

Zeitschrift: Orion : Zeitschrift der Schweizerischen Astronomischen Gesellschaft
Herausgeber: Schweizerische Astronomische Gesellschaft
Band: 52 (1994)
Heft: 265

Artikel: Das anthropische Prinzip oder der Platz des Menschen im Universum
Autor: North, P.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-898821>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 29.04.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>



Das anthropische Prinzip oder der Platz des Menschen im Universum

P. NORTH¹

1. Einleitung

Die Astronomie ist eine vielseitige und faszinierende Wissenschaft; der Amateur freut sich vor allem über die ästhetische Philosophie und ihrem fundamentalen Problem, wo via Kosmologie die Frage nach dem Ursprung des Universums und folglich des Menschen implizite gestellt wird. Das Thema verdient unsere Aufmerksamkeit, es ist relativ jung, wird erst in den letzten 20 Jahren von einer Anzahl Kosmologen diskutiert, und rührt an die alte Frage nach dem Platz und der Stellung des Menschen im Universum. Wir sprechen vom «anthropischen Prinzip» (griech. «anthropos», der Mensch; nicht zu verwechseln mit Entropie, was ein thermodynamischer Begriff ist); dieses kann mehrere Formen annehmen; doch lässt es sich kurz wie folgt charakterisieren:

«Die Eigenschaften des Universums sind nicht von beliebiger Art oder zufällig, sondern die physikalischen Gesetze und ihre Konstanten sind so angelegt, dass sie mit unserer Existenz harmonieren, d.h. kompatibel sind.»

Man unterscheidet oft zwei Formen des anthropischen Prinzips: die sog. «schwache» Form, die sich mit der Feststellung begnügt, dass die gegenwärtigen Eigenschaften des Universums mit unserer Existenz als Beobachter vereinbar sind, und die «starke» Form, die behauptet, dass die Eigenschaften des Universums im Hinblick auf die menschliche Existenz und mit dem Ziel ihrer Evolution von Anfang an genau geregelt waren.

Die starke Form des anthropischen Prinzips hat dementsprechend eine deutlich finalistische Note (vergl. Finale, Endspiel), und unter diesem Blickwinkel erscheint die menschliche Existenz nicht als zufällig, sondern im Gegenteil als wesentlich, ja man könnte sogar sagen, dass sie der eigentliche Grund für das Vorhandensein des Universums ist.

In seinem Buch «Die Geburt des Universums» entwirft der bekannte chinesische Kosmolog Fang Lizhi (1990) ein Modell des anthropischen Gedankens, das zur üblichen wissenschaftlichen Auffassung in Widerspruch steht, und das er (vielleicht ein wenig missbräuchlich) «mechanistisch» nennt. Wenden wir uns doch der Frage zu: «Warum ist das Universum so gross?» Die «mechanistische» Antwort wird sein:

- Das Universum hat mit dem Big Bang begonnen.
- Die typische Ausdehnung des Universums muss von der Grössenordnung Lichtgeschwindigkeit mal Alter des Universums sein.
- Das Alter des Universums ist nach heutiger Vorstellung (Alter der ältesten Sterne etc.), mindestens von der Grössenordnung 10 Milliarden Jahre.
- Folglich ist seine typische Ausdehnung von der Grössenordnung 10 Milliarden Lichtjahre.

Die «anthropische» Antwort lautet dagegen eher:

- Hier geht die Frage vom Menschen aus.

- Der Mensch ist ein lebendes Wesen.
- Leben kann nicht existieren ohne Kohlenstoff.
- Kohlenstoff ist ein Produkt der Sterne.
- Die Nukleosynthese in den Sterne benötigt rund 10 Milliarden Jahre.
- Folglich muss das Universum eine Ausdehnung von $R = c \times 10^{10}$ Jahre = 10^{10} Lichtjahre haben.

Im folgenden werden wir kurz die Gedanken streifen, die sich der Mensch im Laufe der Zeit über seinen Platz im Universum gemacht hat. Dann besprechen wir den Aufbau eines fruchtbaren Universums, sowie die Frage der Finalität.

2. Kurze Historische Übersicht

Welche Vorstellungen hatte man im Laufe der Geschichte von der Stellung des Menschen im Universum? Die Antwort dürfte je nach Ort und Epoche sehr verschieden ausfallen. Allerdings findet man bereits im Altertum Ansichten, die den heutigen ähnlich sind.

2.1. Das Altertum

Die Hebräer hatten die Vorstellung von einem unermesslichen Universums, in dem der Mensch verloren und isoliert war. Von König David hören wir im Psalm 8 (Vers 4 und 5):

«Wenn ich schaue deine Himmel, das Werk deiner Finger, den Mond und die Sterne, die du hingesezt hast:
Was ist doch der Mensch, dass du seiner gedenkst,
und des Menschen Kind, dass du dich seiner annimmst?»

Die Unermesslichkeit des Universums beruhte damals nur auf intuitiver Vorstellung, heute ist sie messbar und auf eindrückliche Art bewiesen. Die Menschen waren sich ihrer Kleinheit im grossen Universum bewusst, aber die Offenbarung Gottes machte sie gleichzeitig zur Krone der Schöpfung.

Bei den Griechen und Römern kann man Demokrit, Epikur und vor allem Lucretius anführen. Letzterer bekundete in seinen Schriften De Rerum Natura eine mechanistische Vorstellung von der Welt. Für Lucretius leitet der Zufall die Evolution des Universums und beherrscht es auch beim Auftreten des Menschen auf der Erde. Er war der Jacques Monod des Altertums.

2.2. Das Mittelalter

Soweit es Europa betrifft, war die herrschende Meinung diejenige der Kirchenväter, und der Mensch wurde als Mittelpunkt der Schöpfung betrachtet, um den herum alles übrige angeordnet ist.

2.3. Die Renaissance

Diese Epoche ist offenkundig von der «Kopernikanischen Revolution» geprägt, die den Menschen gewissermassen aus dem Mittelpunkt vertreibt und gleichzeitig den Weg frei macht für Spekulationen über die Pluralität der Welten (inklusive bewohnte Welten), aber auch über die Bedeutungslosigkeit des Menschen. Der bekannteste Autor von Spekulationen über die

¹ Französische Fassung des Artikels in ORION Nr. 257 (Oktober 1993), Seiten 166 ff.



Unendlichkeit des Universums und über die Pluralität der Welten war Giordano Bruno, der übrigens seine kühne Philosophie mit dem Leben bezahlen musste.

2.4. Die Aufklärung

Im 17. Jh. nahm Cyrano de Bergerac den Atomismus von Lucretius und seiner Vorgänger wieder auf, sowie auch die Vorstellung von der zufälligen Entstehung des Menschen auf «gut Glück». Umgekehrt kennt man den berühmten Satz von Voltaire über das Universum, das er mit einer Uhr vergleicht und dahinter die Existenz eines Grossen Uhrmachers vermutet.

2.5. Die Gegenwart

Wie im Altertum stehen sich heute wieder zwei Meinungen gegenüber. Die eine sieht im Menschen die Krone der Schöpfung. Die andere sieht in ihm ein seltsames Zufallsprodukt, mit andern Worten ein banales, herumkrabbelndes, vergängliches Nebenprodukt des Universums.

Bis vor kurzem dominierte, wie mir scheint, die zweite Meinung, von der beispielsweise folgende Worte von Jean Rostand (1954) zeugen:

«Woher stammt der Mensch?... Zufall über Zufall, er ist das Resultat einer Reihe von «gut Glück» – Ereignissen, deren erstes und unwahrscheinlichstes die spontane Entstehung dieser seltsamen Kohlenstoffverbindungen ist, die sich zu Protoplasma vereinigten.»

3. Der Mensch und das Universum: Zufall oder Plan?

Wir stellen uns die Frage nach der Bedeutung der menschlichen Existenz, aber auch nach der des Universums. Ist die Existenz des Universums einem Zufall zu verdanken oder ist es im Gegenteil die Frucht einer transzendenten Absicht (eines Schöpfers, der nicht mit ihm identisch ist) oder vielleicht eines immanenten Planes, (das Universum als eine Art lebender, wissender Organismus verstanden)? Auf jeden Fall sind die beiden Fragen (nach der Existenz des Menschen und der Existenz des Universums) untrennbar miteinander verknüpft, denn der Mensch kann sich nicht von der Vorstellung lösen, Mitspieler im kosmischen Abenteuer zu sein. Und selbst, wenn er versucht, nur Zuschauer zu sein, bleibt er trotzdem in diesem Universum eingebettet, nach dessen Bedeutung er sich Fragen stellt.

Noch in den ersten beiden Dritteln unseres Jahrhunderts schien vielen die Bedeutungslosigkeit des Menschen und die Widersinnigkeit des Universums aus den wissenschaftlichen Erkenntnissen hervorzugehen. Zur Illustration seien drei zeitgenössische Wissenschaftler zitiert:

- «Je mehr uns das Universum verständlich scheint, desto mehr scheint es uns widersinnig» (Steven Weinberg, 1978).
- «Der Mensch ist verloren in der teilnahmslosen Unermesslichkeit des Universums, aus der er per Zufall aufgetaucht ist» (Jacques Monod, 1970).
- «Sein Erfolg (nämlich des Menschen) gibt Anlass, ihm ein wenig den Kopf zu verdrehen. Aber zur alsbaldigen Ernüchterung möge er sein lächerliches Reich unter die zahllosen Sterne setzen, die ihm das Teleskop enthüllt; wie könnte er sich noch wichtig nehmen, unter welchem Aspekt er sich auch immer betrachtet, nachdem er einmal einen Blick in die eisigen Abgründe geworfen hat, wo die Spiralnebel dahineilen!» (Jean Rostand, 1954).

Die von so angesehenen Persönlichkeiten (zwei davon sind Nobelpreisträger) verfochtenen Thesen von der Bedeutungslosigkeit des Menschen angesichts des unermesslichen Universums,

haben bestimmt viele Leute beeindruckt. Doch weshalb tragen sie solche Griesgrämigkeit zur Schau, die sich oft hinter einer Art Stoizismus verbirgt, und doch optimistisch sein will?

Es lassen sich zwei Gründe erkennen:

Der erste und wichtigste ist die Extrapolation des «Kopernikanischen Prinzips». Die Fortschritte der Astronomie und der Astrophysik haben uns gelehrt, dass nicht nur die Erde nicht in der Mitte des Universums liegt, sondern dass auch die Sonne, obwohl im Mittelpunkt unseres Planetensystems, weit davon entfernt ist, der Nabel der Welt zu sein: Wie Milliarden anderer Sterne bewegt sie sich auf einer eher peripheren Bahn der Milchstrasse, die ihrerseits nur eine Galaxie unter vielen andern ist. Die Erde befindet sich keineswegs in einer geographisch bevorzugten Lage innerhalb des Universums, umsomehr als dieses unendlich ist und keinen geographischen Mittelpunkt im eigentlichen Sinn hat. Dies nennt sich «Das Kopernikanische Prinzip», das sich in der Astrophysik als so wertvoll erwiesen hat. Nach Ansicht vieler nimmt der Mensch darin weder eine materielle oder geographische Vorzugsstellung ein, noch zieht er daraus in moralischer (bildlich gesprochen) oder geistiger Hinsicht Vorteile. Jean Rostand (1954, p. 108) nennt ihn ein «Wunder ohne Nutzen». Die Schöpfer dieser Ideen sind übrigens oft der Ansicht, dass das moralische und geistige Niveau weder Substanz noch Bedeutung habe.

Eine interessante und beachtenswerte Folgerung dieses Standpunktes ist die Vorstellung, dass wir im Universum nicht allein seien, vielmehr noch unzählige weitere extraterrestrische Zivilisationen auf andern Planetensystemen existieren. Etliche dürften weiter entwickelt sein als die unsrige und Botschaften aussenden, aus denen wir Anweisungen zum Überleben entziffern könnten.

Zu dem, was wir oben ordnungshalber rein methodisch beschrieben haben, lässt sich an die These von der Bedeutungslosigkeit beschreiben haben, lässt sich an die These von der Bedeutungslosigkeit des Menschen noch ein mehr moralischer Gedanke anknüpfen:

Wenn kein einziges objektives oder transzendentes Privileg den Menschen mit einer besonderen Würde auszeichnet, wäre dieser frei, die ihm genehme Würde zu ersinnen und zu bilden – oder nicht –, aber auch diejenige seiner Brüder für nichtig zu halten. Einem Gesetz des Dschungels wäre damit Tür und Tor geöffnet.

Deshalb ist es wichtig, diese folgenschwere Behauptung so gewissenhaft wie möglich zu prüfen, indem man die zeitgenössische Wissenschaft zu Rate zieht. In erster Linie sind die Konsequenzen der These von der Bedeutungslosigkeit des Menschen zu diskutieren.

3.1. Das Leben: alltäglich (universell) oder ausserordentlich (einmalig)?

Der Standpunkt der Astronomen (weniger derjenigen, die oben zu Wort kamen), ist sehr «optimistisch», d.h. zugunsten der Universalität des Lebens. Um die Anzahl extraterrestrischer «erwachsener» Zivilisationen (mit der Fähigkeit, per Radio zu kommunizieren) abzuschätzen, nehmen Frank Drake und seine Schüler an, dass auf jedem Planeten mit günstigen Bedingungen bezüglich Temperatur, Druck und chemischer Zusammensetzung Leben auftritt und vor allem automatisch sich zu einer intelligenten Form weiterentwickelt. Man erkennt darin wieder die Extrapolation des Kopernikanischen Prinzips.

Wie lautet aber die Meinung kompetenter Leute, d.h. der Biologen zu diesem Punkt? Sie ist anscheinend kontrovers, wenigstens was die automatische Evolution vom Bakterium



zum Menschen betrifft. Der Zoologe Ernst Mayr (1987), obgleich Anhänger der Evolutionslehre, wunderte sich sehr über den Glauben Donald Menzels (früher bekannter Astrophysiker) an einen derartigen Automatismus: «Er (Menzel) war überzeugt, dass, wenn es auf einem Planeten Leben gäbe, es sich mit der Zeit zu intelligentem Leben entwickeln würde».

Ernst Mayr (1991) äusserte sich zum Astronomen David Block über seine Ansichten wie folgt: «Die Frage nach der Wahrscheinlichkeit einer extraterrestrischen Intelligenz ist schwierig. Die Biologen halten dies fast einhellig für höchst unwahrscheinlich».

Das ist ein starkes, wenn auch nicht endgültiges Argument für die Einmaligkeit der Menschheit. Auch wenn die Einmaligkeit nicht a priori die Bedeutungslosigkeit ausschliesst (Meinung Jean Rostands), ist man gleichwohl berechtigt, ein einmaliges, bedeutendes Ereignis als Kostbarkeit anzusehen, was wohl dem entspricht, was im Geschäftsleben an der Tagesordnung ist.

3.2. Das Universum hat eine Geschichte

Es ist denkbar, dass die Menschheit im gegenwärtigen Universum einmalig ist, dass sie es aber in der Zeitspanne eines ewigen Universums nicht wäre. Ihre Singularität würde damit in Frage gestellt. Doch ist nach den Resultaten der Astrophysik der letzten 30 Jahre anzunehmen, dass das Universum eine Geschichte hat, nämlich in dem Sinne, dass es nicht immer so war, wie wir es heute sehen. Die berühmte Theorie vom Big Bang, die trotz einiger Gegnerschaft anscheinend gut begründet ist, sagt dies zwingend aus. Derzeit ist das anthropische Prinzip auf der zeitlichen Begrenzung des Universums breit abgestützt: Es würde von seiner Präzision verlieren, wenn das Universum ewig dauern würde.

Unter diesen Annahmen machen wir das «Gedankenexperiment» und setzen uns gleichsam an den Platz des Schöpfers und stellen uns folgende Frage:

3.3. Wie lautet das Rezept für ein fruchtbares Universum?

3.3.1. Raum und Präzision

Die Konstruktion eines Universums, das dem Leben Schutz bieten soll, erfordert in erster Linie einen adäquaten Raum. Von diesem hängt bekanntlich nicht nur die Expansionsrate des Universums ab, sondern auch die Möglichkeit, dass sich Sterne und Galaxien bilden und genügend lange leben können. Man unterscheidet zwei Extremfälle:

- Ein «hyperbolisches» (oder «offenes») Universum ist wenig dicht und dehnt sich rasch aus (und für immer). Demzufolge läuft die Materie, die darin enthalten ist, Gefahr, dass sie sich nie zu grösseren oder kleineren Strukturen verdichten kann (gemeint sind Galaxien und Sterne): zu schnell im Raum verstreut, könnten sich keine gravitationell wirksamen Kondensationskerne bilden, aus denen Himmelskörper entstehen. Es gäbe weder eine Wohnstätte für das Leben, noch Leben überhaupt, umso mehr, als ohne Sterne keine schweren Elemente gebildet würden.
- Ein «elliptisches» Universum (oder «geschlossenes») ist charakterisiert durch eine grosse Dichte der Materie. Der Reihe nach macht es eine Phase der Expansion, des Stillstands und der Kontraktion durch, um am Ende völlig in sich zusammenzustürzen. Hier wird die Gravitation erfolgreich Sterne bilden, wahrscheinlich so erfolgreich, dass daraus mehr schwarze Löcher als Sterne resultieren.

Ausserdem ist die Zeitspanne bis zur Kontraktion voraussichtlich zu kurz, um der Nukleosynthese zu erlauben, alle Etappen zu durchlaufen, und um dem Leben selbst die Entwicklung zu ermöglichen.

Die beste Lösung ist somit die vom «parabolischen» Universum, genau in der Mitte zwischen dem offenen und dem geschlossenen Universum: Es dehnt sich unbegrenzt aus, aber mit der kleinstmöglichen Expansionsrate, die eine Kontraktion zu verhindern vermag. So bilden sich die grossen Strukturen ohne sehr stark zu schwarzen Löchern zu degenerieren. Gleichzeitig findet das Leben eine Heimstätte und genügend Zeit zu seiner Entfaltung.

Doch mit welcher Präzision müssen die Regeln der Geometrie geschaffen sein? Schon die «klassische», nicht inflationäre Standardtheorie des Big Bang hält diese Regeln für sehr präzise. In der Tat hätte zur Zeit, als das Universum noch ein heisses Plasma von 10^{10} Grad war, eine Verlangsamung der Ausdehnungsgeschwindigkeit um einen Faktor 10^{-12} (ein Tausendstel eines Milliardstel) genügt, die Expansion zum Stillstand zu bringen. Nach Erreichen einer gegenüber heute 3000mal kleineren Ausdehnung, wäre es wieder in sich zusammengestürzt (Hawking, 1974). Im Rahmen des «inflationären» Modells (das zur Lösung gewisser Schwierigkeiten des Standardmodells voraussetzt, dass das Universum ganz am Anfang seiner Entstehung eine ultrarapide aber kurze Expansionsphase durchmachte) muss die Gesetzmässigkeit der Expansion noch genauer sein, da es sich hier um einen Faktor 10^{-55} statt 10^{-12} dreht (Guth & Steinhardt, 1984).

Scharfsinn und Verständnis für die Geometrie, Eigenschaften, deren sich Pascal rühmte, haben offensichtlich dem Schöpfer nicht gefehlt.

3.3.2. Die physikalischen Konstanten

Man kann sich fragen, was geschehen würde, wenn man beispielsweise die Gravitationskonstante G verändern würde. Die Vergrösserung von G würde eine Verkürzung der Lebensdauer der Sterne zur Folge haben, denn die Reaktionsgeschwindigkeit der nuklearen Vorgänge in ihrem Innern wären wegen erhöhtem Druck und erhöhter Temperatur beschleunigt. Die Zeit für die Entfaltung des Lebens wäre aus dem gleichen Grund bedrohlich verkürzt. Eine Verkleinerung von G würde hingegen die Bildung wirklicher Sterne erschweren. Ihre zentrale Temperatur würde u.U. nicht genügend hohe Grade erreichen, um thermonukleare Prozesse auszulösen. Zudem könnten sich keine massiven Sterne bilden, da ihre Materie durch den Druck der Strahlung zerstreut würde. Dies geschieht schon heute da und dort in unserem Universum, nämlich in Sternen mit der aktivsten Nukleosynthese, die als Supernovae explodieren und dabei die für das Leben unerlässlichen Elemente in den Weltraum schleudern.

Eine interessante Überlegung über die physikalischen Konstanten, die mit dem anthropischen Prinzip verknüpft ist, wurde von Dirac und von Dicke vorgetragen. Dirac fand eine Übereinstimmung zwischen gewissen grossen Zahlen ohne Dimension, die er von Fundamentalkonstanten der Physik ableitete. Auf diese Art ist das Alter des Universums, ausgedrückt in Einheiten der «Fundamentalzeit»

$$N_1 = t_u/t_e \cong 6 \times 10^{40}$$

(mit $t_u \cong 18$ Milliarden Jahre und $t_e = \frac{e^2}{m_e c^3}$)

d.h. der Zeit, die das Licht braucht, um den «klassischen» Radius des Elektrons zu durchlaufen;

e = Ladung des Elektrons, m_e = Masse des Elektrons, c = Lichtgeschwindigkeit)



von derselben Grössenordnung wie das Verhältnis der elektrostatischen und gravitationellen Kräfte im Wasserstoffatom:

$$N_2 = \frac{e^2}{Gm_p m_e} = 2 \times 10^{39}$$

Diracs «Hypothese von den grossen Zahlen» besteht nun darin, $N_1 = N_2$ zu setzen. Wenn diese Gleichung für jede beliebige Epoche Gültigkeit hat, so ist in ihr die Aussage enthalten, dass G mit der Zeit kleiner wird. Eine physikalische Konstante wäre somit langfristig gesehen variabel, was gegenwärtig klar den Beobachtungen widerspricht.

Dicke (1961) bemerkt dazu, dass das blosses Faktum $N_1 = N_2$ wohl kennzeichnend für die heutige Epoche sei; heute stellen wir diese Koinzidenz fest, aber ehemals waren wir nicht da, als es sie noch nicht gab. In diesem Fall gestattet das anthropische Prinzip eine Interpretation der Koinzidenz ohne dass man zur Hypothese von Dirac greifen muss.

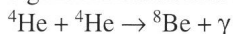
In diesem Zusammenhang taucht die Frage auf, ob das anthropische Prinzip Vorhersagen erlaubt: Im Prinzip liesse sich das Alter des Universums aus $N_1 = N_2$ ableiten, wenn es nicht schon vorher mit andern, direkten Mitteln bestimmt worden wäre. Es ist natürlich interessant, ausser der Gravitation noch andere Konstanten zu betrachten. Rozentel (1988, zitiert von Balashov 1990) beschreibt, dass die Hierarchie der Elementarteilchen: $m_x / m_p \cong 10^{15}$, $m_x / m_w \cong 10^{13}$ nicht verändert werden kann, ohne die Stabilität des Protons und der wechselseitigen Konzentration der Protonen und der schweren Kerne zu beeinflussen, nämlich über die Fermi-Konstante g_F , die die schwache Wechselwirkung beherrscht. Wenn g_F um den Faktor 100 verkleinert würde, so gäbe es keine schwereren Elemente als Wasserstoff!

Andererseits gibt es drei Ansammlungen von Fermionen (e , μ , τ), und diese drei Familien sind notwendig, um die Asymmetrie zu schaffen, die zu Beginn der Geschichte des Universums einen Überschuss an Materie gegenüber der Antimaterie hervorbrachte. Dieser Überschuss ist von der Grössenordnung 1: 10 Milliarden, dh. nur ein einziges Proton von 10 Milliarden, die von einer gleichen Anzahl Antiprotonen vernichtet wurden, ist übrig geblieben. Es hätte also wenig gefehlt, so wäre gar keine Materie übrig geblieben.

3.3.3. Die Synthese des Kohlenstoffs

Bekanntlich beruht das Leben auf der Anwesenheit von Kohlenstoff, und kein anderes Element, nicht einmal Silicium, das ihm nahesteht, bietet diesbezüglich die gleichen Möglichkeiten.

Nach unseren Kenntnissen von der stellaren Evolution wird Kohlenstoff in den Sternen gebildet. Diese verbringen den grössten Teil ihres Lebens damit, Wasserstoff in Helium zu verwandeln. Wenn der Kern zu Helium umgewandelt ist, kontrahiert und erhitzt sich der Stern und beginnt, Kohlenstoff nach folgender Reaktion zu bilden:



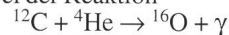
und ${}^8\text{Be} + {}^4\text{He} \rightarrow {}^{12}\text{C} + \gamma$ (sog. 3 α -Reaktion)

Das ${}^8\text{Be}$ ist sehr instabil, seine Lebensdauer beträgt nur 2.6 mal 10^{-16} sec. Wenn es stabil wäre, so würde Kohlenstoff sehr viel reichlicher vorkommen im Universum, und wir würden vielleicht auf einem Planeten aus Graphit wohnen (F. Hoyle, 1966). Was jedoch schwerer wiegt, ist, dass sich die Synthese des Kohlenstoffs viel stürmischer, möglicherweise sogar explosiv abwickeln würde, und damit die Synthese der schwereren Elemente, die zum Leben ebenso notwendig sind,

gefährden könnte. Der Atomkern von ${}^{12}\text{C}$ hat die interessante Eigenschaft, ein leicht höheres Energieniveau zu besitzen als der Summe der Ruhmassen-Energien von ${}^8\text{Be}$ und einem α Teilchen (${}^4\text{He}$) entspricht. In der Kernphysik bedeutet das, dass sich ${}^{12}\text{C}$ durch eine «Resonanz»-Reaktion bilden kann, h.h. dass dank dieser Koinzidenz die Bildungswahrscheinlichkeit eines ${}^{12}\text{C}$ -Kernes beim Zusammentreffen eines ${}^8\text{Be}$ und eines ${}^4\text{He}$ -Kernes sehr gross ist. Dies wiegt die Instabilität des Berylliums auf, andernfalls wäre Kohlenstoff ein sehr rares Element. Ausgehend von der einfachen Tatsache des Vorhandenseins von ${}^{12}\text{C}$ im Universum (und in uns selbst!), hat Fred Hoyle die Existenz einer Resonanz (angeregter Zustand) des ${}^{12}\text{C}$ zu 7.7. MeV vorausgesagt und schlug vor, dies experimentell zu verifizieren. Kurze Zeit danach wurde die Resonanz zu 7.656 MeV nachgewiesen! (siehe den kurzen aber köstlichen Bericht von Hoyle, 1982). Dieser aufsehenerregende Erfolg wird bisweilen als Beweis angesehen, dass im anthropischen Prinzip die Fähigkeit zur Voraussage (im Sinne eines physikalischen Gesetzes) steckt. Demnach wohnt dem anthropischen Prinzip eine schöpferische Kraft inne, die simplen Vermutungen und philosophischen Spekulationen weit überlegen ist.

Offengestanden ist es vielleicht etwas fragwürdig, die Bildung des Kohlenstoffs auf gleicher Stufe wie die des Menschen, mit dem anthropischen Prinzip in Verbindung zu bringen. Der gleiche Einwand könnte jedoch allgemein gegen das anthropische Prinzip erhoben werden. Der Kohlenstoff nimmt allerdings eine Sonderstellung ein, denn ohne seine Anwesenheit wäre das Leben undenkbar.

Doch die Geschichte geht weiter, denn der Kohlenstoff könnte ja vollständig oder beinahe vollständig zerstört werden bei der Reaktion



wenn beim ${}^{16}\text{O}$ ein dafür günstiges Energieniveau vorläge. In Wirklichkeit liegt es nur wenig daneben, d.h. knapp unterhalb der Summe der Massenenergien von ${}^{12}\text{C}$ und ${}^4\text{He}$. Die Produktion von ${}^{16}\text{O}$ aus ${}^{12}\text{C}$ findet in den Sternen zwar mühelos statt, doch in einem genügend kleinen Massstab, um den Kohlenstoffvorrat nicht zu erschöpfen.

Kurz gesagt, verdanken wir unsern Kohlenstoff und Sauerstoff drei glücklichen Umständen:

- a) der Instabilität des ${}^8\text{Be}$, die eine langsame Synthese von ${}^{12}\text{C}$ garantiert,
- b) dem Energieniveau von 7.65 MeV des angeregten ${}^{12}\text{C}$ (Resonanz!), die trotz der Instabilität von ${}^8\text{Be}$ (Kompensationswirkung) die Synthese von ${}^{12}\text{C}$ ermöglicht,
- c) dem tiefen Energieniveau von ${}^{16}\text{O}$, das nur eine langsame Synthese von Sauerstoff erlaubt, ohne den Kohlenstoffvorrat zu erschöpfen.

3.3.4. Warum grosse Planeten?

Bis dahin haben wir die Grundlagen des Universums und der Materie in ihrer Beziehung mit der Existenz des Lebens und des Menschen untersucht. Doch stellt sich heraus, dass auch gewisse scheinbar sehr zufällige Erscheinungen in unserer unmittelbaren Umgebung in Wirklichkeit eine Daseinsbestimmung haben, die sich ebenfalls vom anthropischen Prinzip herleitet. Fragen wir z.B. nach dem Sinn der grossen Planeten Jupiter und Saturn!

Unser Sonnensystem umfasst «tellurische» Planeten (nämlich felsige, wie die Erde), Riesenplaneten (hauptsächlich flüssige), Asteroiden und Kometen. Man nimmt an, dass sich die Planeten durch Vereinigung von Staub und Brocken von Felsgestein und Eis gebildet haben, während sie die Sonne als Scheibe umkreisten. Durch den gravitationellen Einfluss von



Jupiter und Saturn auf die Flugbahn der Kometen sind viele von ihnen endgültig aus dem Sonnensystem hinausgeschleudert worden. Dadurch ist die Wahrscheinlichkeit eines Einschlags auf der Erde stark gesunken.

In der Erdgeschichte ereignete sich durchschnittlich ein bedeutender Meteoriteneinschlag alle 100 Millionen Jahre. Man nimmt an, dass ein solches Ereignis vor 65 Millionen Jahren zum Untergang der Dinosaurier geführt hat. In einer bemerkenswerten numerischen Computersimulation hat G. Wetherill (zitiert nach Crowell, 1992) die Massen von Jupiter und Saturn auf je 15 Erdmassen reduziert (an Stelle von 318 und 95 respektive), d.h. auf eine dem Uranus und dem Neptun vergleichbare Masse. Dabei stellte er fest, dass unter diesen Voraussetzungen die Meteoriteneinschläge auf der Erde 1000mal häufiger wären, als sie in Wirklichkeit sind. Bei 10mal kleineren Planeten Jupiter und Saturn wäre die Erde alle 100 000 Jahre statt alle 100 Millionen Jahre von einem Rieseneinschlag bombardiert worden. Ein komplexes, höheres Leben hätte dann wohl niemals Zeit gehabt, sich dort zu entwickeln! Diese Hypothese verdient m.E. Beachtung, muss aber noch bestätigt werden.

3.3.5. Warum der Mond?

Gemäss der Genesis wurden die Gestirne (in erster Linie Sonne und Mond) von Gott erschaffen, nämlich: «Tag und Nacht zu scheiden, und als Zeichen zur Bestimmung von Zeiten, Tagen und Jahren zu dienen», und die jüdischen Festtage waren tatsächlich nach einem Mondkalender festgesetzt.

Schon damals wurde man aufmerksam auf die Eigentümlichkeit des Systems Erde-Mond, einer Art Doppelplanet, was im Sonnensystem fast einmalig ist (einzig das Paar Pluto-Charon ist ihm vergleichbar). Eine weitere Kuriosität ist der nahezu gleiche Durchmesser von Mond – und Sonnenscheibe von der Erde aus betrachtet; dadurch wird eine Sonnenfinsternis zu einem so bemerkenswerten Ereignis.

Nach den neuesten Arbeiten über die Himmelsmechanik (Laskar und Robutel 1993, Laskar et al. 1993), ist der Mond aber nicht nur von Interesse für die Poesie und für den Kalender (für letzteren kaum mehr), sondern sogar für unsere eigene Existenz.

Wie bei allen Planeten steht bei der Erde die Rotationsachse schief zur Senkrechten der Bahnebene. Der Winkel wird Achsenneigung genannt. Gegenwärtig beträgt sie rund 23.5 Grad, aber langfristig variiert der Wert ± 1.3 Grad um einen Mittelwert von 23.3 Grad. Die von der Sonne und den Planeten ausgelösten Gezeiten beeinflussen deutlich die Achsenneigung, wenn sie einen der Präzession vergleichbaren Rhythmus haben. Sie rufen damit ein Phänomen der Resonanz hervor: z.B. hätte die Achsenneigung der Venus anfänglich einmal 0 Grad betragen können, während sie jetzt bei 178 Grad liegt (retrograde Rotation).

Die Berechnungen von Laskar zeigen, dass bei Abwesenheit des Mondes die Achsenneigung der Erde chaotischen Veränderungen unterworfen wäre, und zwar unabhängig vom Ausgangswert (gerechnet von 0 bis 85 Grad): Sie könnte in einigen Millionen Jahren um mehr als 50 Grad variieren!

Andererseits hätte es bei vorhandenem Mond einer anfänglichen Achsenneigung von 60-90 Grad bedurft, um ein vergleichbares chaotisches Verhalten auszulösen, d.h. die Erdachse hätte bei der Entstehung des Erde-Mond Systems praktisch in der Ebene der Umlaufbahn liegen müssen. Das war aber nicht der Fall, und der Mond wirkt wie ein Stabilisator auf die Achsenneigung und bewahrt damit die Erde – mit ihren Lebenwesen auf der Oberfläche – vor heftigen und fatalen Klimaschwankungen.

4. Die Finalität oder wie man sich ihrer entledigen könnte

Die bisherigen Betrachtungen schreiben der Schöpfung des Universums eine Art Finalität (Zweckbestimmung) zu. Dieser Begriff scheint mit dem anthropischen Prinzip eng verbunden, oder sogar in ihm eingeschlossen. «Schlaue Köpfe» haben verschiedene Mittel ersonnen, sich dieser Besucher in zu entledigen, die sie für ebenso aufdringlich halten wie Amédée im Stück von Ionesco.

4.1. Die Kosmologie des stationären Zustands

Eine Voraussetzung des anthropischen Prinzips ist die Feststellung, dass das Universum eine Entwicklung durchmachte, bei der nichts dem Zufall überlassen wurde. Wenn das Universum planlos ewig dauern würde (die Vergangenheit mit eingerechnet), so wäre unsere Existenz zweifellos weniger bemerkenswert.

Nun wurde in den 50er Jahren von Bondi, Gold und Hoyle dem finalistischen Universum die Idee von einem Stationären Universums entgegengestellt. Dies war ein Versuch, dem Problem der ursprünglichen Singularität auszuweichen. Die Theorie anerkennt, dass das Universum in Ausdehnung begriffen ist, postuliert aber, dass in adäquatem Verhältnis Materie neu entstehe, um den von der Expansion geschaffenen Leerraum wieder zu füllen. Mit der Entdeckung der Quasare, dann der Hintergrundstrahlung von 3 Grad K wurde aber diese Kosmologie verlassen.

4.2. Die multiplen Universen

Diese basieren auf der Vorstellung, dass unser Universum nicht das einzige sei, sondern nur eines von unzähligen andern, die voneinander getrennt sind und miteinander keine Verbindung haben. Jedes «Universum» oder vielmehr Teiluniversum entwickle sich nach seiner Art, mit unterschiedlichen physikalischen Konstanten. In dieser Ansammlung von Universen könnten die meisten von ihnen kein Leben beherbergen. Einzig das unsrige (vielleicht mit einigen weitem zusammen) hätte die richtigen Werte von physikalischen Konstanten, unter denen hier Leben entstehen und gedeihen könnte. Unsere Existenz bliebe dem Zufall überlassen, ebenso wie die unseres ganzen Universums, und dem anthropischen Prinzip wäre der Boden entzogen.

Eine noch viel kühnere Version dieser Idee spricht von einer Unendlichkeit übereinanderliegender aber verschiedener Realitäten, wo alle Möglichkeiten verwirklicht sind. Von diesen Realitäten ist aber nur eine unserer Erkenntnis zugänglich. Diese Idee ist eine Extrapolation grossen Massstabs von Situationen, wie man sie in der Quantenmechanik für gewisse mikroskopische Systeme antrifft. Sie ist höchst spekulativ und kann nicht verifiziert werden.

4.3. Das oszillierende Universum

Wenn das Universum «geschlossen» ist (obgleich die Beobachtungen z.Z. eher das Gegenteil nahelegen), so wird die gegenwärtige Phase der Expansion von einer Phase der Kontraktion gefolgt sein; danach kommt vielleicht ein «Rückprall», und das Universum expandiert von neuem, etc.

Man könnte sich vorstellen, dass sich die physikalischen Konstanten von einem Rückprall zum andern verändern und so dem oszillierenden Universum immer neue Chancen zur fruchtbaren Entwicklung geben. Diese Art Reinkarnation auf



kosmischer Stufe würde natürlich das anthropische Prinzip zum Spielball einer blossen statistischen Schwankung machen. Diese Theorie hat jedoch kein festes experimentelles Fundament, als die Doktrin der Reinkarnation im eigentlichen Sinn. Zudem zeigen die theoretischen Studien, dass ein Rückprall oder Rebound äusserst unwahrscheinlich ist (Guth & Sher, 1983).

Im Grunde kommt das oszillierende Universum zum gleichen Schluss wie das multiple Universum, mit dem Unterschied, dass die Multiplizität zeitlich gestaffelt und nicht simultan ist.

5. Schlussfolgerungen

Das anthropische Prinzip ist, wie wir gesehen haben, ein Versuch, Fragen zu beantworten, die an oder sogar ausserhalb der Grenze der Wissenschaft liegen: Warum ist das Universum dergestalt konstruiert, warum haben die physikalischen Konstanten die festgestellten Werte und keine andern? Es gibt Leute, die nicht nur die Werte der physikalischen Konstanten für nicht willkürlich halten, sondern auch die Form der physikalischen Gesetze als logische Gebäude für den menschlichen Verstand. Schon Einstein hat sich darüber Gedanken gemacht: «Die unbegreiflichste Sache im Universum ist, dass es verständlich sei».

Die Wissenschaft im strengen Sinn des Wortes «erklärt» viele Dinge, aber sie erklärt eine Sache immer nur als Funktion einer andern; das andere ist am Ende die Summe der physikalischen Gesetze, es sind vielleicht auch die Anfangsbedingungen des Universums. Dem unaufhörlichen «warum», den endlosen Fragen unserer kleinen Kinder setzen wir ein Ende mit der Antwort «weil es sich so und so verhält» oder auch «weil es Gott so gewollt hat». Die Kette der Antworten ist kürzer als die der Fragen, und das anthropische Prinzip ist nichts anderes als ein zusätzliches Glied in der Kette von Antworten, aber ein Glied, das mir äusserst interessant, wichtig, ja sogar grundlegend erscheint. Hier dürfte das fehlende Kettenglied zwischen Wissenschaft und Philosophie, zwischen Wissenschaft und Metaphysik und zwischen Wissenschaft und Theologie zu finden sein, selbst wenn dieses Prinzip weder Anspruch erhebt, noch berufen ist, unsere wissenschaftlichen Kenntnisse zu vermehren.

Wir sind von der These der Bedeutungslosigkeit des Menschen ausgegangen, einer Frucht der philosophischen Auffassung, die den Menschen gleichsam auf die Stufe «Wissenschaft ohne Gewissen» herabsetzt. Dann haben wir die Erkenntnis gewonnen, dass unsere Anwesenheit im Universum sehr wohl fundamental und nicht zufällig sein könnte. Dieses gewiss erfreuliche Ergebnis ist die Antwort auf eine nicht weniger erfreuliche, kindliche Frage. Oft sind es übrigens die einfachsten Fragen, die am grundlegendsten und treffendsten sind.

Nun kann man sich natürlich die Frage stellen, ob nicht das anthropische Prinzip ein Versuch sein könnte, die Existenz Gottes, des biblischen Gottes der Schöpfung, zu beweisen; denn dieses Prinzip zielt darauf ab zu zeigen, dass wir das Ergebnis einer Absicht, eines Planes sind. Es ist bemerkenswert, dass das anthropische Prinzip mit Interesse Anerkennung fand, ebenso bei Atheisten wie Hawking oder Fang Lizhi, als bei Gläubigen, wie Allen Sandage oder Owen Gingerich.

Wir haben indessen auch gesehen, dass durchaus die Möglichkeit besteht, die Idee der Finalität zu bekämpfen, wenn einem daran gelegen ist. Paul Davies (1982) sagt: «Die Antwort ist eine Frage des persönlichen Geschmacks», ich würde eher sagen, des Glaubens.

Der chinesische Kosmologe Fang Lizhi, der die Nützlichkeit des anthropischen Prinzips völlig anerkennt, zieht es vor, es bei folgender Aussage bewenden zu lassen: «Ausserhalb des Universums ist das Nicht-Sein», eine Aussage, die übrigens jede Vorstellung von einem Schöpfer implizite ablehnt. Dieser muss in der Tat deutlich vom Universum unterschieden werden, er ist vielmehr das Wesen der Wesen («Ich bin derjenige, der ich bin»).

Um die Entstehung des Universums zu erklären, bleibt uns die Wahl zwischen zwei Auffassungen:

- Diejenige des Apostels Paulus: «Sein unsichtbares Wesen, seine ewige Kraft und seine Gottheit ist ja seit Erschaffung der Welt, wenn man es in den Werken betrachtet, deutlich zu erkennen...» (Römerbrief 1.20).
- Diejenige von Fang Lizhi und seiner Gattin Li Shuxian (1990, pp.210 und folgende), von Hawking wahrscheinlich, oder noch von Lao Tse: «Das Sein wurde geboren vom Nichtsein», eine Lehre, die sich nach den Autoren «selbst genügt».

Obwohl die zweite Auffassung auf den ersten Blick weiser scheinen möchte (soweit sie sich hinter dem verschaut, was der menschliche Geist bewältigen kann), schliesse ich mich ganz der ersten an, weil hier die menschliche Würde durch Transzendenz garantiert ist. In der zweiten Auffassung ist die Bedeutung der Menschlichkeit freilich ebenso gross, wie diejenige des ganzen Universums, aber sie bleibt auf das Universum beschränkt. Wenn nämlich ausserhalb des Universums nichts existiert, so ist der Mensch seine eigene Transzendenz und kann sich (zu Recht) als Gott betrachten, denn er ist die vollkommene Kreatur und der Brennpunkt des Universums. Ich halte dies abschliessend für sehr gefährlich, aber nichts kann uns natürlich zwingen, den einen oder den andern Eckpfeiler der Kosmologie zu wählen. Damit bleibt der Gottesbegriff eine Sache des Glaubens, einmal übrigens im Einklang mit der Vernunft.

Literatur

s. franz. Originaltext im ORION Nr. 257, August 1993, pp 166-171.

Verfasser

PIERRE NORTH, Institut d'astronomie de l'Université de Lausanne, 1290 Chavannes-des-Bois.

Übersetzung:

DR. H.R. MÜLLER
Oescherstr. 12, 8702 Zollikon

ASTRONOMIE SOFTWARE SERVICE





650 MB Software aus allen Bereichen der Astronomie, aktuelle Bilder, interessante Texte sowie Stern- und Nebelkataloge (z.B. PPM, SAO, NGC). Für DOS, Windows, OS/2 und Atari. **DM 98,-**

NEU! - Faszinierende Bilder des Kometenabsturzes auf Jupiter! Enthält Software, Bilder und Texte der obigen CD-ROM für DOS, Windows und Atari mit Neuzugängen, jedoch nicht die Stern- und Nebelkataloge. **nur DM 59,-**. Beide CD-ROM zusammen nur **DM139,-**.

Bezahlung aus der Schweiz mit Eurocheque oder Zahlungsanweisung per Post. Bitte fügen Sie zum Bestellwert DM 5,- für Mehrkosten Auslandsporto hinzu. Weitere Astro-CDs auf Anfrage (z.B. REDSHIFT DM 149,-, Skyplot für Windows DM 99,-, GUIDE 3.0 DM 149,-).

ROTH EDV, Brücker Mauspfad 448, D-51109 Köln, Tel.: 0049/221/84 04 12