schöpfungsmythen das erwachende menschliche Denken angesichts der Kinderfragen nach Vorher und Jenseits sich ein Bild des *Ganzen* vorstellen?

Wie schauen wir heute *das Ganze* an? Wir müssen wohl über die Sterne hinaus. Durchmessen wir rasch Raum und Zeit mit ein paar Riesenschritten von der Erde bis zu unserem kosmischen Horizont.

Jeder kennt die Bilder unseres Heimatplaneten "von außen gesehen" – mit jenem dünnen, blauen Strich als Berandung, in dem die Biosphäre und das menschliche Fühlen und Denken Platz haben – weit komplexere Vorgänge als alles, was Astronomen finden können. Um die Erde herum bräuchte das Licht eine Achtelsekunde, vom Mond etwas über eine Sekunde, vom

Nachbarplaneten Venus bei nächster Stellung 2 Minuten, vom Mars 4 Minuten und von der Sonne 8 Minuten. Vom Jupiter ist es eine halbe Stunde, vom Saturn eine Stunde, vom äußersten Planeten, Pluto, etwa fünf Stunden. Licht vom nächsten Fixstern erreicht uns in $4\frac{1}{2}$ Jahren.

Veranschaulichen wir uns dies noch in einem Modell im Maßstab $1:10^{12}$ (1 Billion): Nun hat unsere Sonne die Größe eines bunten Stecknadelkopfes (in den die Mondbahn dreimal hineinpaßt), die Erde ist ein Staubkorn in 15 Zentimeter Abstand, Jupiter ein Sandkorn auf einer Kreisbahn von einem Meter Durchmesser, die Plutobahn mißt etwa 10 Meter. Wo liegt in diesem Bild der nächste Stern, Alpha Centauri? Fast 50 Kilometer sind es bis zu diesem nächsten Stecknadelkopf! So leer ist der Weltraum innerhalb des Milchstraßensystems.

Das Zentrum unseres Milchstraßensystems, um das unsere Sonne in 250 Millionen Jahren kreist, ist ungefähr 30.000 Lichtjahre entfernt – im Stecknadelkopfbild bereits die echte Mondentfernung! Die spiralförmige Scheibe hat etwa hunderttausend Lichtjahre Durchmesser und ist in der Mitte einige tausend Lichtjahre dick, in unserer Gegend nur noch einige hundert. Wo wir am Himmel in die Scheibenebene blicken, verschwimmen uns die über 100 Milliarden Sterne und viele Wolken von Gas und Staub zu leuchtender “Milch” – griechisch *galaktos*.

In Wolken von der Art des Orionnebels beobachten wir mit modernen astronomischen Methoden die verschiedenen Stadien bei der Geburt neuer Sterne, und auch das weitere “Leben und Sterben” von Sternen verstehen wir heute in wesentlichen Zügen. Aufbau und Funktion der vielen verschiedenen Typen werden immer zuverlässiger in Computern nachgerechnet.

[Siehe Kasten “Der Lebenslauf der Sterne”]

Gehen wir übers eigene Milchstraßensystem hinaus, so finden wir lauter verwandte Gebilde – die Galaxien; Inseln im fast leeren Raum, doch vergleichsweise längst nicht so dünn gesät wie die Sterne in ihrem Inneren (– jene “Stecknadelköpfe alle 50 km”). Die nächste große Galaxie, der gerade noch mit bloßem Auge sichtbare Andromedanebel (M31), ist unserer Milchstraße sehr ähnlich und etwa 2 Millionen Lichtjahre entfernt. Stellen wir uns die eigene und die Andromedagalaxie als zwei 1-DM-Stücke vor (Maßstab $1:4\cdot 10^{22}$), so ist der Abstand zwischen ihnen ein halber Meter. Näher liegen uns nur unsere beiden nächsten Nachbarn, die Magellanschen Wolken. Im Maßstab des Bildes gleichen sie zwei Erbsen, die unsere Münze in ein paar Zentimeter Abstand begleiten.

Um mit den Bildern nicht durcheinanderzukommen, merken wir noch an: Der Abstand zwischen uns und *Alpha Centauri* ist im Bild der markstückgroßen Galaxien nur noch ein tausendstel Millimeter ...

Die Galaxien sind nicht gleichmäßig im Raum verstreut, sondern in kleineren und größeren Gruppen, die ihrerseits noch größere Haufen bilden. Unsere Milchstraße und der Andromedanebel bilden mit M33 und einigen Kleineren unsere “lokale Gruppe”. Sie und einige ähnliche Gruppen (z.B. um M101 oder

M82) gehören noch zum Einflußbereich des riesigen *Virgo-Haufens* mit tausenden von Galaxien. Sein Zentrum (im Sternbild Jungfrau) ist im Bild der Markstücke über zehn Meter weit entfernt, nämlich etwa 50 Millionen Lichtjahre.

Blicken wir noch weiter hinaus, so finden wir immer neue derartige Haufen, und diese sind ihrerseits wieder in *Superhaufen* versammelt. Innerhalb dichter Haufen findet sich oft zwischen den Galaxien, und von diesen “umgerührt”, ein heißes Gas, das Röntgenstrahlung aussendet. Zwischen den Superhaufen liegen auch Bereiche, die offenbar fast leer sind – wie große Löcher in einem Schwamm. Erst wenn wir noch größere Raumbereiche – im Bild der Markstücke etwa Gegenden von Fußballplatzgröße – miteinander vergleichen, gewinnen wir den Eindruck einer im Mittel gleichmäßigen Verteilung. (Freilich ist die mittlere Materiedichte weit geringer als im besten je erzeugten Vakuum: Eine Münze pro Kubikmeter unseres Bildes liefert gerade etwa ein Atom pro Kubikmeter des wirklichen Weltraums ...)

Die Erforschung der Galaxienentstehung kommt eben erst richtig in Gang. Eines der großen Rätsel ist dabei die “dunkle Materie”. Was wir in Form leuchtender Sterne und Gase sehen, ist offenbar höchstens ein Zehntel der Masse, die sich durch Schwerkraft bemerkbar macht. Der größte Teil des “Inhalts” unseres Universums ist uns also unbekannt – und einiges spricht dafür, daß es sich dabei um Arten von Elementarteilchen handeln könnte, die uns noch nie begegnet sind! Hier liegt einer der engen Berührungspunkte zwischen astronomischer Forschung und theoretischer Physik.

Mit dem *space-telescope* können wir heute in Himmelsrichtungen, wo nichts Näheres störend dazwischenkommt, Milliarden Lichtjahre weit Galaxien sehen – fast so weit wie die fernsten Quasare. [Siehe Kasten “Galaxien und Quasare” sowie die Abbildung “Hubble Deep Field”.] Die fernsten in dieser Aufnahme gerade noch erkennbaren Milchstraßensysteme liegen im Maßstab unseres “Münzen-Bildes” (wo unser Nachbar einen halben Meter weit ist) etwa einen Kilometer entfernt! Ob das dort draußen “Markstücke oder eher Pfennige” sind, ist noch nicht zuverlässig entschieden. Wir sind hier an der Front der modernen Astronomie. In diesem *Hubble-Deep-Field* könnte sich bereits andeuten, daß viel weiter draußen keine Galaxien mehr existieren. Bis dorthin aber scheinen sie, abgesehen von den Unregelmäßigkeiten durch Haufenbildung, den Raum recht gleichmäßig zu erfüllen.

Beim Studium ferner Galaxien kam schon in den zwanziger Jahren unseres Jahrhunderts die größte Überraschung: Als Edwin Hubble in Nachbargalaxien bekannte Sterntypen identifizierte und so die Natur dieser “Nebel” sichern und ihre Entfernungen abschätzen konnte, entdeckte er, daß alle Spektrallinien in ihrem Licht eine systematische *Rotverschiebung* zeigen. (Deren Größe kennzeichnet man durch eine Zahl z , wobei $1+z$ das Verhältnis der “falschen” zur “richtigen Wellenlänge angibt.) Dies muß man in ähnlicher Weise deuten, wie das Tieferwerden des Signaltons von einem vorbeifahrenden Polizeiwagen: Bei den Schallwellen der sich entfernenden Hupe erscheinen die “Wellenberge” auseinandergezogen, und diese größere Wellen-

länge bedeutet einen tieferen Ton. Entsprechend führt die Vergrößerung der Wellenlänge bei einer sich entfernenden Lichtquelle zu röterer Farbe. Kommt dagegen die Quelle auf uns zu, so sind die Linien zum Blauen hin verschoben. So läßt sich durch die Farbverschiebung bekannter Spektrallinien im Licht jeder Galaxie ganz genau die Geschwindigkeit messen, mit der sie und wir uns einander nähern oder auseinander fliegen. (Die seitliche Geschwindigkeit ist nicht meßbar.)

Das zunächst Verblüffendste an Hubble's Entdeckung: Abgesehen von den Nachbarn, wo noch kleine Zufallsbewegungen das Ergebnis bestimmen, fliegen *alle von uns weg!* Und dabei folgen sie dem simplen *Hubbleschen Gesetz*: Ist eine ferne Galaxie doppelt so weit entfernt, wie eine andere, so entfernt sie sich mit doppelter Geschwindigkeit! Beziehen sie sich etwa alle auf uns? Sind wir der Mittelpunkt der Welt?

Im Münzenbild bedeutet das Hubblesche Gesetz: Die etwa gleichverteilten Markstücke im Umkreis von hunderten von Metern entfernen sich von uns mit so wohlorganisierter Marschordnung, daß die gleichmäßige Raumerfüllung erhalten bleibt! Noch anschaulicher wird dies Ausdehnungsgesetz im beliebten Bild der Rosinen in einem aufgehenden Hefekuchen. Hier sieht man sogleich, daß es nicht etwa bedeutet, daß wir "in der Mitte sitzen". Unser Ort im Raum ist gar nicht ausgezeichnet, denn von jeder anderen Rosine (oder Münze) aus hätte man denselben Eindruck, solange nicht ein "Rand" des erfüllten Raumes in Sicht kommt. Statt zu sagen *alles fliegt von uns weg*, sagen wir also besser: *Alle Abstände wachsen mit der Zeit an, doch die Abstandsverhältnisse bleiben erhalten* – oder noch einfacher: *Der ganze Raum dehnt sich gleichmäßig aus!*

Weil die Entfernung von Galaxien schwer bestimmbar ist, war auch die Geschwindigkeit dieser Ausdehnung schwer abzuschätzen. Noch immer streiten Astronomen, ob eine Strecke von einer Million Lichtjahren in jeder Sekunde eher um 15 oder um 30 Kilometer anwächst. Die Meßgenauigkeit für diese Zahl, die sogenannte *Hubble-Konstante*, wird sich aber vermutlich im Laufe der nächsten zehn Jahre entscheidend verbessern.

Unabhängig vom genauen Wert ergeben sich sogleich einfache Fragen: Kilometer pro Sekunde pro Million Lichtjahre – da kann man doch die Lichtjahre in Kilometer verwandeln und diese herauskürzen! Für den Kehrwert der Hubble-Konstanten bleibt dann eine Zeit übrig: 10 bis 20 Milliarden Jahre! So weit in der Vergangenheit wäre der Abstand zwischen *allen* Galaxien Null gewesen – wenn sich die Ausdehnungsgeschwindigkeit nicht wesentlich geändert hätte! Alles, was wir bis zum Abstand von ebensovielen Lichtjahren sehen, müßte damals ungeheuer dicht mit uns zusammen gewesen sein!

Und mit welcher Geschwindigkeit entweichen dort die Galaxien von uns? Zehntausend mal dreißig Kilometer pro Sekunde – das ergibt doch die Lichtgeschwindigkeit, die nach der Relativitätstheorie nicht überschreitbar ist! Schon bei diesem endlichen Abstand ergäbe sich eine unendliche Rotverschiebung! Von dort, und gar von jenseits, könnte uns kein Licht mehr erreichen.

Ist der Raum dort zuende? Offenbar doch nicht – denn warum sollte gerade morgen ein Rand der Welt in Sehweite kommen, wenn doch Milliarden Jahre lang offenbar immer das Gleiche – nämlich gleichmäßig erfüllter Raum – dort auftauchte? Wie auf

den nächsten Sonnenaufgang können wir uns doch wohl darauf verlassen, nächstes Jahr wieder ein Lichtjahr weiter zu sehen und dabei nicht plötzlich etwas "ganz anderes" zu finden – nicht wahr? Was ist es denn, was wir immer wieder zu sehen erwarten dürfen?

Wir sind an unserem *Horizont* im Universum angelangt – und das ist zugleich unser Ursprung! Den Anfangszustand, in dem alles unermeßlich dicht mit uns zusammen war, nennen wir den *Urknall*. Weil die Welt im Großen so einheitlich ist, ist dieses Ereignis, in dem alles Eins war und die Expansion begann, für unsere ganze Welt ein und dasselbe. Am Horizont erscheint uns der Urknall – oder vielmehr verbirgt er sich dort, weil die unendliche Rotverschiebung keine Information mehr zu uns gelangen läßt. Zwischen ihm und uns sehen wir die ganze "Weltgeschichte". Jedes Jahr liegt dieser *theoretische* Horizont räumlich ein Lichtjahr weiter draußen, und doch zeigt er uns stets und in allen Himmelsrichtungen ein und dasselbe: Unseren eigenen Ort und Zustand im Ursprung unseres Universums – also zugleich Ort und Anfangszustand von *allem*. Die gewaltige, Milliarden Lichtjahre entfernte "Kugelschale" unseres prinzipiellen Horizonts stellt in Wahrheit einen *Punkt* dar!

Im Bild der Markstück-Galaxien läge der Horizont in einer Entfernung von zwei bis drei Kilometern – aber für die Zeit, als dort Licht ausgesandt wurde, das uns heute erreicht, muß das Bild längst versagen, weil weder die Lichtausbreitung noch die Entstehung und Entwicklung der "Münzen" im Bild vorkommen. Diese müßten ja dort gemeinsam im Zustand einer ungeheuer dichten Schmelze gewesen sein.

Die modernen Weltmodelle sind also etwas komplizierter als das hier anschaulich skizzierte Bild. Zum Beispiel könnte der dreidimensionale Raum "in sich gekrümmt" sein und sogar endlichen Inhalt haben, ohne deswegen einen "Rand" besitzen zu müssen – was sich Nicht-Mathematiker nur für zweidimensionale Flächen (wie z.B. die Kugeloberfläche) werden vorstellen können. Auch mit dem Entfernungsmaß, für das wir hier einfach die Lichtlaufzeit benutzen, gibt es allerlei Komplikationen. Aber das Prinzip haben wir vielleicht doch erfaßt: Alles was wir als Welt in Raum und Zeit erfahren, war ursprünglich Eins. [*Siehe Kasten "Anfang und Ende"*]

Beliebig nah freilich können direkte Beobachtungen dem Anfang nicht kommen – nicht nur, weil uns die früheste Epoche in wachsender Rotverschiebung verdämmert, sondern weil ja der Raum zunächst von einem so dichten Medium erfüllt war, daß keine Strahlung ihn durchdringen konnte. Ein letztes Stück vor dem theoretischen Horizont bleibt unserem Blick immer entzogen. "Praktisch" liegt der Horizont dort, von wo die früheste noch meßbare Strahlung kommt. Dies ist die berühmte Hintergrundstrahlung mit einer heutigen Temperatur von knapp drei Grad über dem absoluten Nullpunkt (also im Millimeter- und Zentimeterwellenbereich) – mit phantastischer Gleichmäßigkeit aus allen Himmelsrichtungen. Sie stammt aus einer Zeit vor der Galaxienentstehung, nur etwa hunderttausend Jahre nach dem Anfang, als alle räumlichen Abstände tausendmal kleiner waren als heute und die Temperatur dreitausend statt drei Grad

betrug. Die geringen örtlichen Schwankungen in diesem frühen Zustand, die seit einigen Jahren beobachtbar wurden, enthalten Information über die Konzentration von gewöhnlicher und dunkler Materie. Nach der "Entkoppelung" von Materie und Strahlung beginnt hier die Klumpenbildung. [Siehe Kasten "Drei-Grad-Hintergrundstrahlung"]

Sogar jene Frühzeit aber, aus der uns keine Strahlung mehr erreichen kann, hat beobachtbare Spuren hinterlassen: Beispielsweise entschied sich in den ersten Minuten, mit welcher Häufigkeit verschiedene Atomkerne in der Urmaterie enthalten sind, bevor die Kernreaktionen in Sternen einsetzen. Es mußten sich etwa drei Viertel Wasserstoff, ein Viertel Helium und Spuren von Deuterium und Lithium ergeben. Beobachtungen an ältesten Sternen und Gaswolken passen mit den Modellen gut zusammen und liefern sogar Hinweise auf Dichte und Expansionsgeschwindigkeit.

Obwohl natürlich, wie immer in der Wissenschaft, jede Antwort neue Fragen aufwirft, dürfen wir doch sagen: Astronomie und Astrophysik haben in den vergangenen Jahrzehnten ein Weltbild entworfen, in dem die Fülle der Himmelserscheinungen einem einzigen Punkt zu entspringen scheint. Und dort begegnen sich die Beobachtungen des "Großen Ganzen" und des immer Winzigeren – nämlich der Grundstrukturen der Materie, denen die Elementarteilchenphysiker auf die Spur kommen möchten. In ihren riesigen Teilchenbeschleunigern erzeugen diese ja im Zusammenstoß zweier Teilchen Energiekonzentrationen, wie sie sonst nur in kosmischen Katastrophen oder nahe dem Urknall auftreten – mit dem Unterschied freilich, daß wir uns damals *alles* in diesem Zustand vorstellen müssen, also nicht vom vergleichsweise leeren Raum eines Laboratoriums umgeben.

2. Die Moral der Schöpfung

Wir besitzen noch nicht etwa eine fundamentale physikalische Theorie von Raum, Zeit und Materie, in der wir den "Punktcharakter" des Urknalls ernsthaft beschreiben könnten. Die heutigen Theorien sagen selbst aus, daß sie sehr nahe dem Anfang nicht gültig sein können, ja, daß sogar die Begriffe von Zeit und Raum zusammenbrechen, wenn wir näher als die "Planck-Zeit" (10^{-43} Sekunden) an den Anfang heranzudenken versuchen. Geht man so weit, dann gibt es auch Gründe, über eine "Mannigfaltigkeit vieler Welten" zu spekulieren, in denen sogar andere Gesetze gelten mögen. In ihr wäre *unser Universum* eingebettet, oder es hätte sich im Moment seiner Geburt daraus abgelöst. Auch könnte die "Gesetzgebung" für unser Universum selbst ein komplexer Evolutionsprozeß im frühesten Stadium sein. Aber nun ist unsere Welt offensichtlich da, wie sie ist, mit all ihrer Einheitlichkeit – und "alle anderen" gehen uns wohl nichts an, wenn wir mit ihnen keine Wechselwirkung haben.

Die Idee der Universalität bedeutet, daß im Ursprung noch keinerlei individuelle Struktur verwirklicht ist – außer eben jener einzigen: *Alles* ist so dicht, so heiß, so gleichmäßig wie möglich – und fliegt so gleichmäßig wie möglich auseinander. Nehmen wir das (schon der Einfachheit halber) ernst, so heißt es: Noch nichts anderes "ist da". Nicht einmal Elementarteilchen. "Es gibt" nur Möglichkeiten. Was also wird Wirklichkeit werden?

"Was die Gesetze erzwingen", hätte man früher geantwortet – aber die Entdeckungen, die zur Quantentheorie führten, haben uns gelehrt, daß die Gesetze eben nicht das wirkliche Geschehen vorherbestimmen, sondern nur die Wahrscheinlichkeiten, mit denen in "Geschehnissen" aus dem Möglichen ausgewählt wird. An dieser Auswahl des Wirklichen aus der Menge des "gesetzlich Erlaubten" ist ganz entscheidend der Zufall beteiligt. Das Gegenwärtige kann nie stillhalten, sondern die Gesetze selbst erwingen zufällige Schwankungen. Das Wirkliche muß gewissermaßen "im Raum der Möglichkeiten herumzappeln". Und dies kann nicht im Schwanken um ein Gleichgewicht, also in Stagnation enden, denn Expansion und Abkühlung der Welt sorgen dafür, daß die Wirklichkeit immer neuen Möglichkeiten begegnet.

Welche Möglichkeiten ziehen wohl die Wirklichkeit an? Natürlich solche, die im Geprassel der Zufälle erreichbar sind und dennoch nicht leicht wieder verlassen werden! Das sind jene Gestalten, deren innere und äußere Organisation dafür sorgt, daß entweder die Schwankungen verkleinert werden, oder daß diesen "Schwellen" in den Weg gelegt sind. Werden Möglichkeiten gefunden, wo in diesem Sinne "die Dinge besser zusammenpassen", so bleibt die Wirklichkeit wahrscheinlich länger in ihrer Nähe – wenn auch ihr "Zappeln" nie ganz aufhören kann und daher weiter nach noch besser Verflochtenem getastet wird.

Dieses Schöpfungsprinzip ist nichts als eine logische Selbstverständlichkeit, aber es reicht offenbar aus, um vom simpelsten möglichen Anfangszustand unseres Universums bis zum

Nachsinnen über die "zwei Dinge" aufzusteigen. Warum nenne ich das eine logische Selbstverständlichkeit? Weil es nichts anderes besagt als: "Wahrscheinlich überlebt Überlebensfähigeres" – oder, noch krasser tautologisch: "Wahrscheinlich geschieht Wahrscheinlicheres".

"Aufstieg" nennen wir es, weil besseres Zusammenpassen "höhere Komplexität" bedeutet – wenn sich hier auch große begriffliche Schwierigkeiten verbergen. Sicherlich paßt schon nahe dem Urknall alles "so gut wie möglich" zusammen, nur ist eben dieses "Alles" anfangs nur "Eins". Nichts anderes bedeutet ja die Idee des Beginns für ein einheitliches "Universum". (Die Theoretiker suchen übrigens sogar nach einer Möglichkeit, mit "Nichts" anzufangen.) Im gemeinsamen Ursprung, diesem "tiefsten Punkt des Raums der Möglichkeiten" entspringt die Wirklichkeit und wächst mit der Zeit in sein praktisch unendlich-dimensionales Reich hinein.

Voller komplexer Gestalten ist dieses Reich der Möglichkeiten, das wir auch mit Platon das *Reich der Ideen* und mit Theologen den *Himmel* oder die *geistige Welt* nennen mögen. Die Gestalten eines Protons, eines Schwarzen Loches, eines Kugelsternhaufens, der gesamten irdischen Biosphäre – all dies schon vor dem Menschen Verwirklichte gehört natürlich dazu. Aber auch die Ideen der komplexen Zahlen, des reibungsfreien Pendels, einer Sinfonie oder unserer Seele müssen wir wohl dazurechnen. Sie sind durch Materie in Raum und Zeit nicht vollkommen verwirklicht, aber die Wirklichkeit kommt ihnen nahe – und sei es in der elektrochemischen Aktivität von Milliarden Hirnzellen eines Denkenden oder Träumenden.

Dieses Konzept eines Raumes der Möglichkeiten muß vage bleiben, da wir ja keine zuverlässige theoretische Basis haben. Auch Telepathie und Hellsehen oder Umgang mit "höheren Wesen" müßten Platz darin finden, wenn wir derlei erfahren würden. Solche "ganz anderen" Wechselwirkungen würden diesem "Raum" eine andere Struktur geben, aber auch im Weltbild der modernen Physik umfaßt er ja "alles Mögliche" – also sicher mehr als das, was durch Menschenhirne in der "geistigen Welt" bisher angenähert wurde. Und weil nun einmal der gegenwärtige "Stand der Wissenschaft" so stark unser gesellschaftliches Handeln bestimmt, lohnt es sich, hier die Selbstbeschränkung der modernen Naturwissenschaft mitzumachen und so zu tun, als hätten wir schon alle wesentlichen Wechselwirkungen unseres Universums erfaßt. Selbst im krassesten "reduktionistischen" Weltbild nämlich ergeben sich aus dem Nachdenken über Wirklichkeit und Möglichkeit "moralische" Einsichten – wie wir gleich sehen werden.

Was meinen wir wohl, wenn wir sagen, "es gibt die Möglichkeit"? *Wo* gibt es sie – wenn doch fast alles Mögliche unverwirklicht bleibt? Schon hier stoßen wir sozusagen auf ein "Jenseits", denn es gibt sie nicht im Weltraum, sondern in jenem anderen "Himmel", im Reich der Ideen, in dem sich die Welt seit

dem Urknall einen Weg sucht. Was es dort alles gibt! Hätte meine Mutter nicht den Zug verpaßt und ein Gespräch mit einem anderen Zuspätgekommenen begonnen, der dann mein Vater wurde – ja dann wären wohl andere mögliche Gestalten gefunden worden. Jede Entscheidung an einer der unendlich vielen Abzweigungen des Weges kann neue Bereiche des Raums der Möglichkeiten eröffnen und eben dadurch andere für alle Zukunft ausschließen. Oft sind das riesige Bereiche ...

Und wie steht es mit den *verwirklichten* Möglichkeiten? Wirklichkeit ist immer nur “in der Nähe” der jeweils verfolgten Ideen – bei einem Atom nicht anders als bei mir selbst. Denken wir an die Idee des Wasserstoffatoms: Eine raffinierte mathematische Gestalt im Raum der Möglichkeiten. Während der ersten hunderttausend Jahre nach dem Urknall wird sie von der Wirklichkeit nur angenähert, um sofort wieder verlassen zu werden. Im frühen Stadium des Universums sind andere Gestalten attraktiver – z.B. Protonen und Elektronen als “Singles”. Aber sogar die Idee des Protons, die schon in den ersten Minuten sehr dauerhaft verwirklicht wird, ist wohl nicht in alle Ewigkeit attraktiv genug – mag auch die Zerfallszeit so viele Weltalter lang sein, wie das Weltalter selbst Sekunden enthält.

Gibt es also das Proton in einem klareren Sinn als mein Ich – meine “Seele” – jene Ideengestalt, um die sich die Leitideen der Organe, Zellen und Atome meines Leibes bündeln? Seit 64 Jahren zappelt materielle Wirklichkeit ganz nahe an diesen mehr oder weniger zyklischen Attraktoren – und doch wird sie sie demnächst wieder verlassen. Gibt es also diese Seele, oder nicht? Müssen wir noch darüber streiten, was “es gibt”? Sind wir nicht einer “Wiedervereinigung von Geist und Materie” nahe? – Es mag lächerlich erscheinen, in einem derart abstrakten Weltbild irgendwelche Hinweise für die eigene Moral finden zu wollen – aber wenn es doch selbst Bischöfen schwerfällt, in “Ethikkommissionen” für oder gegen die Entwicklung neuer Techniken zu argumentieren, ist es vielleicht den Versuch wert, sich auf die systemtheoretische Logik des Schöpfungsprozesses einzulassen.

Die momentane Wirklichkeit, der jeweils gegenwärtige Zeitpunkt, ist ein Punkt im Raum der Möglichkeiten. In einer zweidimensionalen Fläche ist jeder Punkt durch zwei Zahlen bestimmbar, im dreidimensionalen Raum durch drei Zahlen. Wenn wir uns die Menge der Möglichkeiten als “Raum” vorstellen, so ist dieser praktisch unendlichdimensional. War nahe dem Urknall der momentane Zustand der gesamten Welt noch durch wenige Zahlenangaben (z.B. Alter, Temperatur, Dichte etc.) charakterisierbar, so müßte heute für viele Orte innerhalb unseres gewaltig angewachsenen Horizonts eine ungeheure Fülle winziger Details beschrieben werden, weil die Schöpfungsgeschichte schon so viele Dimensionen erschlossen hat. Diese Weltgeschichte, im Bild die Folge aller verwirklichten Zeitpunkte vom Urknall bis heute, zeichnet eine einzige “Linie” in den Raum der Möglichkeiten, wegen des mikroskopischen Gezappels gewissermaßen ein wenig unscharf.

Im letzten, ein paar Jahrtausende langen Stück dieser Linie ist die gesamte menschliche Geistesgeschichte enthalten, und im gegenwärtigen Endpunkt hat alles Platz, was eben in der

Menschheit geschieht – natürlich auch der momentane Aktivitätszustand von über 10^{20} Hirnzellen, in deren individuellem und gesellschaftlichem Gezappel nun über das weitere Schicksal unserer Erde mitentschieden wird. Im nächsten Moment ist die Linie wieder ein Stück weiter im Reich der Ideen. In fast allen “Unterräumen” natürlich weiterhin ganz nahe an bewährten Gestalten – und doch werden die Übergangswahrscheinlichkeiten zu benachbarten Linien und die Logik des Schöpfungsprinzips dafür sorgen, daß der Endpunkt in den Einzugsbereich noch höherer, komplexerer Attraktoren gerät – nicht wahr?

Der Sinn des Ganzen? Diese Frage drückt nur aus, daß wir selbst mit unserem Denken und Handeln das Wesentliche am gegenwärtigen “Ende der Linie” sind, die Front des schöpferischen Tastprozesses in der geistigen Welt, die durch das Geschehen der früheren Schöpfungstage erreichbar wurde. Die indoeuropäische Wurzel des Wortes *Sinn* bedeutet *eine Fährte suchen, eine Richtung finden*. Wie in allen anderen bisher gefundenen Gestalten tastet auch in uns die materielle Wirklichkeit nach “höherer” lebensfähiger Verflechtung des früher Erreichten und des neu Gefundenen. Warum haben wir plötzlich Angst, das könnte nicht mehr gelingen? Sehen wir *zu viele* Möglichkeiten, oder *zu wenige*?

Als Mittel gegen die Unterschätzung der Zahl von Möglichkeiten empfiehlt sich ein Beispiel: Zieht man zwischen ein paar Punkten gerade Linien, so gibt es verschiedene mögliche Muster. Bei zwei Punkten sind es zwei Möglichkeiten, denn man kann eine Linie ziehen oder nicht. Bei drei Punkten sind es acht, wie man leicht ausprobiert, bei vier Punkten 64, und so weiter. Frage: Wieviele Punkte sind nötig, damit die Zahl der verschiedenen möglichen Beziehungsmuster größer ist als die Zahl der Atome innerhalb unseres kosmischen Horizonts? Die Antwort: Vierundzwanzig!

Weil es so wunderbar ist, wollen wir das Geschehene noch etwas genauer anschauen – vom Beginn bis heute. Es ist beliebt, dabei das ganze Weltalter auf ein einziges Jahr zusammenzudrängen. Eine Milliarde Jahre sind dann ein Monat, 30 Millionen Jahre ein Tag, 1 Million Jahre eine dreiviertel Stunde, 24000 Jahre eine Minute, 400 Jahre eine Sekunde.

Stellen wir uns vor, es ist Silvesternacht. Vor genau einem Jahr begann alles. In einem verschwindend kleinen Bruchteil der ersten Sekunde des 1. Januar wurden in ungeheurer Energiedichte alle möglichen Elementarteilchen ausprobiert. Bald aber ließen Ausdehnung und Abkühlung keine Umwandlungsprozesse durch energiereiche Stöße mehr zu, und was neben heißer Strahlung und der noch unbekanntem “dunklen Materie” als “kleine Verunreinigung” überlebte, ist ein dichtes Gemisch aus Protonen und Heliumkernen (im Massenverhältnis 3 : 1) und freien Elektronen.

So schnell geht das alles, daß keine Zeit bleibt, die höheren möglichen Atomkerne (also die “Nuklidkarte”) durchzuprobieren. Und nicht einmal Klumpen können sich bilden, weil die Strahlung sie gleich wieder auseinandertreibt und gleichverteilt. Und doch wissen wir: Irgendwo “dort oben” im Raum der

Möglichkeiten gibt es uns selbst – und sogar das, was ich hier schreibe! Wie soll die Wirklichkeit dort hinkommen? Alles Zappeln der Teilchen und der Strahlung scheint vergeblich, zumal ja die Expansion die Teilchen immer weiter voneinander entfernt. Endet der Weg schon in Stagnation?

Doch siehe da: Kaum ist eine halbe Stunde unseres Jahres um, da ist die Temperatur auf einige tausend Grad abgesunken, und mehr und mehr Protonen und Elektronen entdecken in ihren Begegnungen, daß sie von nun an besser in Form von Paaren überleben. Die kühlere Strahlung kann diesen nicht mehr viel anhaben, und so folgt jetzt die Materie ihrer Neigung, unter der Schwerkraft Klumpen zu bilden. Als “Keime” wirken dabei kleine Unregelmäßigkeiten in der Dichteverteilung, die schon infolge des früheren Gezappels unvermeidlich vorhanden sind.

In den durch Klumpenbildung neuerschlossenen Dimensionen des Raums der Möglichkeiten werden nun die Ideen von Galaxien und Sternen attraktiv und an Milliarden von Stellen des physikalischen Raumes mit unendlich vielfältigen kleinen Unterschieden verwirklicht. Im Innern von Sternen kann die Materie wieder dicht und heiß werden und diesen Zustand so lange beibehalten, daß alle möglichen höheren Atomkerne (bis zum Eisen) durchprobiert werden. Noch im Januar dürfte unser Milchstraßensystem bereits seinem heutigen Zustand nahekommen, denn schwere Sterne durchlaufen ihr Leben innerhalb weniger Tage und geben Staub aus schweren Elementen ins umgebende Gasgemisch ab – im Fall von Supernova-Explosionen auch die schwersten, bis hin zum Uran.

So brauen viele Sternenerationen in unserer Milchstraße über ein halbes Jahr lang an dem Gas-Staub-Gemisch, aus dem am 15. August unser Sonnensystem entsteht. Schon nach etwa einem Tag sind Sonne und Planeten in ähnlichem Zustand wie heute. Auf der Erde setzt sofort die “präbiologische” Entwicklung ein. Hunderte von Arten komplexer organischer Moleküle können Radioastronomen ja schon in Gas- und Staubwolken nachweisen. Katalytische Prozesse auf der Oberfläche kühler Staubkörner im ultravioletten Licht junger Sterne haben diese Möglichkeiten eröffnet.

Die “freie Energie”, die für die vielen tastenden Schritte zum weiteren “Aufstieg” angeboten werden muß, ist letztlich “fossile Energie aus dem Urknall”. Galaxien und Sterne bilden sich, weil der Schwung des Anfangs die Materie auf so hohe “potentielle Energie” gehoben hat, und die Kernenergie der Sterne, wie sie nun von unserer Sonne so allmählich abgestrahlt wird, wurde während der raschen Anfangsexpansion gewissermaßen eingefroren. Auch den “Abfluß” für entwertete Energie, die notwendige “Entropiesenke”, liefert der Urknall – in Form des “dunklen Nachthimmels”, d.h. der Dreigradstrahlung vom Horizont.

Wann auf unserer Erde der Schritt zu “autokatalytischen” Molekülsystemen geschafft wird und das Leben beginnt, wissen wir nicht genau. Schon in altem Gestein von Anfang September findet sich “biologischer” Kohlenstoff, wenige Wochen darauf bereits Fossilien von Algen. Sehr neugierig sind wir, ob sich Ähnliches auf dem Mars findet, der anfangs wahrscheinlich eine vergleichbare Oberflächenentwicklung durchmachte und erst später “verarmte”.

Vom 16. Dezember (Cambrium) stammen die ersten Wirbeltierfossilien, am 19. (Silur) erobern Pflanzen das Festland, das sich am 20. und 21. (Devon) mit Wäldern bedeckt. Die Atmosphäre, die zunächst keinen freien Sauerstoff enthielt, wird innerhalb weniger Dezembertage mit Sauerstoff angereichert. So schafft sich das Leben selbst in Form der Ozonschicht am Stratosphärenrand einen Schutzschild gegen Ultraviolettstrahlung. Das Tasten nach chemischen Möglichkeiten kann nun auf höherem Komplexitätsniveau, mit empfindlicheren Lebensformen, weitergehen..

Am 22. und 23. Dezember (Carbon) entstehen aus Lungenfischen die Amphibien, die zunächst die feuchten Landteile mit den riesigen “Steinkohlenwäldern” erobern. Am 24. Dezember (Perm) folgen die Reptilien, die auch trockenes Land besiedeln. Am 25. Dezember (Trias) wird das warme Blut erfunden, und abends erscheinen die ersten Säugetiere.

Am 26. und 27. Dezember (Jura) führen die Säugetiere noch ein Kümmerdasein neben den Dinosauriern. (“In Nischen, verborgen vor den Mächtigen, wird die Intelligenz vorbereitet”...) Am 27. wird der Übergang vom Reptil zum Vogel gefunden. Erst am 28. und 29. (Kreide) steigen Säugetiere und Vögel langsam höher. Um Mitternacht zum 30. Dezember (Übergang zum Tertiär) trifft, wie wir glauben, ein Stein von der Größe des Mont Blanc die Erde. Die Klimafolgen dieses von außen kommenden Unfalls lassen fast alle großen Arten aussterben – doch eben hierdurch bekommen Säugetiere und Vögel ihre Chance. Bis zum Morgengrauen des 30. haben sie und die anderen überlebenden Arten bereits die entstandenen ökologischen Nischen mit neuer Vielfalt erfüllt, und dabei werden für die beiden letzten Tage nochmals völlig neue Bereiche erschlossen. Was ist das Neue, das an diesem Schöpfungstag auf unserer Erde entdeckt und immer schneller ausgebaut wird?

Bisher sind die “bewährten Eigenschaften” der im Evolutionsprozeß gefundenen Arten durch genetische Fixierung gesichert. Dies erlaubt keine raschen Änderungen wesentlicher Züge, denn nur über viele Generationen hin können sich “innovative” Mutationen im Gen-Pool einer Art anreichern. Die bewährten Zyklen werden also vielmals durchlaufen, bevor der Übergang in den Einzugsbereich anderer Attraktoren abgeschlossen ist. So ist also der Fortschritt der Wirklichkeit im Raum der Möglichkeiten stets im wesentlichen das Verfolgen der gewohnten zyklischen Bahnen, dem ein relativ langsamer “Diffusionsprozeß” überlagert ist – hin zu benachbarten Attraktoren und deren Bündelung in neuen Dimensionen.

An der neuesten Front wird das anders. Die höheren Säuger und Vögel können schon allerlei lernen. Die zunächst nur “instinktiven”, also genetisch fixierten “sozialen Strukturen” nähern sich damit der Stufe der “Kulturentwicklung”. Das Großhirn wächst nicht mehr allein nach genetischer Steuerung und den Prinzipien der Selbstorganisation biologischer Gewebe. Wenn sich Milliarden von Nervenzellen mit je zehntausenden anderer verbinden, so geschieht das nun auch unter dem Einfluß individueller Erfahrungen, also auch entsprechend der “Erziehung” durch ein kulturelles Umfeld. Welche phantastischen Möglichkeiten erschließen sich solchen selbstorganisationsfähigen “neuronalen Netzwerken”! Ist nicht der Gestaltenreichtum in der Neuen Welt des Fühlens, und schließlich des

Bewußtwerdens, reicher als in allen zuvor erschlossenen Dimensionen des Reiches der Ideen?

Wohl noch in der Nacht zum 31. Dezember spaltet sich die Menschenlinie von der Hauptlinie zu den anderen heutigen Primaten ab. Einige Stunden vor Mitternacht gibt es wohl mehrere aufrechtgehende Arten mit relativ großen Hirnen und Anzeichen noch komplexeren Gefühlslebens und Sozialverhaltens, als es unsere nächsten Verwandten, die Schimpansen (und hier vor allem die Bonobos) zeigen.

Etwa von 22:45 Uhr stammen Louis Leaky's Funde in der Olduvai-Schlucht in Kenia; noch fünf Minuten vor zwölf leben in Europa und Asien Neanderthaler, die uns schon sehr ähnlich, aber vielleicht nicht mit unseren Vorfahren fortpflanzungsfähig sind. Letztere verbreiten sich um diese Zeit, wiederum von Afrika aus, minutenschnell über ganz Eurasien. (War vielleicht erst bei ihnen die Sprache hoch entwickelt?)

Zwei Minuten vor zwölf entstehen herrliche Höhlenzeichnungen, und sicherlich erscheinen auch Musik und ritueller Tanz; zwanzig Sekunden vor zwölf beginnt die überlieferte Geschichte in Ägypten und China; das Studium des gestirnten Himmels erreicht erste wissenschaftliche Höhepunkte, und Propheten und Philosophen werden von Staunen und Ehrfurcht vor dem moralischen Gesetz in uns umgetrieben; fünf Sekunden vor zwölf lebt Jesus; eine Sekunde vor zwölf haben die Christen fast die ganze Erde erobert und beginnen gerade, die amerikanischen Indianer auszurotten und ihre Wertvorstellungen überwiegend aufs Geld zu gründen. Immerhin wird in der letzten Sekunde auch noch nach anderem getastet – etwa in Bachs Kunst der Fuge oder Kants anhaltendem Nachdenken ... Ich lebe seit 0,16 Sekunden. Hier ist es, das Neue Jahr!

Beängstigend, dieses Tempo zum Schluß – nicht wahr? Kann das gutgehen? Den Ozonschild, den sich die Biosphäre in den Wochen vor Weihnachten schuf, haben wir in einer Zehntelsekunde drastisch reduziert und in Gefahr gebracht. Noch bevor der erste Ton des Neujahrsläutens verklingt, verpuffen wir das Öl und Gas, das die Biosphäre in den letzten Wochen des alten Jahres mit Hilfe der Sonnenenergie speicherte. Ja, die Biosphäre selbst wird womöglich innerhalb einer Zehntelsekunde auf die Hälfte der Arten reduziert.

Der Maßstab des "Weltjahres" ist nun nicht mehr hilfreich. Die Neugier, was wohl im Neuen Jahr geschehen mag, schwindet sofort, wenn uns die Geschwindigkeit der gegenwärtigen Entwicklung bewußt wird. Kehren wir zur "Echtzeit" zurück! Sogar in ihr wird ja das Tempo immer beängstigender. Stündlich sterben mehrere lebendige Arten aus, die für ihre Entstehung Jahrmillionen brauchten. In der Mitte meines Lebens sprach ich davon, wieviel von dem, was ich als Kind lieben gelernt hatte, bereits verschwunden war – doch meine Kinder machen diese Erfahrung schon am Ende der Schulzeit.

Immer weniger paßt das Alte mit dem Neuen zusammen, immer eiliger und einheitlicher werden weltweit dieselben Fehler gemacht. Zur Lösung der dadurch immer rascher auftauchenden "Probleme" lassen wir uns "schnellere Innovation" und mehr "Globalisierung" predigen – die freilich selbst die Leitsymptome

der Krankheit sind, und sicherlich keine mögliche Heilmethode. Ist das der Untergang? Der Mensch also ein "Irrläufer der Evolution", der sogar noch die oberen Stockwerke der Biosphäre mit sich reißen muß?

Na und?, sagen viele. Zum gestirnten Himmel blicken sie, begreifen immer mehr von den Gesetzen des Universums, erkennen die eigene Winzigkeit. Seltsam – die eigene Größe erkennen sie nicht. Wir sind bei weitem die höchsten, reichsten, komplexesten Gestalten, die die Wirklichkeit bisher im Raum der Möglichkeiten gefunden hat. Die Größe der *Krone der Schöpfung* ist doch nicht daran zu messen, wieviel *Weltraum* sie einnimmt, sondern wieviel ihr in jenem *anderen* Himmel, im Reich der Ideen, offensteht! Auch dort sind wir zwar winzig – ja noch viel winziger, wie schon das Beispiel der 24 Punkte zeigte –, aber doch riesenhaft im Vergleich zur Idee eines Atoms, einer Galaxie oder einer lebendigen Art. Wer dies leugnet, tut dies oft, um sich die Freiheit zu nehmen, die solchen "tieferen" Gestalten zukommt: Die Freiheit nämlich, ohne die uns angemessenen moralischen Hemmungen im Raum der Möglichkeiten zu experimentieren. Die Wissenschaft sei wertfrei, sagt man. Die Moral werde schon anderswoher kommen.

Kann die Wissenschaft wirklich nicht zwischen Himmel und Hölle unterscheiden? Wir haben gesehen: Die Gesetze unseres Universums definieren zwar den Raum seiner Möglichkeiten, nicht aber den Weg, den die Wirklichkeit in ihm nimmt. Wann führt der Weg "aufwärts", zu lebens- und entwicklungsfähiger Komplexität? Wann geht es "abwärts", in chaotischem Taumeln um längst überholte Gestalten? Sind jenseits der unverletzlichen Naturgesetze noch weitere Voraussetzungen zu erfüllen, damit es gutgeht? Diese Frage nach der "Moral der Schöpfung" fordert auch das wissenschaftliche Denken heraus: Wann gelingt die Selbstorganisation der Freiheit im Schöpfungsprozeß? Wann scheitert sie?

Die Freiheit in der Schöpfung hat mit der Rolle des Zufalls zu tun. Schon den Elementarteilchen kommt Freiheit zu, aber eben die freien Schwankungen sorgen dafür, daß sie gemeinsam Möglichkeiten finden, ihre Freiheit auf komplexe Weise zu organisieren. Wir nennen das Selbstorganisation, weil die Materie durchs eigene Gezappel höhere Gestalt findet. Ihr liegen im allgemeinen "zyklische" Prozesse zugrunde, denn eben darin, daß immer wieder fast das gleiche geschieht, liegt das Wesen lebensfähiger Gestalt – von Atomen und Sternen bis zu Biosphäre, Gehirn und Kultur. Man nennt solche Gebilde "dissipative Strukturen", weil in ihnen aus geordneten Strömen "hochwertiger" Energie und Materie etwas für die Gestalterhaltung verbraucht und dabei "unordentlich verstreut" ("dissipiert") wird – wie etwa bei "Energieverbrauch" und "Stoffwechsel". Daß solche Gestalten in ungeheurer Fülle möglich und erreichbar sind, liegt – wie wir sahen – am Charakter unseres Universums, das die nötige freie Energie und deren Abfluß liefert. Ob langfristig lebensfähige Gestalten, also zuverlässige Leitlinien, wirklich gefunden sind, stellt sich freilich wegen der ungeheuer vielen Möglichkeiten erst heraus, wenn in langwierigem Kneten alles miteinander erprobt und aneinander

angepaßt wurde. Am Abend eines langen Schöpfungstages läßt sich dann sagen: *Siehe da, es war sehr gut.*

Und doch gibt es in der Fülle der Möglichkeiten kein Optimum. In irgendwelchen Dimensionen geht es wahrscheinlich weiter "bergauf", zu höherer Komplexität, und natürlich gibt es weiterhin zufällige Schwankungen, die solche Stellen finden müssen. Ein neuer Schöpfungstag bricht an. Doch die gestern gefundene Organisation sorgt dafür, daß heute mit schwächeren Wechselwirkungskräften nach Neuem getastet wird. Deshalb wird der Einzugsbereich wesentlicher Leitlinien früherer Tage wahrscheinlich nicht wieder verlassen. Von Tag zu Tag wurde eine "höhere Moral" gefunden: Chemische Prozesse ändern nicht mehr die Atomkerne, die lebende Zelle experimentiert nicht mit dem Prinzip des genetischen Codes, unsere Organe nicht mit dem Prinzip der Zelle, das Großhirn nicht mit den Grundfunktionen der Leber.

Nur wegen dieser Selbstbeschränkung überholter Freiheiten kann die Wirklichkeit weiter aufsteigen: Beim Weitertasten findet sie in der Nachbarschaft komplexe Möglichkeiten der "Bündelung" ihrer bisher verfolgten Leitlinien. Solche höheren Gestalten wirken "attraktiv", wenn die raffiniertere Verflechtung das Verlassen des bisher Gefundenen "sehr Guten" unwahrscheinlicher macht. So drang die Front des evolutionären Fortschritts bisher mit jedem Schöpfungstag zu Gestaltprinzipien vor, die noch schwächere Wechselwirkungen nutzen. Noch am Tag zuvor, auf einem "altmodischeren" Niveau der Freiheit, waren diese im heftigeren "Umsichschlagen" der Zufälle nicht verwirklichtbar.

Am "sechsten Tag" gerät die irdische Biosphäre an eine neue Front: Die Idee des Menschen ist gefunden. Mit ihm taucht bekanntlich auch jene andere attraktive Gestalt auf, die wir zunächst den Lichtbringer (*lucifer*) und dann den Durcheinanderwerfer (*diabolos*) nennen. Ist da etwas prinzipiell Neues geschehen? Die Möglichkeit des Scheiterns kann es ja wohl nicht sein. Auch früher mußte fast jeder Versuch ein Irrtum sein, denn gute Ideen sind in der ungeheuren Fülle von Möglichkeiten von lauter schlechten umgeben und deshalb nicht leicht zu finden. Warum also haben wir – nicht nur in unseren Mythen – den Eindruck, der Teufel, der doch als Teil des Schöpfungsprinzips in der Nachbarschaft aller Gestalten der geistigen Welt wirksam ist, sei erst am sechsten Tag wirklich manifest geworden? Wir sind der Antwort ganz nahe. Anhaltendes Nachdenken über die Moral der Schöpfung führt uns zur "Systemtheorie von Gott und Teufel".

Bei der Silvesterparty fiel uns auf: Die *Eile des Teufels* ist eine Errungenschaft des letzten Tages! Sollte man nicht erwarten, daß nun jeder Wissenschaftler sich fragt: Wie schnell kann eigentlich die Evolution ins Reich der Möglichkeiten vordringen, ohne abzustürzen? Merkwürdigerweise wird diese entscheidende Frage fast überall verdrängt. Man begnügt sich mit dem Gefühl, guter Wille und "bestes Wissen und Gewissen" reichen aus. Wenn dennoch etwas schiefgehe, und dies sei "nach dem Stand der Wissenschaft nicht vorhersehbar" gewesen, dann sei auch niemand schuld. Mit diesem Aberglauben haben uns führende Gentechniker erst kürzlich

den Anbruch des achten Tags der Schöpfung verkünden wollen – obwohl das Ringen um die Moral des siebten kaum begonnen hat.

In jeder Epoche der Schöpfung gibt es eine Front, wo am schnellsten zu "neuen Ideen" vorgedrungen wird. Die "führenden Gestalten" haben ihre jeweils eigenen typischen "Zyklen", in denen sich die "Bewährung" bestätigt, indem sich ständig "im wesentlichen dasselbe" wiederholt. Wird zu neuen Leitideen übergegangen, bevor auch nur ein Zyklus vollendet ist, so sind diese höchstwahrscheinlich nicht lebens- und entwicklungsfähig. Geschieht dieser Übergang zudem "global" in einem isolierten Raumbereich, so daß örtlicher Zusammenbruch nicht durch erneute Ausbreitung von Bewährtem geheilt werden, dann fällt die Front zu "tieferen" Möglichkeiten zurück. Die vielen "unerwarteten" und unerprobten Begegnungen von Neuem und Altem, die hierbei auftreten, mögen zunächst den Eindruck gesteigerter Komplexität erwecken – doch ist dies nur "Kompliziertheit", nicht lebensfähige Verflechtung.

Die Aussage, daß die "führenden Gestalten" wahrscheinlich nicht schnell im Vergleich zur eigenen Generationszeit vorankommen können ohne abzustürzen, ist *logischer* Natur – bedarf also nicht irgendeiner anderen Morallehre. Diese "kritische Grenze der Innovationsgeschwindigkeit" gilt offensichtlich für wesentliche Änderungen der Anführer in deren *eigener* Organisation. Wird etwa die Front *früherer* Schöpfungstage wiedereröffnet, so ist natürlich mit größter Wahrscheinlichkeit auch solcher für die Anführer selbst "unterkritischer" Fortschritt noch bei weitem zu schnell. Auch die "Ehrfurcht vor der Schöpfung" bedarf also keiner anderen Moral als der Einsicht in die Logik des Schöpfungsprinzips. Und dazu gehört kaum mehr als das Zählenkönnen – wie das Beispiel der Beziehungsmöglichkeiten von 24 Punkten zeigte. Hätte uns dies nicht eigentlich längst vor Entdeckung des "Ozonloches" vor eiliger globaler Freisetzung von weit mehr als 24 "innovativen" Spurengasen in die Atmosphäre bewahren müssen?

Was heißt da "eigentlich"? Wir sehen doch, daß trotz dieser Logik alles ganz anders läuft: Das Innovationstempo nimmt ständig zu, und die Vielfalt unabhängigen Tastens wird immer schneller durch globale Vereinheitlichung verdrängt. Und das ist ebenfalls logisch einsehbar: Werden Gestalten gefunden, die schneller im Raum der Möglichkeiten vorankommen, so geht die Front definitionsgemäß auf diese über. Sind also "eiligere" Ideen zu finden und verwirklichtbar, so muß der Evolutionsprozeß schneller werden – und dieser "Vorteil" breitet sich natürlich auch "geographisch" so weit wie möglich aus.

Ein einleuchtendes Beispiel: Als das Lebendige die Methode sexueller Fortpflanzung entdeckt, stehen jeder Generation viel mehr verschiedene Möglichkeiten offen – und dies beschleunigt das Vordringen in den Raum der Möglichkeiten so sehr, daß hier künftig die Front liegt. Dennoch waren bis vor wenigen Millionen Jahren schnelle, globale Änderungen in der Biosphäre "aus eigener Kraft" unmöglich, denn jede winzige Neuerung (bei einer durch "Zufallstreffer" erzeugten Mutation) mußte über viele Generationen hinweg in verschiedensten genetischen Kombinationen von Individuen der jeweiligen Art und in deren Wechselwirkung mit allem anderen erprobt

werden. Nur seltene “Unfälle” (wie jener Zusammenstoß der Erde mit einem “großen Stein” am Übergang zum Tertiär) können dieses Prinzip durchbrechen – was freilich ein “Zurückwerfen” bedeuten muß, falls nicht die Basis und die führenden Gestalten überleben.

Mit dem Menschen aber wurde ein völlig neues Innovationsprinzip entdeckt: Im Gehirn und im gesellschaftlichen Verbund vieler Gehirne werden ganze Bereiche der Nachbarschaft des Raums der Möglichkeiten “abgebildet” – und nun können ungeheuer schnell sehr weitreichende “Versuche” ablaufen. Die Front des Fortschritts ging daher zunächst allmählich, aber dann fast explosionsartig von der Biosphäre aufs Reich des menschlichen Geistes über (das man auch die “Noosphäre” nennt). Und immer rascher trugen dann menschliche Hände (und neuerdings deren raffinierte Verlängerungen) die hohe Innovationsgeschwindigkeit auch an die Fronten früherer Schöpfungstage (zum Atomkern, zur Chemie, zur genetischen Codierung biologischer Information ...), so daß nun auch die Biosphäre und sogar der Strahlungshaushalt und das Klima der Erde immer schneller nach neuen Ideen zappeln müssen.

Verdammte Logik: Die selektiven Vorteile schnellerer Innovation und großräumiger Organisation müssen nun den Prozeß beschleunigt vorantreiben. Schnelleres verdrängt Langsameres, Größeres verdrängt Kleineres – und beide Mechanismen verstärken einander: Weltweit dieselben Irrtümer, die nach immer schnellerer globaler “Problemlösung” schreien ... die aber nach der Logik der Wahrscheinlichkeit mehr neue Probleme schafft als löst ... wobei die neuen Probleme “noch globaler” sind ... und noch schnellerer Lösung bedürfen ... – Müßte nicht jeder Wissenschaftler solches Systemverhalten als Fortschritt einer Instabilität erkennen? Was, zum Teufel, läßt noch immer viele glauben und verkünden, dieser Fortschritt führe aufwärts?

Nun – was wird’s schon sein? Die Gewohnheit natürlich. Bis vor kurzem hatte sich’s doch bewährt! Das ist das Wesen von Krisen: Die Lebensfähigkeit bewährter Leitideen bricht zusammen, und das System gerät unvermeidbar auf andere. Freilich sind auf dem erreichten Komplexitätsniveau mit recht kleinen Schwankungen die Einzugsbereiche sehr verschiedener Attraktoren erreichbar. Sie liegen zwischen zwei Extremen: Der Zusammenbruch kann an den Wurzeln der Biosphäre geschehen oder im Bewußtsein der Anführer.

Nannte ich nicht beides “logisch”? Die Einsicht ins Wesen der kritischen Grenzen von Innovationsgeschwindigkeit und organisatorischer Vereinheitlichung einerseits – und in die Gründe für den selektiven Vorteil von “Eile und Einfalt” andererseits? Offensichtlich wirken diese Antriebskräfte, bis die kritischen Grenzen erreicht sind. Ein systemtheoretisch unvermeidbarer singulärer Punkt in der Geschichte jedes hinreichend isolierten, endlichen Raumbereichs mit anhaltendem evolutionärem Fortschritt! Unser Planet hat den Höhepunkt dieser *globalen Beschleunigungskrise* erreicht. Aber das muß nicht den Untergang bedeuten. Nur muß es entlang anderen Leitideen weitergehen als zuvor. Krise heißt Entscheidung.

Schon lange war der Mensch fähig, den Untergang der eigenen Person oder ganzer Gesellschaften zu organisieren. Aber es lagen eben auch bessere Möglichkeiten nahe: Die Selbstorganisationsmuster, die wir *Kultur* nennen. Logisch, daß sie gefunden wurden. Die Organisationsprinzipien dieser Attraktoren, die es unwahrscheinlich machen, daß das allgemeine Gezappel aus ihrem Einzugsbereich herausführt, nennen wir *Moral*. Die bewußte Beschäftigung mit ihr, ihre Theorie also, nennt man *Ethik*. Das griechische Wort *ethos* bedeutet letztlich *Gewohnheit* – das, was man immer getan hat. Warum hat man es immer getan? Weil es sich bewährt hat. Wie erweist sich die Bewährung? Darin, daß man es so lange tun konnte, ohne daß das Ganze unterging. *Sitte* und *Moral* bedeuten nichts anderes, und in der indoeuropäischen Wurzel der *Moral* steckt auch noch die Erinnerung, wie stark und *mutig* man das Bewährte *will*.

Auch den Wurzeln von “Gut und Böse” nachzugehen, lohnt sich. *Gut* ist, was *zusammenpaßt*, *böse* bedeutet wohl *aufgeblasen*, und unser älteres Wort fürs Böse, das *Übel*, hat etwas mit *Aufsässigkeit* zu tun. Unser *Übel* ist die Selbstüberschätzung, die uns vergessen läßt, daß alles Wissen und Können nur zum “Durcheinanderwerfen” führt, wenn nicht die logischen Voraussetzungen wirklichen Fortschritts erfüllt sind: Vielfältige unabhängige Tastversuche in der Nähe des Bewährten und genügend Zeit zu neuerlicher Bewährung. Alle Mythen der Menschheit und die sprachlichen Wurzeln der Begriffe in hergebrachten Leitideen weisen auf diese “*Moral der Schöpfung*” hin. Logisch, denn sonst wären wir nicht hier. Es war nicht mathematisch-naturwissenschaftliche Forschung nötig, um dies einzusehen. Das intuitive Erfassen des eigenen Zappels in der geistigen Welt, die menschliche Vernunft, ringt darum seit dem Anbruch unseres Schöpfungstages – nur ist der Abend nicht erreicht ...

Welche Leitlinien also bietet uns die *Moral der Schöpfung*? Was müssen wir tun, um uns so einzuordnen, daß alles zusammenpaßt und schließlich *sehr gut* werden kann? Das ist nun wohl klar, nachdem wir die “Wertfreiheit der Wissenschaft” als Irrtum entlarvt, ja sogar zu einer “*Ethik aus der Wissenschaft*” gefunden haben. Was vielen zunächst wie eine “*Moralpredigt*” erscheinen mochte, ist als “*logische Selbstverständlichkeit*” einsehbar – letztlich vergleichbar dem “zwei mal zwei gleich vier”. Die Aufklärung, die uns, wie Kant sagte, aus selbstverschuldeter Unmündigkeit führen sollte, ist nicht zuende. Aber nun können aufgeklärte Wissenschaftler und Theologen sich gemeinsam ans Werk machen: Es geht darum, das wissenschaftlich, technisch, wirtschaftlich und noch immer auch machtpolitisch organisierte “*Umsichschlagen*” im Raum der Möglichkeiten verfassungsmäßig zu beschränken, bevor wir aus allen bewährten kulturellen, biologischen oder gar klimatischen Attraktoren heraus und ins Chaos geraten sind. Aber solche Beschränkung bedeutet nicht “*Verzicht*”, sondern Gewinn. Sie wird für alle Menschen die Freiheit zum Tasten an der Front des siebten Tages sichern.

Konkret bedeutet das: Politische Arbeit *für* die Bewahrung unserer biosphärischen und kulturellen Basis – Arbeit *für* die gemeinsame Garantie menschenwürdiger Lebensgrundlagen aller Erdbewohner, also *für* die Befreiung vom Zwang, um diese

lokal und global zu konkurrieren – Arbeit *für* die Erziehung zur Freiheit in unseren höheren Fähigkeiten, die *nicht* die Wurzeln bedrohen. Und das bedeutet natürlich Arbeit *gegen* die Aneignung von Lebensgrundlagen der einen durch die anderen und *gegen* den Machtgewinn durch schnellere Innovation und globale Vereinheitlichung. Die Garantie “höherer” Freiheit erfordert, wie an jedem neuen Schöpfungstag, die Beschränkung hergebrachter Freiheiten. Zwei wesentliche Freiheiten des sechsten Tages, die jene des siebten behindern oder gar ausschließen, sind die Freiheit des grenzenlosen Eigentums, das obendrein Anspruch auf grenzenloses Wachstum beansprucht, und die Freiheit zu möglichst schneller Verbreitung technischer Neuheiten, die ja in Verbindung mit jener freien Konkurrenz um Aneignung von Lebensgrundlagen sogar zum Zwang geworden ist

Gegen alle modernen globalen Trends arbeiten? Hierzulande mit dem Tasten nach einer Weltverfassung zur “Beschränkung des Großen und Schnellen” beginnen? Das mag zunächst absurd, ja nach innerem Widerspruch klingen. Aber die Logik des Schöpfungsprinzips, die “Moral der Schöpfung”, wird uns dazu zwingen. Das Nachdenken über den bestirnten Himmel und das auch in ihm sichtbar werdende moralische Gesetz hat uns etwas vom Zusammenhang der “zwei Dinge” erkennen lassen und einer Wiedervereinigung von Geist und Materie nähergebracht. Unsere Liebe, unsere Hoffnung, unser Gefühl der Verantwortung – das ist nicht *prinzipiell* verschieden von allem anderen Geschehen diesseits unseres Horizonts. Es ist das Zappeln der Wirklichkeit im Raum der Möglichkeiten am Morgen des siebten Tages. Welche Arbeit! Noch immer keine Ruhe!

Doch wieder nur die alte Geschichte? Nicht anders als bei einer Galaxie, die gegen die Versuchungen ihrer Schwerkraft nicht zum Schwarzen Loch wird, sondern in hundert Milliarden Sternen weitertasten läßt? Ist da nicht auch die Entscheidung in einer “globalen Beschleunigungskrise” gefallen? Und muß sie nicht oft auch anders ausgefallen sein, weil nun einmal die meisten Versuche Irrtümer sind? Da hilft doch keine Moralpredigt. Eine reine Frage der Wahrscheinlichkeit, nicht wahr?

Wenn eine Galaxie im Entstehungsprozeß untergeht, ist nicht die führende Gestalt im Raum der Möglichkeiten verlassen! Da sind ja zugleich Milliarden ähnlicher Versuche im Gange. Wie bei uns Menschen: Wir sind Milliarden, und wir entstehen und vergehen unvergleichlich viel schneller als Galaxien, trotz so viel höherer Komplexität. Was fürchten wir eigentlich? Die

Bedrohung, die wir spüren, ist nicht der eigene Tod. Es ist der mögliche Untergang der ganzen irdischen Noosphäre und eines großen Teils ihres biosphärischen Wurzelgeflechts.

Vergleiche mit früheren Schöpfungstagen illustrieren zwar das logische Prinzip der Schöpfung, können aber nie das Wesentliche an den Gestaltprinzipien in höheren Dimensionen späterer Tage erfassen. Der noch immer modische “Sozialdarwinismus” und der auf ihn gestützte “Neoliberalismus” sind kindisch. Das innere Geschehen in Teilchen, Galaxien, Sternen, Lebewesen oder lebendigen Arten hat verschwindenden Einfluß aufs Ganze. Wenn eine planetare Biosphäre gelungen ist, läßt selbst noch so “egoistisches” Gezappel ihrer Arten und Individuen sie nicht global instabil werden, sondern gerade durch die Konkurrenz und allmähliche Ersetzung fast aller Arten immer weiter aufsteigen. Auf der Stufe des Menschen liegt aber die Front in den Möglichkeiten innerer Komplexität von Individuen und relativ kleinen Gruppen und Völkern. An dieser Front geschehen die wesentlichen Schritte im Tasten nach gangbaren Wegen im “Innenleben” von Einzelnen. In dieser Einsicht liegt die moralische, das heißt die logische Quelle der Ideen von Menschenrechten und Verantwortung, wie auch von individueller und gesellschaftlicher Freiheit und Selbstbeschränkung.

Wie unbequem. Ausgerechnet unsere Generation markiert den Höhepunkt der globalen Beschleunigungskrise. Zeit zum Aufstehen? Die Front der Entscheidung liegt im Bewußtsein von Milliarden Menschen. Doch was nützt die große Zahl, wenn es der Macht aufgeblasener Führer oder dem unaufgeklärten guten Willen von Mehrheitsbeschlüssen gelingt, die Erde ins Präkambrium zurückzuwerfen? Wissen wir denn, ob nicht ein ganzes Universum nötig war, um so hoch ins Reich der Ideen aufzusteigen? Und womöglich sogar noch ein Glückstreffer bei der Auswahl von dessen Gesetzen aus den Möglichkeiten eines “Multiversums” an einem “nullten Schöpfungstag”? Wären dann nicht *wir selbst*, ja wäre dann nicht womöglich *ich* ein kritischer Punkt der universellen Entwicklung?

Merkwürdig dieser Gedanke: Wir schauten zum Sternenhimmel, immer weiter hinaus, bis zum Horizont – und nun sind wir zurückgekommen, zur Erde, zur menschlichen Gesellschaft, zum Ich, zur eigenen Verantwortung – womöglich zur Verantwortung fürs Höherkommen des Universums im Reich seiner Möglichkeiten, in jener geistigen Welt eines unermeßlich viel größeren Himmels?

1. Kasten:

“Der Lebenslauf der Sterne”

Sterne sind heiße Gasbälle. Unsere Sonne besteht weit überwiegend aus Wasserstoff und Helium, mit ein paar Prozent schwererer Elemente. Ihre Masse ist $2 \cdot 10^{30}$ Kilogramm, der Radius 700.000 Kilometer. An der Oberfläche ist sie über fünftausend Grad heiß und leuchtet daher am stärksten im gelbgrünen Licht. (Deshalb hat das irdische Leben unter unendlich vielen chemischen Möglichkeiten gerade das Blattgrün gefunden ...)

Würde nicht im Innern ständig Energie nachgeliefert, so würde die Sonne rasch abkühlen und immer weniger strahlen. Dann würde der innere Druck nicht ausreichen, um der eigenen Schwerkraft der großen Masse das Gleichgewicht zu halten, und sie müßte schrumpfen. Zwar würde dabei wieder Energie frei (durchs Hinabsinken im Schwerfeld), doch könnte dies die Sonne bei weitem nicht so lange speisen, wie sie nun schon “lebt”.

Die Energiequelle ist eine Art “Kernreaktor” (genauer “Fusionsreaktor”) im Zentrum. Dort sind Druck und Temperatur so hoch, daß Teilchen genügend oft und genügend schnell zusammenstoßen, um (auf dem Umweg über kompliziertere Kernreaktionen) Wasserstoffkerne zu Heliumkernen verschmelzen zu lassen. Dabei wird Energie freigesetzt, die das Gas aufheizt und nun in Form von Strahlung hinaus will. Der ganze Gasball stellt seine Dichte- und Temperaturverteilung so ein, daß der Druck des heißen Gases und der Strahlung überall der Schwerkraft das Gleichgewicht hält und daß Größe und Temperatur der Oberfläche gerade ausreichen, um den Energiestrom nach außen abzustrahlen.

Dieser Prozeß regelt sich über lange Zeit hinweg mit sehr geringen Änderungen. Wenn nämlich der Stern etwas zu weit schrumpft, steigen im Zentrum Druck und Temperatur an, so daß die Kernreaktionen schneller ablaufen und mehr Energie liefern, was aufblähend wirkt. Bei zu starker Aufblähung aber sinkt im Innern der Druck und die Reaktionen lassen nach. Durch diese Selbstregelung kann sich unsere Sonne etwa 10 Milliarden Jahre lang in einem Zustand ähnlich dem heutigen halten – bis ihr Wasserstoffvorrat erschöpft ist. Die Hälfte dieser Zeit ist nun vorbei, denn Sonne und Planetensystem sind vor 4,6 Milliarden Jahren entstanden.

Sterne entstehen durch das Zusammenschrumpfen von Gaswolken. Welche Masse sich dabei ansammelt, hängt unter anderem davon ab, wie gut die beim Schrumpfen freiwerdende Schwerkraftenergie abgestrahlt werden kann. Die entsprechenden “Kühlungsmechanismen” sind stark durch “Staubkörner” aus den bereits vorhandenen schwereren Elementen mitbestimmt. Zudem spielen auch die Drehung der Wolke, ihre innen und die umgebenden Magnetfelder sowie die Strahlung

benachbarter Sterne eine wichtige Rolle. Deshalb läßt sich trotz unserer Kenntnis der beteiligten Grundgesetze die Entstehung von Sternen und Planetensystemen auch auf den größten Computern noch nicht zuverlässig durchrechnen. Die weitere Entwicklung aber – nach dem Einsetzen der Kernreaktionen – ist in den meisten Fällen schon recht gut simulierbar.

Daß beim Schrumpfen einer rotierenden Wolke eine Scheibe entstehen kann, leuchtet ein: Parallel zur Achse wirkt keine Fliehkraft, so daß in dieser Richtung das Absinken nicht behindert ist, bis sich genügend Gegendruck aufgebaut hat. In der Drehebene aber wächst beim Schrumpfen wegen der Erhaltung des Drehimpulses die Drehgeschwindigkeit an (wie bei der Pirouette einer Eisläuferin, wenn sie die zuvor ausgestreckten Arme an den Körper heranzieht), und so stellt sich eine Scheibe ein, in der sich Fliehkraft und Schwerkraft überall gerade das Gleichgewicht halten. Dann wird das weitere Schrumpfen, der Transport von Drehimpuls und die Ansammlung einer großen Sternmasse im Zentrum durch die langsameren Prozesse der Reibung, Kühlung und Strahlung in der Scheibe geregelt.

Bei diesen komplizierten Vorgängen kommt es in der Scheibe auch zu lokalen Instabilitäten mit Klumpenbildung. So muß unser Planetensystem zugleich mit der Sonne entstanden sein, und vermutlich haben auch viele andere Sterne Planetensysteme. (Erste Beobachtungen in dieser Hinsicht gibt es neuerdings.) Sehr häufig entstehen allerdings auch Paare von einander umkreisenden Sternen – enge Doppelsterne, die den Astronomen früher vor allem dann auffielen, wenn die beiden Partner sich gelegentlich von uns aus gesehen verdecken, so daß regelmäßige Helligkeitsschwankungen auftreten.

Schwerere Sterne leben umso kürzer, je mehr Masse sie haben. Die Kernreaktionen laufen in ihrem heißeren und dichteren Innern so viel schneller ab, und sie strahlen dann so viel heller, daß der größere Wasserstoffvorrat dennoch rascher erschöpft ist.

Während des “Wasserstoffbrennens”, das den größten Teil der Lebenszeit aller Sterne ausmacht, besteht eine bestimmte Beziehung zwischen wirklicher Helligkeit und Oberflächentemperatur. Deshalb findet man, wenn man Sterne nach Leuchtkraft und Farbe in ein entsprechendes Achsenkreuz (“Hertzsprung-Russell-Diagramm”) einzeichnet, die meisten in einem schmalen Streifen – der sogenannten Hauptreihe.

Wenn der zentrale Wasserstoffvorrat erschöpft ist, schrumpft der Stern im Innern und setzt dort das “Heliumbrennen” in Gang – also die Verschmelzung von Heliumkernen zu noch schwereren Elementen. Ist auch das Helium erschöpft, so setzen nach weiterer Schrumpfung wieder neue Kernreaktionen ein, die bis zum Eisen und Nickel führen. Die äußeren Schichten

schrumpfen aber nach dem "Hauptreihenstadium" nicht mit. Sie blähen sich vielmehr auf, so daß der Energiestrom von einer größeren Oberfläche abgestrahlt wird, was eine weniger hohe Temperatur erfordert. Es entsteht ein "Roter Riese" aus dünnem Gas mit einem immer kleineren aber dichteren Kern. Schließlich ist dieser Kern nur noch etwa so groß wie die Erde, enthält aber fast die Masse unserer Sonne in Form von schwereren Elementen wie Kohlenstoff, Silizium oder gar Nickel und Eisen.

Weitere Kernreaktionen, die Energie liefern könnten, sind schließlich nicht mehr möglich. Der Kern ist aber noch so heiß, daß er seine ausgedehnte Hülle wegblasen kann. Diese erscheint dann eventuell eine Zeitlang als "planetarischer Nebel" (was nichts mit Planeten zu tun hat). Schließlich aber verteilt sich diese Hüllenmaterie wieder im weiten Raum zwischen den anderen Sternen und Gaswolken, und es bleibt nur der Kern – so klein wie die Erde, doch fast so schwer wie die Sonne – zurück, der wegen seiner kleinen Oberfläche trotz fehlender Nachlieferung von Energie noch lange heiß bleibt und weiß erstrahlt: Ein "Weißer Zwerg".

Nicht jeder Stern aber kann eines so ruhigen Todes sterben. Eine Masse von mehr als $1\frac{1}{2}$ Sonnenmassen kann nämlich nicht im Zustand eines Weißen Zwerges existieren. Wächst die Kernmasse über diesen kritischen Wert hinaus an, so kann der innere Druck (den bei dieser enormen Dichte quantentheoretische Eigenschaften der Elektronen liefern) der Schwerkraft nicht das Gleichgewicht halten, und der ohnehin winzige Stern muß weiter in sich zusammenfallen. Erst wenn er 10 bis 20 Kilometer Radius, also die Ausmaße einer größeren Stadt erreicht hat, tritt plötzlich wieder ein starker Gegendruck auf. Dann ist die Materie so dicht, wie im Innern eines Atomkerns. Die plötzlich wirksam werdenden starken Kernkräfte bremsen den nahezu freien Fall aufprallartig ab, und die größtenteils in Hitze verwandelte Bewegungsenergie geht in Strahlung und Stoßwellen über. Zugleich "fressen" die Protonen die Elektronen und wandeln sich so in Neutronen um, die unter dem gewaltigen Druck stabiler sind (im Gegensatz zur Instabilität des freien Neutrons). Der entstandene sonnen-schwere "Atomkern" ist zum "Neutronenstern" geworden.

Innerhalb von Millisekunden entsteht dabei auch ein gewaltiger Strom von Neutrinos. Diese geheimnisvollen Teilchen, die ohne jeden Zusammenstoß durch die Erde hindurchfliegen können, kommen bei der ungeheuren Dichte ("Sonnenmasse in den Maßen einer Großstadt") nicht so leicht durch und helfen deshalb mit, Schwung auf die äußeren Schichten des eben entstandenen Neutronensternes zu übertragen. Diese drängen mit hoher Geschwindigkeit nach außen, und die im Zusammenstoß mit noch weiter außen liegenden Schichten freiwerdende Strahlung läßt das Ganze mit der Helligkeit vieler Millionen Sonnen erstrahlen. Eine *Supernova*! (Seit Kepler und Tycho Brahe wurde in unserem Milchstraßensystem keine solche mehr gesehen – jedoch 1987 eine in der großen Magellanschen Wolke – gerade noch nah genug, um von den Myriaden ausgesandter Neutrinos ein paar in riesigen Detektoren nachzuweisen!)

Wir wissen heute, daß die im Kosmos vorgefundenen chemischen Elemente jenseits des Eisens – bis hin zum Uran – fast

ausschließlich in solchen Supernova-Ereignissen erzeugt und im umliegenden Raum verteilt werden. In der Gaswolke, aus der sich vor viereinhalb Milliarden Jahren unsere Sonne und ihr Planetensystem bildete, war schon ziemlich viel solches Material vorhanden, weil offenbar mehrere Generationen schwererer, kurzlebigerer Sterne vorangegangen waren. Ohne diese "Vorarbeit" gäbe es uns nicht ...

Wenn wir nun schon so weit gekommen sind, muß auch noch die letzte und seltsamste Möglichkeit des Sterntodes erwähnt werden: Das Schwarze Loch. Auch für Neutronensterne gibt es eine kritische Masse! Sie ist noch nicht so genau berechenbar, wie beim weißen Zwerg, doch liegt sie wohl zwischen zwei und drei Sonnenmassen. Würde ein Neutronenstern im Verlauf seiner Entstehung oder später Masse aufsammeln und über diese kritische Grenze kommen, könnte der innere Druck nicht mehr der Schwerkraft widerstehen. Nun gut, möchte man vielleicht sagen – dann wird diese Masse eben auf noch weniger als 10 Kilometer Radius zusammenfallen, bis schließlich der Druck doch ausreicht, um den Zusammenfall wieder in einem "Aufprall" enden zu lassen.

Irrtum! Das geht nicht mehr. Was ist denn Druck? Der Luftdruck im Zimmer, beispielsweise, stammt von der Kraft, die die herumfliegenden Luftmoleküle beim Abprallen auf die Wand übertragen. Er hängt also eng mit der Energie in Gestalt der "Wärmebewegung" zusammen. In gewissem Sinne bedeutet jede Art von Druck auch eine Art Energie – und jeder Form der Energie kommt nach der Relativitätstheorie auch eine Masse zu (das m im berühmten " $E = mc^2$ "), die auch Schwerkraft erzeugt. Es läßt sich zeigen: Werden einige Sonnenmassen auf weniger als 10 Kilometer Radius zusammengedrückt, so wird der Beitrag des entstehenden Drucks zur Schwerkraft so groß, daß sich dieser Druck selbst überwältigt. Es gibt kein Halten mehr. Was dann geschieht, zeigt uns, wie leichtsinnig wir früher mit Begriffen wie Zeit und Ewigkeit umgegangen sind:

Von außen gesehen würde man nämlich einen solchen Zusammenbruch folgendermaßen beschreiben: Die Oberfläche des Sterns nähert sich einem kritischen Radius mit dem Wert "drei Kilometer mal der Masse in Sonnenmassen". Zwar wird der Stern dabei schnell unsichtbar, weil aus dem starken Schwerfeld nicht einmal mehr das Licht entweichen kann, doch nähert er sich diesem kritischen Radius nur "asymptotisch", das heißt in unendlich langer Zeit. Von außen beurteilt steigt also die Materiedichte bald nicht mehr an. Sie ist gar nicht sehr viel größer als in einem Neutronenstern. Nur kommt kein Licht mehr von diesem "Schwarzen Loch", das sich nach außen allein durch sein Schwerfeld bemerkbar macht.

Wie anders aber sähe das aus, wenn jemand auf der Oberfläche des zusammenstürzenden Sterns sitzen könnte: Er würde innerhalb weniger Millisekunden – praktisch mit der Geschwindigkeit des freien Falls, die dort fast Lichtgeschwindigkeit ist – mit der gesamten Masse ins Zentrum rasen und dort in einen Zustand nahe unendlicher Dichte geraten, den die Physik noch nicht zuverlässig beschreiben kann. Er wäre dem Zustand in der Geburt des Universums ähnlich – jedoch mit umgekehrter Zeitrichtung. Im Rahmen der

gewohnten Theorie wäre hier die Zeit des mitfallenden Beobachters zuende.

Einsteins "spezielle" Relativitätstheorie lehrte uns, daß die Zeitdauer zwischen zwei Ereignissen "relativ ist". Wenn für einen Beobachter ein Vorgang eine Sekunde dauert, so mag derselbe Vorgang für einen anderen zwei Sekunden oder gar eine Stunde dauern. An das hiermit zusammenhängende "Zwillingsparadoxon" haben sich die Physiker gewöhnen müssen: Verläßt einer von zwei Zwillingen die Erde und nähert auf einer jahrelangen Rundreise durch den Weltraum die

Lichtgeschwindigkeit an, so wird er bei der Rückkehr seinen Bruder älter vorfinden als sich selbst – oder gar seit Jahrhunderten begraben. Die Qual für unser Vorstellungsvermögen wird nun durch das Phänomen des Schwarzen Loches – beschrieben durch die "Allgemeine Relativitätstheorie", Einsteins Theorie der Schwerkraft – noch vergrößert: Was für den einen schnell vorbei ist, mag für den anderen sogar *unendlich* lange dauern. Gewissermaßen sind nun selbst Vergänglichkeit und Ewigkeit "relativ geworden".

2. Kasten:

“Galaxien und Quasare”

Es kommen viele verschiedene Arten von Galaxien vor. Die unsere und der Andromedanebel gehören zu den *Spiralgalaxien*, unter denen man freilich wiederum eine ganze Reihe von Typen unterscheiden kann. Vor allem in den dichtesten Haufen überwiegen dagegen *elliptische Galaxien*, die keine Scheibe und daher auch kaum Gas und Staub besitzen, sondern kugel- oder eiförmige Ansammlungen von Sternen sind. Möglicherweise stammen sie aus der Verschmelzung mehrerer Spiralgalaxien.

Im Zentrum mancher Galaxien, auch der unseren, sitzen Schwarze Löcher, in denen Millionen von Sonnenmassen so dicht zusammengefallen sind, daß gegen ihre Anziehungskraft nicht einmal Licht herauskann. Sie machen sich also nur durch ihre Schwerkraft bemerkbar – falls nicht gerade Gase hineinströmen, die sich dabei erhitzen und vor dem endgültigen Verschlungenwerden noch gewaltige Energiemengen abstrahlen können. Die hellsten der dann aufleuchtenden “Quasare” (oder “quasistellare Objekte”, die uns wie die Sterne als Punkte erscheinen), sind noch auf größere Entfernung sichtbar als die hellsten Galaxien.

Auch nach dem Abklingen solcher katastrophaler Vorgänge im Zentrum einer “aktiven Galaxie” können Gase und Teilchenströme, die bis zu Millionen Lichtjahre weit hinausgeschleudert wurden, noch lange Zeit intensive Radiostrahlung aussenden.

Solche “Radiogalaxien” sind oft “elliptische Riesen” im Zentrum dichter Galaxienhaufen. Auch M87 im Zentrum des nahen Virgo-Haufens gehört dazu, und mit dem Hubble-Space-Telescope wurde jüngst in der Mitte dieser Galaxie ein schwarzes Loch nachgewiesen (– dank der Schwerkraftwirkung auf eine Massenscheibe, die es umkreist). Dort entspringt auch der leuchtende “Jet” von M87, der lange unerklärbar geblieben war.

Wir sind heute sicher, daß vor der Galaxienentstehung und Sternbildung die “normale Materie” aus einem fast reinen Gemisch von drei Vierteln Wasserstoff und einem Viertel Helium bestand. An zufällig etwas dichteren Stellen konnte das Gas unter der eigenen Schwerkraft zu schrumpfen beginnen. Durch gegenseitige Störungen geraten die Gaswolken auch in Drehung, die sich beim Schrumpfen verstärkt. Es kommt zur Scheibenbildung und Entwicklung von Spiralgalaxien – also den Bedingungen, unter denen auch heute Sterne entstehen. Es gibt allerdings auch Hinweise, daß vielleicht schon zu Beginn dieser Prozesse extrem massereiche Sterne entstanden sein könnten, die rasch ihr ganzes Leben durchliefen und so bereits vor “Fertigstellung” einer Galaxie die zunächst fast reine “Ur Mischung” mit schwereren chemischen Elementen anreicherten.

3. Kasten:

“Drei-Grad-Hintergrundstrahlung”

Je näher die Beobachtungen an den Horizont heranreichen, einen um so dichter zusammengedrängten Zustand müssen wir vorfinden. Aber der “Inhalt” der Welt war auch früher gleichmäßig verteilt – vor Beginn der “Klumpenbildung”, als es noch keine Galaxien und Haufen gab, sogar viel gleichmäßiger als heute. Das können wir seit einigen Jahrzehnten auch direkt beobachten – in Form der 1968 entdeckten “Drei-Grad-Strahlung”. Als der Inhalt der Welt noch dichter zusammengedrängt war, war er nämlich auch heißer – und dazu gehört eine gleichmäßig verteilte “Wärmestrahlung”. Stellen wir uns den Moment in der Vergangenheit vor, in dem alle Abstände halb so groß, die Materiedichte also achtmal so groß war wie heute. Auch die Wellenlänge der Wärmestrahlung war dann damals halb so groß, und entsprechend hatte jedes ihrer

“Strahlungsquanten” doppelt so hohe Energie. Das heißt: Damals war die Temperatur doppelt so hoch wie heute, und die Energiedichte der Strahlung nicht nur achtmal (wie bei der Materie), sondern sogar sechzehnmal größer als heute.

Gehen wir noch weiter hinaus und in der Zeit zurück – etwa zur Rotverschiebung “ $z = 1000$ ” (oder, genauer, $z = 999$, denn die Zahl $1+z$ gibt an, wievielmals enger damals alles zusammen war). Alle Abstände waren damals also tausendmal kleiner als heute, die Materiedichte eine Milliarde mal (tausend hoch drei!), und die Energiedichte der Strahlung sogar eine Billion (tausend hoch vier!) mal höher als heute. Diese heute so dünn gewordene Strahlung sehen wir noch! Sie erfüllt gleichmäßig den ganzen Raum und hat eine Temperatur von knapp 3 Grad über dem absoluten Nullpunkt von minus 273 Grad Celsius. Wir

“sehen” sie (mit hochempfindlichen Empfangsgeräten für Millimeterwellen) aus allen Himmelsrichtungen gleichmäßig zu uns kommen.

So exakt ist diese Strahlung inzwischen vermessen, daß wir aus den winzigen Temperaturunterschieden in verschiedenen Himmelsrichtungen sogar angeben können, wie schnell und in welcher Richtung sich die Erde gegenüber dem gleichmäßigen Strahlungsfeld bewegt. “Von vorn” kommende Strahlung erscheint ja wärmer, “von hinten” kommende kälter. Die Geschwindigkeit der Sonne ums Milchstraßenzentrum und die unserer Milchstraße gegenüber dem Virgo-Haufen machen ein paar hundert Kilometer pro Sekunde aus, also viel mehr als die 30 km/sek auf der Jahresbahn um die Sonne.

Die Entfernung, aus der diese Strahlung kommt – d.h. die Epoche der Weltgeschichte, in der sie zuletzt an Materie gestreut wurde – stellt unseren tatsächlichen “Horizont” im Kosmos dar. Vorher herrschte die Strahlung, weil sie auf die freien Ladungen so starke Kräfte ausübte, daß die Materie durch sie gleichverteilt blieb und keine Klumpen bilden konnte. Als aber die Temperatur auf einige tausend Grad gesunken war, konnten sich Protonen und Elektronen zu Wasserstoffatomen zusammenschließen. Die Strahlung war zu kühl, (energiearm) geworden, um sie wieder zu trennen (also den Wasserstoff zu “ionisieren”).

Nach dieser “Rekombination” des Wasserstoffs war also das Gas so gut von der Strahlung “entkoppelt”, daß die geringen vorhandenen Dichteschwankungen sich durch die Schwerkraft verstärken konnten. So konnte es zur Klumpenbildung, also zur Entstehung der Galaxien, der Haufen, und der Sterne kommen. Die Komplexität dieser Vorgänge – und die unbekanntenen Eigenschaften der “dunklen Materie” – erschweren ihre theoretische Behandlung. Der Beginn dieser Strukturbildung ist eines der Hauptthemen der modernen Kosmologie.

Vor wenigen Jahren konnte die Meßgenauigkeit für die Drei-Grad-Strahlung so sehr gesteigert werden, daß nun in verschiedenen Himmelsrichtungen winzige Temperaturunterschiede festgestellt werden konnten (und zwar Schwankungen um weniger als ein hunderttausendstel!) Hier werden offenbar bereits die “Keime” für die beginnende Klumpenbildung sichtbar. Die statistischen Eigenschaften dieser Schwankungen enthalten viel Information über den frühen Kosmos, und man hofft, schon in den nächsten 10 Jahren (unter anderem mit dem geplanten Forschungssatelliten “Planck”) hieraus die Hubble-Konstante und die Krümmungseigenschaften des Weltraums, also auch das genaue Weltalter, mit einer Genauigkeit von etwa 10 Prozent bestimmen zu können.

4. Kasten:

“Anfang und Ende”

Eine konstante Expansionsgeschwindigkeit von 20 Kilometer pro Sekunde pro Million Lichtjahre würde bedeuten, daß alle räumlichen Abstände vor 15 Milliarden Jahren Null waren. Wenn aber der Ausdehnung ständig die Schwerkraft, also die gegenseitige Anziehung aller Massen, entgegengewirkt hat, so müßte die Geschwindigkeit stetig abgenommen haben. Dann wäre also das wirkliche Weltalter kleiner als das mit konstanter Geschwindigkeit abgeschätzte. Weil wir aber weder die Menge an schwerer Materie im Weltraum noch die Hubble-Konstante genau genug kennen, ist das Alter noch unsicher.

Und wie geht’s nun mit dem Weltall in Zukunft weiter? Das ist wie bei einem hochgeworfenen Stein: Hat die Schwerkraft den Schwung aufgezehrt, so kommt er einen Moment zur Ruhe, fällt wieder hinunter und trifft mit derselben Geschwindigkeit unten auf, mit der er hochgeworfen wurde. Es sei denn, man hat ihm so viel Schwung mitgegeben, daß er die Erde verläßt wie eine Weltraumrakete. Die muß bekanntlich eine kritische “Fluchtgeschwindigkeit” von 11,2 Kilometer pro Sekunde überschreiten, um nicht wieder zurückzufallen, sondern ins Unendliche aufzubrechen.

Ebenso sollte es mit unserem Universum sein (– und die allgemeine Relativitätstheorie liefert sogar praktisch dasselbe mathe-

matische Gesetz, wie in diesem simplen Beispiel). Genügt der Anfangsschwung nicht, um die Schwerkraft zu überwinden, so erreicht die Welt eine maximale Ausdehnung und fällt dann wieder in sich selbst zurück, schneller und schneller, bis alles wieder unermesslich dicht zusammen ist – im “Endknall” – einem Zustand ähnlich dem Urknall, jedoch mit umgekehrter Zeitrichtung! Überschreitet der Schwung jedoch einen gewissen kritischen Wert, so hält die Expansion des Universums für immer an. Alles entfernt sich dann auf ewig immer weiter voneinander, und der materielle Inhalt wird dabei unendlich verdünnt.

Wie ist das nun in unserer Welt? Reicht der Schwung, oder nicht? Das wissen wir nicht – denn wir kennen weder die heutige Ausdehnungsgeschwindigkeit noch die ihr entgegenwirkende Schwerkraft gut genug. Kein Wunder, wenn doch der überwiegende Teil des “Weltinhalts” – die “dunkle Materie” völlig unbekannt ist. Allerdings besteht einige Aussicht, daß im Lauf der nächsten beiden Jahrzehnte auch diese Frage beantwortet wird.

Ob die Welt künftig wieder zusammenfällt oder auf ewig weiter expandiert, ist aber merkwürdigerweise gar nicht wichtig, wenn wir nicht über die nächsten paar Milliarden Jahre unserer Zukunft hinausdenken wollen. Weil wir noch nicht sehr lange

“unterwegs” sind, macht das nämlich für die Beobachtungen innerhalb unseres heutigen Horizonts (und andere sind uns ja unmöglich!) gar keinen wesentlichen Unterschied – obwohl sogar die Raumstruktur im Großen in beiden Fällen prinzipiell ganz verschieden sein müßte. Für die Modelle eines einheitlichen *Universums* erzwingt nämlich ein eigenartiger “mathematischer Zufall” der Relativitätstheorie, daß eine zeitlich endliche Welt auch räumlich endlich sein muß. Der dreidimensionale Raum muß dann gleichmäßig in sich gekrümmt sein (– was sich Nicht-Mathematiker nur für eine zweidimensionale Fläche, nämlich die Kugeloberfläche, vorstellen können). Und wenn die Welt in unendliche Zukunft auseinanderflöge, müßte auch der dreidimensionale Raum unendlich sein – allerdings ebenfalls gleichmäßig in sich gekrümmt (jedoch “negativ”, analog einer zweidimensionalen Sattelfläche).

Nur für den Grenzfall, daß der Schwung genau den kritischen Wert hätte (entsprechend einem Stein, der “das Unendliche gerade mit Geschwindigkeit Null erreichte”), ergäbe sich der gewohnte dreidimensionale “euklidische” Raum unserer Vorstellungswelt, der nicht in sich gekrümmt, aber unendlich ist (– wie im zweidimensionalen Fall die gewöhnliche Ebene. Letztere wäre ja, wenn man auf ihr lebte und nicht unendlich weit schauen oder kriechen könnte, von einer sehr großen Kugel- oder Sattelfläche nicht unterscheidbar. Ebenso ergeht es uns mit dem dreidimensionalen Raum, wenn unsere durchs Weltalter beschränkte Sichtweite klein gegenüber dem Krümmungsmaß ist. Könnten wir für eine große Entfernung (etwa die der fernsten Galaxien im *Hubble deep field*) das Verhältnis zwischen Umfang und Radius des riesigen Kreises um uns selbst als Mittelpunkt ausmessen (– oder das Verhältnis zwischen “Himmelsfläche” und Abstandsquadrat, oder zwischen dem entsprechenden Kugelinhalt und der dritten Potenz der Entfernung –), dann wüßten wir, ob unsere Welt “flach oder krumm” ist. Ohne Krümmung kommt bekanntlich

beim Kreis 2δ heraus, bei der Fläche 4δ und beim Kugelinhalt $4\delta/3$ – mit Krümmung aber mehr oder weniger, je nach Krümmungstyp ... Aber wie messen wir Entfernungen oder Rauminhalte, wenn “dort draußen” doch z.B. die Galaxien eben erst entstanden und nicht als bekannter Maßstab dienen können?

Immerhin ist heute die Gleichmäßigkeit der Welt im Großen (und damit die Idee eines “Universums” und einer unabhängig vom Beobachter definierbaren Weltzeit und Weltgeschichte) durch die Drei-Grad-Hintergrundstrahlung verblüffend gut gesichert. Weil die Kugeloberfläche um uns herum, von der diese Strahlung stammt, so weit entfernt liegt – nämlich nur etwa hunderttausend Lichtjahre diesseits unseres Zeithorizonts – besteht nun berechtigte Hoffnung, durch verfeinertes Studium dieser Strahlung auch noch die Krümmungseigenschaften herausfinden zu können. Damit würde auch die Frage nach Endlichkeit oder Unendlichkeit der Zukunft entschieden.

Auch eine andere Frage, die seit Jahrzehnten Kosmologen und theoretische Physiker fasziniert, findet dann vielleicht eine Antwort: Ist etwa auch der leere Raum, das “Vakuum”, Quelle einer Art von Schwerkraft? Diese müßte dann (in Form der sogenannten “kosmologischen Konstanten” in Einsteins Gleichungen) auch die Expansion und den Zusammenhang zwischen zeitlicher und räumlicher Struktur des Universums beeinflussen.

Auch hier wird deutlich, wie sehr die Astronomie und die Suche nach fundamentalen Gesetzen der theoretischen Physik sich einander genähert haben. Die einen gingen immer weiter hinaus in den Raum, zu immer größeren Strukturen – die anderen zu immer winzigeren, immer kurzlebigeren Teilchen, ja zum “Vakuum”. Und nun begegnen sich beide – im Anfang unseres Universums.