Günther Hasinger

Kosmologische Evolution

Ich möchte Ihnen ganz kurz die Elemente aufzeigen aus dem Vortrag, den ich bereits im „Salon Sophie Charlotte" gehalten habe, nämlich wie die Evolution in einen kosmologischen Zusammenhang gebracht werden kann. Wir wissen ja, dass der Himmel sich verändert, aber die Frage ist: Kann man hier wirklich von einer „Evolution" sprechen im Sinne von Mutation und Selektion? Es stellt sich heraus, dass unsere Existenz auf einer riesigen Reihe von sehr unwahrscheinlichen Zufällen aufgebaut ist, die man möglicherweise auch im Kontext einer Selektion und eines „survival of the fittest" betrachten kann. Und das möchte ich Ihnen ganz kurz mit wenigen Bildern vermitteln.

Ich beginne mit dem kosmologischen Zeitplan (Abb. 1). Wir wissen, dass es vor 13,7 Milliarden Jahren den Urknall gegeben hat. Wir stehen heute auf unserer Erde und schauen mit den Teleskopen in den Weltraum hinaus und damit schauen wir aber auch gleichzeitig in der Zeit zurück. Und deswegen können wir das wie eine Art Zeitmaschine betrachten.

Wir können sehen, wie die Galaxien sich im Laufe der Zeit verändern. Wir können sozusagen richtig in das tiefe Universum „hineinbohren". Und wenn wir mithilfe des Hubble Space Telescops das tiefste Bild des Universums, das je aufgenommen wurde, betrachten, sehen wir dass der Himmel voller Galaxien ist (Abb. 2).

Jedes einzelne Objekt hier ist eine Galaxie. Und diese Galaxien schauen völlig anders aus als die heutigen, wie zum Beispiel unsere eigene Milchstraße (Abb. 3). Sie sind beispielsweise ganz zerfetzt, sie sind viel kleiner, sie sind direkt in Entwicklung begriffen. Wenn wir auf eine Galaxie wie unsere eigene schauen und diese wunderschönen Spiralarme sehen, können wir aufgrund der Betrachtung sagen: Die Galaxien entwickeln sich, der Weltraum entwickelt sich. Man kann das Ganze auch in Form von kosmologischen Simulationen in den Computer eingeben und nachrechnen lassen, wie sich das Universum entwickelt. Man geht davon aus, dass sich das Universum aus einer extrem homogenen Urphase im wesentlichen durch die Entwicklung und Wirkung der Schwerkraft von selbst in Strukturen verwandelt hat.

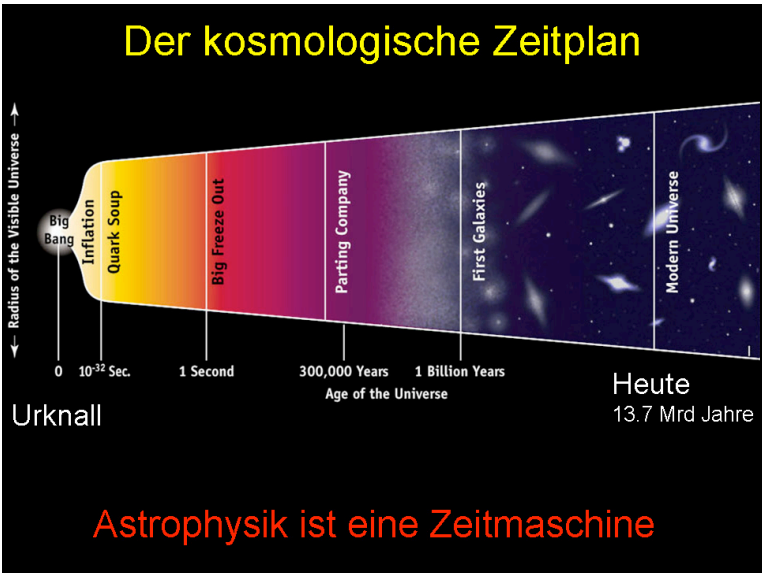

Abbildung 1
Der kosmologische Zeitplan

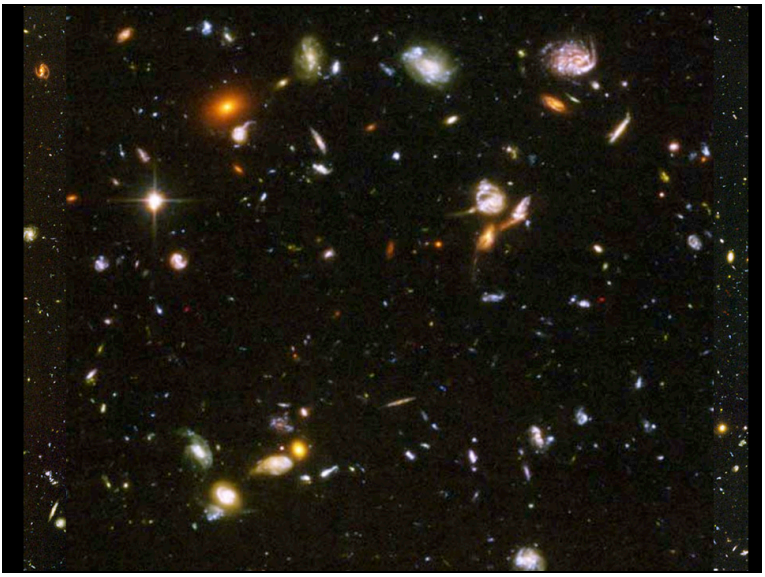

Abbildung 2
Galaxien (Hubble Space Telescope, NASA)

Abbildung 3
Galaxie (Very Large Telescope, ESO)

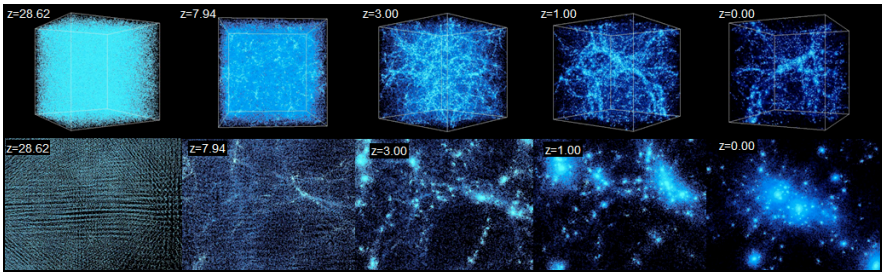

Abbildung 4
Zeitliche Sequenz der Evolution (© Gottlöber, Kravstov, Klypin)

Ich demonstriere dies an einem computersimulierten Würfel, in dem, wie von Geisterhand, aus einem völlig homogen verteilten Gemisch langsam diese großen kosmologischen Strukturen werden. Jeder einzelne Punkt auf diesem Bild ist dann letztendlich eine Milchstraße, die sich langsam in großräumigen, filamentartigen Strukturen ordnet (Abb. 4).

Man kann die Evolution im Universum nicht nur beobachten, man kann sie auch am Computer simulieren und verstehen. Wir sehen also eine Entwicklung. Aber unsere

Debatte befasst sich ja mit der Frage, wer die Deutungshoheit über die Evolution hat. Eine Entwicklung alleine wäre noch keine „Evolution". Aber gibt es auch so etwas wie Mutation und Selektion, also ein „survival of the fittest" in einem kosmologischen Maßstab? Meiner Meinung nach ist dies sehr wahrscheinlich, die Erde stellt sich immer mehr als ein außergewöhnlicher Ort im Universum heraus, dessen Existenz – und somit auch unsere Existenz – auf einer sehr, sehr großen Reihe von Zufällen aufbaut. Ich möchte Ihnen zumindest einen Fall zeigen, wo es tatsächlich eine Selektion gegeben hat, wo also die Erde verändert wurde und sich hinterher als besseres System für die Entwicklung des Lebens herausgestellt hat. Wir bezeichnen es als das „schwache anthropische Prinzip", dass unsere Existenz auf einer Reihe von Auswahleffekten basiert. Ich habe insgesamt acht „Kosmische Zufälle" aufgereiht – zum Beispiel erstens die Tatsache, dass unser Universum flach ist. Das bedeutet also, dass die mittlere Energie etwa 0 ist, und das bedeutet wiederum, dass die Energiedichte von Dunkler Energie und Dunkler Materie in etwa gleich sind. Die quantenmechanischen Vorhersagen liegen bei einer Diskrepanz um einen Faktor 10^{120}. Das ist etwas, das wir überhaupt noch nicht verstehen. Es könnte durchaus sein, dass die Grundvoraussetzung für die Existenz unseres Universums zufällig aus einer riesigen Mannigfaltigkeit hervorgegangen ist. Das heißt, dass eine Landschaft von verschiedenen Möglichkeiten existieren würde und dass unser Universum sozusagen selbst schon aus einer Mannigfaltigkeit selektiert wurde. – Wenn zweitens das Universum expandiert und explosionsartig die Inflation passiert, werden zunächst sämtliche Teilchen aus dem Vakuum herausgerissen, ungefähr in gleicher Häufigkeit. Diese Teilchen vernichten sich zum großen Teil hinterher wieder, aber die Quarks, die in unseren Protonen und Neutronen stecken, sind in einer Art „Unfall der Geschichte" übrig geblieben 1 aus 1 Milliarde Quarks ist der Vernichtung entronnen, um unsere normale Materie zu formen. Wir wissen noch nicht warum – die Physik ist da noch nicht weit genug – aber das ist ein sozusagen fein abgestimmter Zufall, der überhaupt dazu führt, dass es Materie gibt. – Drittens: Das Universum hat sich dann abgekühlt, und im Prinzip hätte es sich schnell genug abkühlen können, so dass gar nicht genug Zeit existieren würde, um weitere chemische oder nukleare Prozesse zu erzeugen. Aber zufällig ist es so, dass das Universum gerade 3 Minuten gebraucht hat, um sämtliche Neutronen, die dort rumschwirren, in die Heliumkerne einzubauen. Wenn diese Neutronen frei herumschwirren, zerfallen sie nach 11 Minuten. Wenn das Universum also etwas länger gebraucht hätte, wären die Neutronen alle weg gewesen und es hätte die Materie nicht gegeben. Auch diese Feinabstimmung zwischen schwacher Wechselwirkung und der Dichte, die dazu geführt hat, dass überhaupt Elemente existieren, ist Zufall. – Viertens ein Riesenzufall, der auch

nach wie vor nicht verstanden ist. Dass es überhaupt Kohlenstoff gibt, verdanken wir einer extrem feinen Resonanzlinie, die etwa 1% breit ist, und die praktisch genau die richtige Energie hat, um eine Kombination aus Helium und Beryllium so lange überleben zu lassen, dass im Zentrum Roter Riesensterne Kohlenstoff daraus entsteht. Hier kommen wir in den Bereich der Nuklearphysik, und der Britische Astronom Fred Hoyle hat als erster aus einem anthropischen Prinzip heraus argumentiert und gesagt: „Kohlenstoff muss eine derartige Resonanz haben, ansonsten würde es uns nicht geben." Diese extrem fein abgestimmte Resonanz wurde später bestätigt, und für Willy Fowler gab es auch den Nobelpreis dafür. – Der fünfte Kosmische Zufall besteht darin, dass auch der Sauerstoff eine Resonanz hat und dass diese beiden Resonanzen extrem nahe beieinander liegen, sich aber Gott sei Dank nicht überlappen. Wenn sich die Sauerstoff-Resonanz mit der des Kohlenstoffs überlappen würde, wären alle Kohlenstoffatome sofort in Sauerstoff verwandelt worden, dann gäbe es keinen Kohlenstoff und damit auch kein Leben. Auch das ist ein extrem großer Zufall. – Schließlich hat sich herausgestellt, dass die Elemente, die in den Sternen erzeugt werden, durch Supernova-Explosionen in dem Weltraum verteilt werden und dann die Entwicklung weiterer schwerer Elemente erlauben. Die Sonne ist schon ein Stern der dritten Generation und sämtliche schweren Elemente, aus denen wir bestehen, sind schon durch den Bauch von mehreren anderen Sternen gegangen. Nun stellt sich heraus, dass diese Supernova-Explosionen durch die schwache Wechselwirkung der Neutrinos verursacht werden. Wenn man versucht, ein Neutrino abzublocken, braucht man ungefähr ein Lichtjahr an Bleibarren, um dieses Neutrino zu stoppen. Und diese schwache Wechselwirkung in den Sternen ist genauso fein tariert, dass die Dichte der Materie beim Kollaps im Inneren eines roten Riesen gerade ausreicht, dass die Neutrinos den Schub erzeugen können, um diese Explosion auszulösen. Auch hier findet wieder extreme Feinabstimmung in der Physik statt, die eigentlich keine Apriori-Erklärung hat. Astrophysikalisch betrachtet, dauerte es so lange, bis die Sonne gebildet wurde, da es eine ganze Zeit lang dauerte, bis die anderen Sterne genügend schwere Elemente erzeugt haben, damit sich dann ein Stein bilden konnte. Die Planeten, auf denen wir stehen können, diese terrestrischen Planeten, entstehen durch eine Zusammenballung von Staubflusen und Wollmäusen, und diese schweren Elemente mussten erstmal gebildet werden, deswegen dauerte es so lang. Und die Sonne sitzt genau an der Stelle in der Milchstraße, wo genügend schwere Elemente existieren, damit sie überhaupt entstehen konnte. Weiter draußen beispielsweise gibt es noch weniger Elemente, und weiter drinnen im Zentrum der Galaxie gibt es auch nicht genügend solcher schweren Elemente.

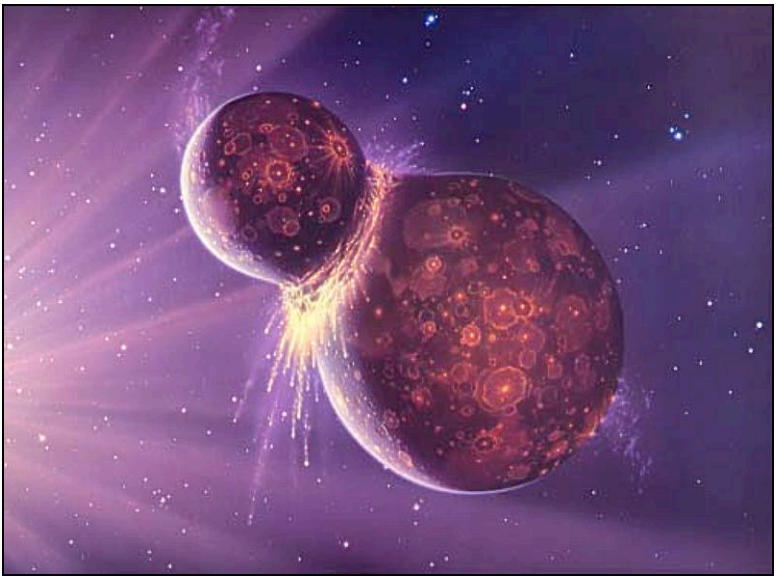

Abbildung 5
Die Entstehung des Mondes (Image Credit: Joe Tucciarone)

Zum Schluss möchte ich Ihnen noch zeigen, dass der Mond eine ganz wichtige Rolle für die Existenz des Lebens spielt. Der Mond ist nach den Verständnissen der Astrophysik durch eine Kollision zwischen einem großen anderen Himmelskörper und der Erde entstanden. Dieser andere Himmelskörper hat dann aus der Erde Material herausgeschlagen, aus dem sich der Mond gebildet hat. Der Mond wiederum ist heute ein ganz wichtiges Element, weil er dazu führt, dass die Erdachse stabil ist. Bei den anderen Planeten wackelt die Rotationsachse wie ein Kuhschwanz, während der Mond die Erdachse so stabilisiert, dass sie über viele Milliarden Jahre stabil ist. Dass dieser Planet dann genau an der Stelle im Sonnensystem steht, wo er auch Leben erlaubt, ist im galaktischen Maßstab ein sehr, sehr großer Zufall. Und dieses virulente Ereignis der Mondentstehung ist vermutlich auch dafür verantwortlich, dass es auf der Erde die Plattentektonik gibt, die für die Existenz des Lebenssystems Erde jedenfalls sehr, sehr wichtig ist (Abb. 5).

Das Fazit, das ich aus dieser kurzen Zusammenfassung ziehen möchte, lautet: Darwins Evolution von Mutation und Selektion ist die Fortsetzung der kosmischen Entwicklung mit biologischen Mitteln. Man kann also sagen, dass unsere Existenz auf einem „survival of the fittest" basiert und zwar in Multi-versalem und Galaktischem Maßstab.

Abbildung 6
Kalender des Universums

Zum Abschluss möchte ich diese Ereignisse noch einmal im „Kalender des Universums" Revue passieren lassen (Abb. 6).

In diesem Kalender ist das Leben des Universums schematisch als Jahr eingeteilt: also am 1. Januar um 0 Uhr 00 ist der Urknall, da entstehen die leichten Elemente Helium, Wasserstoff und so weiter. Die Entkoppelung von Strahlung und Materie – darüber habe ich jetzt nicht gesprochen – findet 14 Minuten später statt. Am 5. Januar entstehen die ersten Sterne, die anfangen, die Elemente in ihren Mägen zu erzeugen. Der am weitesten entfernte Stern, den wir kennen, hat sein Licht am 16. Januar ausgesandt – wir können sehr weit zurückschauen in die kosmische Geschichte. Am 9. September, also gewissermaßen im Herbst des Universums, entstehen dann Sonne und Erde und das liegt daran, dass die Erde für ihre Entstehung sehr viele schwere Elemente braucht. Wir wissen heute, dass Sterne, die nicht genügend schwere Elemente haben, auch keine Planeten haben. Am 28. September findet der Übergang zur biologischen Evolution statt. Was in diesem Maßstab frappiert, ist, dass es 9 Monate gedauert hat, bis die Erde entstanden

ist, und nur 3 Wochen, bis die DNA dort existiert. Leben ist in diesem Maßstab extrem schnell entstanden. Die Erde wurde dann von Einzellern, von Blaualgen für eine lange Zeit dominiert, und erst Mitte Dezember, also drei Monaten später, sind aus diesen Blaualgen nachweislich die wesentlich umfangreicheren Strukturen geworden: also eine Art Urknall der Evolution im Kambrium. Rechtzeitig zu Weihnachten waren auch die Bäume fertig, der Wald, die Fische, die Reptilien. Die Säugetiere sind am 25. Dezember entstanden. Die Saurier sind am 28. Dezember ausgestorben. Und der erste Vorfahr des Menschen hat am Sylvesterabend zur Tagesschau die Bühne betreten. 6 Minuten vor Mitternacht kommt der Geist auf die Welt, das heißt also der Homo Sapiens Sapiens, und damals lebte er aber noch zusammen mit dem Neandertaler, der dann etwa 1 Minute vor Mitternacht ausgestorben ist. Unsere moderne Zeitrechnung entspricht etwa 4,6 Sekunden in diesem Maßstab, und unsere eigene Geschichte, unser eigenes Leben macht 0,23 Sekunden aus – gewissermaßen ein Wimpernschlag in dieser kosmischen Geschichte.