

Die moderne Kosmologie und die Feinabstimmung der Naturkonstanten auf Leben hin

Prof. Dr. Peter C. Hägele
Abt. Angewandte Physik
Universität Ulm



Erschienen in:

M. BRÖKING-BORTFELDT, M. ROTHGANGEL (Hrsg.): Glaube und Denken.
Jahrbuch der Karl-Heim-Gesellschaft 18. Jahrgang 2005.
Frankfurt a. M.: Peter Lang. Europäischer Verlag der Wissenschaften 2006.
ISSN 0934-0785 ISBN 3-631-54775-7
_Anthrop_KHG.tex Version: 12.11.2005 © P. C. Hägele

Layout: pdf^LTeX mit KOMA-Script

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	6
1 Kränkungen und anthropische Befunde	8
2 Kosmologie	11
2.1 Das Standardmodell	11
2.2 Naturkonstanten und ihre Feinabstimmung	13
2.2.1 Feinabstimmung der elektromagnetischen und der Starken Wechselwirkung	14
2.2.2 Feinabstimmung der elektromagnetischen Wechselwirkung und des Massenverhältnisses von Elektron und Proton	15
2.2.3 Feinabstimmung der „Expansionskraft“ und der Gravitationskraft	16
2.2.4 Feinabstimmung der Dimensionen von Raum und Zeit	17
2.2.5 Feinabstimmung der Kohlenstoff-Synthese	21
3 Deutungen der Feinabstimmung	23
3.1 Anthropische Prinzipien	23
3.2 Silizium statt Kohlenstoff?	25
3.3 Viele Universen	25
3.4 Unbekannte Gesetze?	28
3.5 Alles Zufall?	29
3.6 Design	30
Literaturverzeichnis	33

Abbildungsverzeichnis

1.1	Feinabstimmung auf Leben hin	10
2.1	Feinabstimmung der elektromagnetischen und der Starken Wechselwirkung	16
2.2	Feinabstimmung der elektromagnetischen Wechselwirkung und des Massen- verhältnisses von Elektron und Proton	17
2.3	Feinabstimmung der „Expansionskraft“ und der Gravitationskraft	18
2.4	Entwicklung unseres Kosmos	19
2.5	Leben in anderen Raum-Zeit-Dimensionen?	20
2.6	Der Tripel-Alpha-Prozess	20
3.1	Viele Welten?	26

Tabellenverzeichnis

2.1	Einige wichtige Naturkonstanten	14
2.2	Einige wichtige dimensionslose Naturkonstanten	15
2.3	Chemische Elemente im menschlichen Organismus	21

Zusammenfassung

Die erste der drei von Freud formulierten Kränkungen der Menschheit handelt vom Übergang des geozentrischen in das heliozentrische Weltbild: Der Mensch erlebt sich zunehmend als einsam und unbedeutend in einem unermesslich großen Weltall. Diese Kränkung scheint durch neuere Entwicklungen der Kosmologie und durch „anthropische“ Überlegungen überwunden zu sein. Der amerikanische Physiker DYSON formuliert: „Wenn wir ins Universum hinausblicken und erkennen, wie viele Zufälle in Physik und Astronomie zu unserem Wohle zusammengearbeitet haben, dann scheint es fast, als habe das Universum in einem gewissen Sinne gewusst, dass wir kommen.“ Ist die Welt also doch für den Menschen gemacht?

Es wird zunächst ein knapper Überblick über den gegenwärtigen Stand der Kosmologie (Standardmodell) gegeben. Auch offene Fragen und neuere Entwicklungen werden angesprochen. Es wird dann die Bedeutung von Naturkonstanten in den grundlegenden Gesetzen aufgezeigt. Die moderne Astrophysik und Kosmologie ist heute so weit ausgearbeitet, dass sich Fragen vom Typ „Was wäre, wenn ...?“ mit naturwissenschaftlichen Argumenten behandeln lassen. Dabei stellt sich heraus, dass bereits geringfügige Veränderungen an den Werten der bekannten Naturkonstanten fast immer zu einer völlig anderen Geschichte des Kosmos führen würden und dabei kein biologisches Leben entstehen könnte. Dies wird u.a. bei der Feinstrukturkonstante des Elektromagnetismus und der Konstanten der Starken Wechselwirkung gezeigt. Auch die Dimensionszahl von Raum und Zeit ist offenbar auf Leben hin abgestimmt. Besonders eindrucksvoll ist die präzise abgestimmte Kernchemie der Kohlenstoffentstehung.

Diese offensichtliche *Feinabstimmung* der Naturkonstanten auf Leben hin hat viele Wissenschaftler ganz unterschiedlicher Weltanschauung erstaunt und zu verschiedenen Deutungen geführt:

1. Die Feinabstimmung wird auf ein Prinzip zurückgeführt: das *Anthropische Prinzip*. Es existiert in unterschiedlich starken Fassungen. Grundsätzlich ist die Einführung von Prinzipien in der Naturwissenschaft legitim und fruchtbar. Die Erklärungskraft des Anthropischen Prinzips ist allerdings problematisch und umstritten.
2. Die Feinabstimmung wird rundweg *bestritten* mit dem Hinweis, dass Leben ja auch auf einer anderen als auf Kohlenstoff-Basis entstanden sein könnte. Biochemische Fakten sprechen gegen dieses spekulative Argument.
3. Die Feinabstimmung wird – im Gegensatz zu 2 – als *notwendig vorkommend* und als verstanden angenommen. Hier wird mit naturwissenschaftlichen Spekulationen argumentiert, dass unser Kosmos nur einer von unendlich vielen mit unterschiedlichen Gesetzen und Konstanten ist. Einer davon – der unsrige – hat dann notwendigerweise die gerade passenden Gesetze und Konstanten.

Diese Deutung ist weit verbreitet und nahe liegend wegen der Analogie zu der sehr großen Zahl an Sternen, Sonnensystemen und Galaxien. Sie wird allerdings als nicht empirisch testbar angesehen und hat zum Zweck der Erklärung eines einzigen Problems in unserem Kosmos einen doch immensen „Verbrauch“ an Kosmen! Die wissenschaftlichen Kommentare lassen hier weltanschauliche Vorentscheidungen sehr deutlich erkennen.

4. Die Feinabstimmung wird als Hinweis auf noch *unbekannte gesetzmäßige Zusammenhänge* angesehen. Dies führt zu einem durchaus berechtigten und fruchtbaren Arbeitsprogramm. So kann das sog. inflationäre Modell eine bestimmte Feinabstimmung des Standardmodells *wegerklären*. Allerdings braucht dieses Modell selbst feinabgestimmte Konstanten! Damit wird das Problem nicht gelöst, sondern offensichtlich nur verschoben.
5. Die Feinabstimmung wird als *zufällig* angesehen. Ist damit aber irgend etwas erklärt? Bei Ereignissen sehr geringer Wahrscheinlichkeit wird Zufall i.a. nicht als Erklärung akzeptiert. Hier muss der Begriff des Zufalls genauer analysiert werden. Zufällige Ereignisse brauchen keineswegs in jedem Kontext als plan- und absichtslos gedeutet zu werden.
6. Die Feinabstimmung wird als *Design* interpretiert: Ein Designer, eine Intelligenz hat den Kosmos geplant und wollte Leben ermöglichen. Diese Deutung ist keineswegs weniger plausibel als die bisher angeführten. Ihr finaler Charakter muss nicht als Konkurrenz zu einer kausalen Erklärung verstanden werden.

Die theistische Deutung sieht in der Feinabstimmung zwar keinen Gottesbeweis, aber doch einen Hinweis auf den christlichen Schöpfergott. Diese Deutung transzendiert den naturalistischen Erklärungsrahmen.

Die Designer-Deutung hat allerdings darin ihre Grenze, dass sie nur wenig Spezifisches über den Designer zu sagen weiß. Dass hier der Dreieine Gott, zu dem sich die Christen bekennen, am Werk ist, kann aus naturwissenschaftlicher Sicht nicht deutlich werden. Aus biblisch-christlicher Sicht kann der Theologe Pannenberg jedoch weiter gehen. Er zeigt, dass ich die Zufälligkeit der Naturkonstanten als Wahl Gottes deuten kann, die er zu meinen Gunsten getroffen hat. Zur Feinabstimmung schreibt er: „[...] Theologische Interpretation darf über diese Feststellung hinausgehen zu der Aussage, dass sich in diesem Sachverhalt die auf die Inkarnation des göttlichen Logos in einem Menschen bezogene Ökonomie des göttlichen Schöpfungswerkes bekundet.“

1 Kränkungen und anthropische Befunde

Mit SIGMUND FREUD spricht man von den drei Kränkungen, welche die Menschheit erleiden musste. Es handelt sich dabei um wissenschaftliche Entwicklungen und Umbrüche, welche das Selbstverständnis des Menschen wesentlich beeinflussten und seine Sonderstellung in Frage stellten:

1. Da war zunächst der Übergang vom geozentrischen zum heliozentrischen Weltbild. Seit KOPERNIKUS und GALILEI wird die Erde nicht mehr als Mittelpunkt der Welt angesehen. Der Mensch erlebt sich zunehmend als einsam und unbedeutend in einem unermesslich großen Weltall. PASCAL drückt in seinen Pensées das veränderte Lebensgefühl vieler aus: „*Das ewige Schweigen dieser unendlichen Räume macht mich schaudern.*“¹

Die Astronomie, die Astrophysik und die Kosmologie führten diese Entwicklung weiter, die den Menschen immer mehr aus seiner zentral empfundenen Stellung verdrängt: Unsere Sonne ist nur ein Stern unter Milliarden von Sternen, unsere Milchstraße erweist sich als eine Galaxie unter vielen, und selbst der Kosmos ist nach neueren Überlegungen vielleicht nur ein (Teil)kosmos unter vielen verschiedenartigen Kosmen.

2. Seit DARWIN ist auch die Sonderstellung des Menschen unter den Lebewesen fraglich geworden. Autoren wie MONOD versuchen zu zeigen, dass biologisches Leben – und damit auch menschliches Leben – ein reines Zufallsprodukt eines evolutionären Prozesses ist.
3. FREUD selber hat schließlich gezeigt, dass der Mensch nicht einmal „Herr im eigenen Hause“ ist, sondern in hohem Maße von unbewussten Antrieben bestimmt wird.

Inzwischen werden bereits weitere Kränkungen genannt: Die Evolutionäre Erkenntnistheorie, die Künstliche Intelligenz und die Robotertechnik. Sie machen dem Menschen jede Art von geistiger und intellektueller Sonderrolle streitig.

Nun ist allerdings keineswegs klar, ob die genannten Entwicklungen zu Recht als Kränkungen verstanden werden müssen. Für den modernen Naturwissenschaftler stellt sich etwa der Wechsel vom geozentrischen zum heliozentrischen Weltbild als ein simpler Wechsel des Bezugssystems (Koordinatentransformation) dar. Es geht dabei nur um eine *Standpunktsfrage*. Und betrachtet man den Menschen im christlichen Verständnis als Geschöpf unter Geschöpfen, so ist seine Verbundenheit mit dem Pflanzen- und Tierreich im Grunde selbstverständlich. Dennoch haben die genannten Kränkungen bis heute Wirkung gezeigt. Vielfach wurde in ihrem Gefolge auch das christliche Menschenbild in Frage gestellt.

¹Zit. nach [GIE97, S. 30].

Es ist vor diesem Hintergrund sehr bemerkenswert, dass neuere naturwissenschaftliche Ergebnisse heutzutage von einer ganzen Anzahl von Wissenschaftlern so gedeutet werden, dass der Mensch – oder zumindest biologisches Leben – nun plötzlich doch wieder eine zentrale Stellung im Kosmos erhält. Leben ist offenbar viel enger an gesamtkosmische Bedingungen und Entwicklungen geknüpft als bisher angenommen, und es wird immer weniger plausibel, Leben lediglich als belangloses Zufallsprodukt anzusehen. Viele Abläufe im Kosmos scheinen auf Leben hin ausgerichtet zu sein. Dieser Befund wird als *Feinabstimmung* von Gesetzen und Naturkonstanten bezeichnet und recht unterschiedlich interpretiert. Vielen erscheint heute die erste Kränkung aufgehoben. Der amerikanische theoretische Physiker FREEMAN J. DYSON formulierte:

*„Wenn wir ins Universum hinaus blicken und erkennen, wie viele Zufälle in Physik und Astronomie zu unserem Wohle zusammengearbeitet haben, dann scheint es fast, als habe das Universum in einem gewissen Sinne gewusst, dass wir kommen.“*²

Und der deutsche Astronom OTTO HECKMANN (1901–1983) schrieb:

*„Die kosmische Grundbedingung des Menschen oder menschenähnlicher Wesen besteht [...] in der Existenz nicht irgendeines, sondern eines höchst spezifischen Gesamtkosmos. Wenn der Mensch Wert legt auf kosmische Würde und auf kosmischen Rang: Hier sind beide zurückerstattet in einer Größenordnung, die man kaum steigern kann.“*³

Und DAVIES schreibt:

There "is for me the powerful evidence that there is something going on behind it all. The impression of design is overwhelming." [DAV88, S. 203]⁴

Was veranlasst Wissenschaftler zu solchen geradezu überschwänglichen und wertenden Aussagen (Wohl, Würde, Rang)?

Im Rahmen des heutigen Wissens über die Entwicklung des Kosmos (Kosmologie) kann man überlegen, wie die Entstehung des biologischen Lebens (auf Kohlenstoffbasis) von den Gesetzen, Naturkonstanten und Rand- und Anfangsbedingungen abhängt. BREUER führt dazu folgenden exemplarischen Gedankengang an:

„Auf der Erde gibt es eine Lebensform mit Bewusstsein, eine beobachtende Intelligenz. Wie muss das dazu gehörige Universum aussehen? Diese Frage kann nicht beantwortet werden ohne die folgenden logischen Schritte:

▷ *Bewusstsein setzt voraus, dass es Leben gibt;*

²Zit. nach BREUER [BRE84].

³[HEC76], zitiert nach VAAS [VAA94].

⁴„Für mich gibt es den starken Hinweis, dass da hinter allem etwas vor sich geht. Der Eindruck von Planung ist überwältigend.“

- ▷ *Leben braucht als Grundlage seines Entstehens chemische Elemente, vor allem auch solche, die schwerer sind als Wasserstoff und Helium;*
- ▷ *Schwere Elemente entstehen aber nur durch thermonukleare Verbrennung der leichten Elemente, also durch Atomkernverschmelzung;*
- ▷ *Atomkernverschmelzungen laufen jedoch nur im Innern der Sterne ab und benötigen wenigstens einige Milliarden Jahre, um größere Mengen an schweren Elementen zu produzieren;*
- ▷ *Eine Zeitspanne von mehreren Milliarden Jahren steht aber nur in einem Universum zur Verfügung, das selbst wenigstens einige Milliarden Jahre alt und damit einige Milliarden Lichtjahre ausgedehnt ist. [...]*

Daher kann die Antwort auf die Frage, warum das heute von uns beobachtete Universum so alt und so groß ist, nur lauten: Weil sonst die Menschheit gar nicht hier wäre.“ [BRE84, S. 18f.]

Dies ist ein Beispiel einer *anthropischen*, auf den Menschen bezogenen Formulierung, in der die Existenz von intelligentem Leben mit Eigenschaften des Kosmos in Zusammenhang gebracht wird.

Die genauere Untersuchung dieses Zusammenhangs hat nun gezeigt, dass als Vorbedingung für Leben bestimmte Eigenschaften des Kosmos nicht nur größenordnungsmäßig passen („Milliarden Jahre“), sondern dass darüber hinaus eine ganze Anzahl hochpräziser *Feinabstimmungen* von Gesetzen, Naturkonstanten und Rand- und Anfangsbedingungen vorliegt, ohne die kein Leben möglich wäre.⁵ Nur eine verschwindend kleine Untermenge *denkbarer* Kosmen erfüllt die notwendigen Bedingungen. Leben entsteht keineswegs *unter allen Umständen* und unabhängig von der gesamtkosmischen Entwicklung. Die Abb. 1.1 veranschaulicht dies grob schematisch. Dieser Befund fordert zu Deutungen heraus. Leben

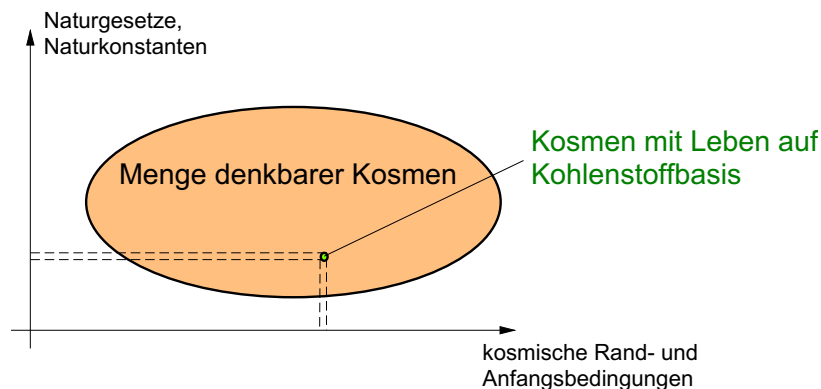


Abbildung 1.1: Feinabstimmung auf Leben hin

wir in einem „Universum nach Maß“⁶?

⁵Engl.: anthropic balances; cosmic coincidences

⁶Vgl. den Buchtitel „Ein Universum nach Maß. Bedingungen unserer Existenz“ [GRI91].

2 Kosmologie

Im Folgenden werden Beispiele solcher Feinabstimmungen auf Leben hin berichtet und dann ihre Deutungen diskutiert. Für die naturwissenschaftlichen Einzelheiten muss dabei auf die Literatur verwiesen werden. Zunächst soll aber das Rahmenmodell kurz geschildert werden, in das die Feinabstimmungen eingeordnet sind. Dies ist das sog. *Standardmodell der Kosmologie*.

2.1 Das Standardmodell

Schon bei PLATON kann man nachlesen:

„Über die Entstehung des Universums gibt es viele Vorstellungen und Meinungen. Wundre Dich also nicht, Sokrates, wenn wir nicht imstande sind, Erklärungen und Begründungen zu geben, die in jeder Hinsicht exakt sind und konsistent miteinander.“¹

Die Situation hat sich heute gebessert: Die Mehrzahl der Naturwissenschaftler akzeptiert das *Standardmodell der Kosmologie*², das theoretisch und experimentell gut begründet ist und eine erstaunlich konsistente Beschreibung der raum-zeitlichen Entwicklung liefert. Vor allem die genaue Vermessung der kosmischen Hintergrundstrahlung mit Hilfe der COBE- und WMAP-Satelliten ergab eine Fülle neuer Daten, aus denen man Erkenntnisse über den Energieinhalt des Universums und die Entstehung der Galaxien gewinnen konnte [BOE05]. In der aktuellen Forschung werden allerdings Varianten und vor allem auch Erweiterungen dieses Modells diskutiert. Unverstanden ist bisher die seit einigen Jahren beobachtete Beschleunigung der Ausdehnung des Kosmos und die Natur der weit überwiegenderen Menge an sog. *dunkler Materie* und *dunkler Energie*.

Nach dem Standardmodell hat unser Kosmos einen *Anfang* – ein noch vor wenigen Jahrzehnten sehr fremdartiger Gedanke in den Naturwissenschaften. Vor etwa 14 Milliarden Jahren *startete* alles mit einer *Anfangssingularität*, einem extrem dichten und heißen Zustand der Materie. Dieser Vorgang wird etwas reißerisch als *Urknall*³ bezeichnet. Die Materie, ein Brei aus Elementarteilchen, begann sich zusammen mit dem Raum auszudehnen. Dies ist anschaulich nicht vorstellbar. Als Hilfe kann man sich das Aufblasen eines Luftballons vorstellen. Der dreidimensionale Raum wird hierbei durch die Oberfläche des Ballons

¹PLATON (427-347 v. Chr.): Timaios 29c; zit nach [VAA94].

²Ein informativer und kritischer Überblick findet sich z. B. bei KIPPENHAHN [KIP97] oder BÖRNER, EHLERS und MEIER [BOE93].

³Engl.: big bang

veranschaulicht. Der Anfang ist physikalisch nicht gut verstanden. Man glaubt aber, bereits nach 10^{-6} s (also nach einer millionstel Sekunde) mit den bekannten Naturgesetzen die weitere Entwicklung gut beschreiben zu können.

Nach 100 s beträgt die Temperatur immer noch eine Milliarde Grad; 25% der Wasserstoffmasse wird zu Helium. Nach ca. 300 000 Jahren ist die Temperatur auf 4000 K (Kelvin⁴) abgesunken; es entstehen neutrale Atome; das Weltall wird durchsichtig, da Strahlung nun nicht mehr sofort im heißen Plasma absorbiert wird. Die sog. kosmische (elektromagnetische) Hintergrundstrahlung hat hier ihren Ursprung.

Nach ca. einer Milliarde Jahren entstehen aufgrund der anziehenden Wechselwirkung (Gravitation) der Teilchen Galaxien, erste Sterne und schwerere chemische Elemente in den Sternen. Der Prozess der Galaxienbildung ist – im Gegensatz zur Sternentwicklung und Elementsynthese – noch wenig gut verstanden.

Mit dem HUBBLE-Space-Teleskop kann man etwa zehn Milliarden Jahre in die Vergangenheit schauen [KIP97].

Unser Sonnensystem hat ein Alter von etwa 4,5 Milliarden Jahren. So alt ist auch das älteste bekannte Mondgestein. Das älteste irdische Gestein ist 3,96 Milliarden Jahre alt. Etwa auf diese Zeit datiert man den Beginn des Lebens. Einzellige Lebewesen gibt es wahrscheinlich schon seit 3,5 Milliarden Jahren. Eine Entwicklung zu komplexeren Lebensformen schließt sich an. Das Verständnis der Entstehung und Entwicklung des Lebens ist – im Gegensatz zu vielen populären Darstellungen – bisher sehr lückenhaft.

Heute hat sich die Mikrowellen-Hintergrundstrahlung aufgrund der kosmischen Ausdehnung auf die sehr niedrige Temperatur von 2,73 K abgekühlt. 2% des ursprünglichen Wasserstoffs sind in Sternen zu den lebenswichtigen Elementen Kohlenstoff, Stickstoff, Sauerstoff usw. synthetisiert worden. In unserer Galaxie, der Milchstraße, finden wir im Sonnensystem auf dem Planeten Erde lebensfreundliche Bedingungen. Es ist unbekannt, ob es Leben auch in anderen Bereichen des Kosmos gab oder gibt. – So lautet die „kurze Geschichte“ [HAW88] des Weltalls.

Welche experimentellen und theoretischen Befunde sprechen für dieses Urknall-Modell? Dazu lassen sich die folgenden Punkte⁵ anführen:

- ▷ Die Frequenzen der Spektrallinien von Galaxien sind rotverschoben (HUBBLE 1929). Dies wird häufig anschaulich als DOPPLER-Effekt gedeutet.⁶ Die Rotverschiebung nimmt etwa proportional zur Entfernung zu. Dies legt die Rückextrapolation auf einen hochverdichteten Anfangszustand nahe.
- ▷ Die Allgemeine Relativitätstheorie EINSTEINS ist eine heute sehr gut bestätigte Gravitationstheorie. Mit ihr wurde 1922/24 die Expansion des Kosmos vorausgesagt. Sie

⁴Die Kelvin-Skala ist gegenüber der Celsius-Skala verschoben und beginnt mit 0 K beim absoluten Nullpunkt $-273,15$ °C.

⁵Für eine detaillierte Diskussion und Abwägung dieser Punkte muss auf die Literatur verwiesen werden. Einen kritischen Überblick bieten z. B. [BOE93], [KIP97] und [WEI88].

⁶Richtig ist, dass der expandierende Raum alle Lichtwellen während ihrer Ausbreitung dehnt. Siehe z.B. [LIN05, S. 45].

ist die Rahmentheorie für alle raum-zeitlichen Prozesse. Details der Anfangssingularität kann sie allerdings nicht richtig beschreiben. Hier fehlt bis jetzt eine Theorie, welche die Quantentheorie mit der Allgemeinen Relativitätstheorie vereinigt.

- ▷ Die kosmische Hintergrundstrahlung mit sehr hoher Isotropie und einer PLANCK'schen Frequenzverteilung wurde 1948 von GAMOW vorausgesagt und 1965 von PENZIAS und WILSON entdeckt.

SMOOT entdeckte 1992 sehr geringe Temperaturschwankungen (10^{-5}) dieser Strahlung, deren Verteilung viel spezifische Information für die kosmischen Parameter liefert [BOE05].

Im Jahre 1993 konnte man nachweisen, dass der Ursprung der Hintergrundstrahlung tatsächlich *hinter* den sichtbaren Galaxien liegt: Nach Durchstrahlung der Gasmassen von Galaxienhaufen ist sie geringfügig aber charakteristisch verändert [KIP97]. Im Jahr 1994 wurde dann an einer durch die Hintergrundstrahlung angeregten Kohlenstoff-Linie eines weit entfernten Quasars nachgewiesen, dass die Hintergrundstrahlung früher erwartungsgemäß heißer war (gemessen: 7,4 K, erwartet nach dem Urknall-Modell: 7,58 K) [KIP97].

- ▷ Die beobachteten Mengenverhältnisse von Wasserstoff, Deuterium, Helium-3, Helium-4 und Lithium-7 im Kosmos stimmen mit der Modellvorstellung überein.
- ▷ Die Dunkelheit des Nachthimmels (sog. OLBERS'sches Paradoxon) wird erklärt. Diese simple Tatsache ist überraschend schwierig zu verstehen und wurde vielfach fehlgedeutet. Wesentlich ist u. a. die endliche Lebensdauer der Sterne und die gegenwärtige Materiedichte im Universum [HAR83, KRB01].
- ▷ Das Weltalter ist verträglich mit den (unabhängig bestimmten) Altern von Kugelsternhaufen und Galaxien.

Einzelne dieser Befunde lassen auch alternative Erklärungen zu. Die Stärke des Standardmodells besteht darin, dass es *alle* genannten Befunde gemeinsam erklärt. Ein Alternativmodell müsste dies mindestens auch leisten. Dennoch sollte man sich vor Augen halten, dass das Standardmodell auf sehr weit reichenden Basisannahmen beruht: Universelle und zeitunabhängige Gültigkeit der Naturgesetze, Homogenität und Isotropie der Welt.

Die Aussagen und Probleme von chemisch-biologischen Theorien der Lebensentstehung sollen hier nicht diskutiert werden. Hierbei spielen Anpassungsprozesse an bestimmte Umwelten eine wesentliche Rolle. Im Folgenden soll es lediglich um die ganz grundlegenden physikalisch-chemischen Vorbedingungen für Leben im Kosmos gehen.

2.2 Naturkonstanten und ihre Feinabstimmung

Viele physikalische Gesetze enthalten Naturkonstanten. Dies sind Zahlenwerte bestimmter physikalischer Größen, die nach aller bisherigen Erfahrung zeitlich und räumlich konstant sind. Die Tabelle 2.1 gibt einige Beispiele. Von besonderem Interesse sind dimensionslose

Naturkonstanten, da ihre Zahlenwerte nicht von (evtl. veränderlichen) willkürlichen Maßeinheiten abhängen. Die Tabelle 2.2 zeigt die *Kopplungskonstanten* α für die Stärken der vier bekannten fundamentalen Wechselwirkungen und das Massenverhältnis β von Elektron und Proton, welches die Molekülbildung entscheidend beeinflusst.

Alle bisherigen Experimente bestätigen im Rahmen der Messgenauigkeit die Konstanz der Naturkonstanten. So zeigen z.B. optische Spektren sehr ferner Objekte außer der Rotverschiebung keine Veränderungen gegenüber Laborspektren. Die unveränderte relative Lage der Spektrallinien zeigt, dass die Feinstrukturkonstante α unverändert ist.⁷ Im Folgenden

$e = 1,602\,177\,33 \cdot 10^{-19} \text{ C}$	elektrische Elementarladung
$m_e = 9,109\,389\,7 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$	Ruhemasse des Elektrons
$m_p = 1,672\,623\,1 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$	Ruhemasse des Protons
$c = 299\,792\,458 \frac{\text{m}}{\text{s}}$	Lichtgeschwindigkeit (Vakuum)
$G = 6,672\,59 \cdot 10^{-11} \frac{\text{Nm}^2}{\text{kg}^2}$	Gravitationskonstante
$h = 6,626\,075\,5 \cdot 10^{-34} \text{ Js}$	PLANCK'sches Wirkungsquantum
$\varepsilon_o = 8,854\,187\,817 \cdot 10^{-12} \frac{\text{F}}{\text{m}}$	elektrische Feldkonstante

Tabelle 2.1: Einige wichtige Naturkonstanten

werden nun einige Beispiele für Feinabstimmungen vorgestellt.

2.2.1 Feinabstimmung der elektromagnetischen und der Starren Wechselwirkung

Die Abbildung 2.1 zeigt Wertekombinationen des Paares der Konstanten der elektromagnetischen (α) und der Starren Wechselwirkung (α_S).⁸ Das tatsächlich vorliegende Wertepaar ist durch „hier sind wir“ gekennzeichnet. Es liegt auf einer kleinen „lebensfreundlichen“ Insel nahe an Bereichen, die kein Leben zulassen würden. Diese Bereiche ergeben sich aus kernphysikalischen Überlegungen und Abschätzungen [TEG98, TEG03]. Legt man eine – noch nicht gesicherte – vereinheitlichte Theorie aller Wechselwirkungen zugrunde, so ergeben sich für α noch ganz wesentlich engere Grenzen (senkrechte Linien in der Abbildung 2.1).

⁷MURPHY und Mitarb. haben allerdings kürzlich aus Messungen auf eine Vergrößerung von α um 10^{-5} innerhalb von 10 Mrd. Jahren geschlossen (www.ast.cam.ac.uk/mim/res.html). Dieses Ergebnis muss noch abgesichert werden.

⁸Man beachte die nichtlineare Skalierung der Achsen!

$\alpha_S = 0,08 \dots 14$ (energieabh.)	Feinstrukturkonstante der Starken Wechselwirkung
$\alpha = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{e^2}{\hbar c} = \frac{1}{137,036}$	SOMMERFELD'sche Feinstrukturkonstante der elektromagnetischen Wechselwirkung
$\alpha_W = \frac{m_e^2 c}{\hbar^3} G_F = 3,05 \cdot 10^{-12}$	Feinstrukturkonstante der schwachen Wechselwirkung $G_F = 1,435 \cdot 10^{-62} \text{ Jm}^3$ (FERMI)
$\alpha_G = \frac{Gm_p^2}{\hbar c} = 0,591 \cdot 10^{-40}$	Feinstrukturkonstante der Gravitationswechselwirkung
$\beta = \frac{m_e}{m_p} = \frac{1}{1836,153}$	Massenverhältnis von Elektron und Proton

Tabelle 2.2: Einige wichtige dimensionslose Naturkonstanten

Wäre α_S nur um 3.7% größer, wäre das Diproton (ein Kern aus zwei Protonen) stabil. Das hätte katastrophale Folgen für die Stabilität von Sternen: Das „Wasserstoffbrennen“ würde um den Faktor 10^{18} schneller ablaufen! Es gäbe keinen Wasserstoff und keine organische Chemie, da alle Protonen zu Diprotonen binden würden.

Wäre α_S um 11% kleiner (waagrechte Linie), so wäre das Deuterium nicht stabil. Die wesentlichen Reaktionen zur Heliumsynthese in der Sonne würde dann nicht ablaufen. Es ist fraglich, ob dann überhaupt langlebige Sterne existieren könnten.

2.2.2 Feinabstimmung der elektromagnetischen Wechselwirkung und des Massenverhältnisses von Elektron und Proton

Die Abbildung 2.2 zeigt Wertekombinationen des Paares der Konstanten der elektromagnetischen Wechselwirkung α und des Massenverhältnisses $\beta = \frac{m_e}{m_p}$ von Elektron und Proton.⁹

Auch hier (vgl. Abbildung 2.1) gibt es große Bereiche der Werte von α und β , die kein Leben ermöglichen würden. Größere Werte von β (z.B. eine größere Elektronenmasse) würden größere Fluktuationen der Kerne bewirken und die Stabilität geordneter molekularer Strukturen verhindern. Genauere Abschätzungen finden sich bei TEGMARK [TEG98].

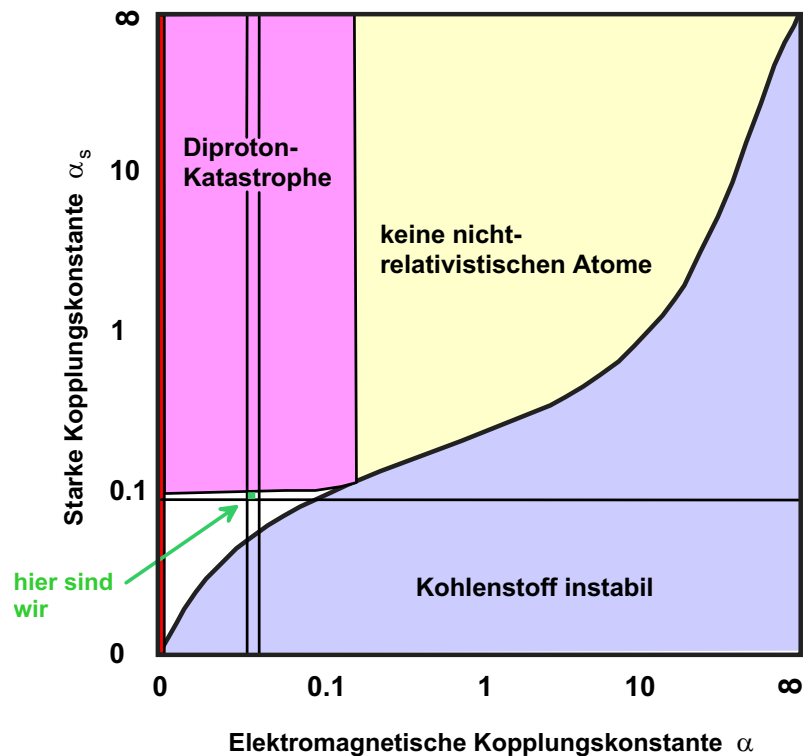


Abbildung 2.1: Feinabstimmung der elektromagnetischen und der Starken Wechselwirkung

2.2.3 Feinabstimmung der „Expansionskraft“ und der Gravitationskraft

Im Standardmodell sind beim Urknall die „Expansionskraft“ und die Schwerkraft mit der unglaublichen Genauigkeit von etwa $1 : 10^{60}$ aufeinander abgestimmt. Die Abbildung 2.3 veranschaulicht das mit einer „Supermaschine“ zur Herstellung eines Kosmos [WIL01]. Dieser ist – wie häufig – eine Dimension erniedrigt als ein sich aufblähender Ballon gezeichnet. Für die sog. Kosmologische Konstante ist eine noch wesentlich genauere Feinabstimmung nötig [KRA98]. Wäre die Expansion stärker, käme es zu keiner Bildung von Galaxien und Sternen; lebensfreundliche Bedingungen würden also nicht entstehen. Wäre sie geringer, so wäre das Weltall schon vor jeder Sternbildung wieder kollabiert.

Die folgenden Abbildungen verdeutlichen denkbare Entwicklungsmodelle des Kosmos nach GALE [GAL82]. Die Abbildung 2.4-1 zeigt die tatsächliche Entwicklung bis zur heutigen großräumigen Homogenität mit lokalen Inhomogenitäten (Galaxien) – offenbar eine feinabgestimmte Spezialität unseres Kosmos. Eine schnellere Ausdehnung (Abbildung 2.4-2) würde zu einem homogenen Universum führen ohne Galaxien mit Sternen und Planeten, auf denen sich Leben entwickeln könnte. Auch eine anfängliche Inhomogenität würde nicht zur Galaxienbildung führen (Abbildung 2.4-3). Eine etwas überwiegende Gravitation würde dagegen rasch in einem Rekollaps enden (Abbildung 2.4-4).

⁹Man beachte wieder die nichtlineare Skalierung der Achsen!

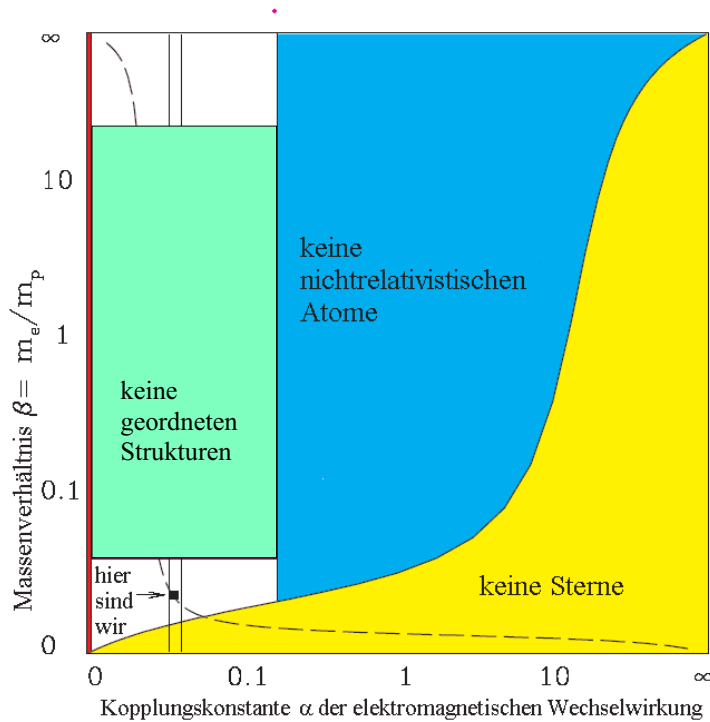


Abbildung 2.2: Feinabstimmung der elektromagnetischen Wechselwirkung und des Massenverhältnisses von Elektron und Proton

2.2.4 Feinabstimmung der Dimensionen von Raum und Zeit

Seit langem wird über die Dimensionenzahl von Raum und Zeit nachgedacht. Warum ist die Zeit eindimensional, der Raum dreidimensional? Oder im Sinne der beiden Relativitätstheorien EINSTEINS: Warum ist das Raum-Zeit-Kontinuum vierdimensional (3+1)? Diese Eigenschaften lassen sich bisher nicht aus physikalischen Theorien ableiten.¹⁰

Es gibt aber Argumente, dass auch hier eine Feinabstimmung auf Leben hin vorliegt, dass also Leben nur in einer eindimensionalen Zeit und einem dreidimensionalen Raum möglich ist.¹¹ Diese Argumente sind von unterschiedlichem Gewicht und setzen voraus, dass die Naturgesetze auch in anderen Dimensionen analog gelten, d. h., dass die Differentialgleichungen lediglich eine veränderte Zahl von Orts- bzw. Zeitkoordinaten haben.

Ein zwei- oder gar eindimensionaler Raum scheint nicht genügend komplexe Strukturen für Lebewesen zuzulassen: Der Blutkreislauf und das Nervennetz könnten keine Überkreuzungen haben. HAWKING diskutiert einen zweidimensionalen Hund, der durch seinen Verdauungstrakt sogar in zwei Teile zerlegt ist [HAW88, S. 207]. Im Rahmen der Allgemei-

¹⁰Lediglich C. F. VON WEIZSÄCKER gibt in seinem Forschungsprogramm der Theorie der Uralternativen eine Begründung für die Dreidimensionalität des Raumes [WEI85].

¹¹Siehe [TEG97]; dort finden sich viele weitere Literaturangaben.

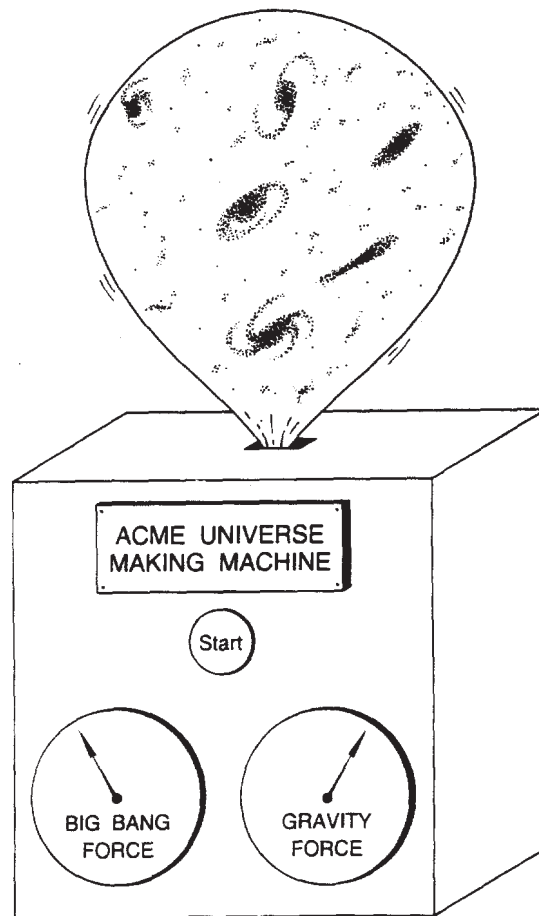


Abbildung 2.3: Feinabstimmung der „Expansionskraft“ und der Gravitationskraft

nen Relativitätstheorie lässt sich außerdem zeigen, dass es in zwei Dimensionen gar keine Gravitation und damit keine stabilen Planetensysteme gibt (WHEELER).

Kann Leben in vier- und höherdimensionalen Räumen existieren? EHRENFEST hat schon 1917 darauf hingewiesen, dass es dort keine stabilen Planetenbahnen und keine (damals klassisch verstandenen) Atome geben kann. Auch im Rahmen der Quantenmechanik wurde später gezeigt, dass es dann keine stabilen Atome gibt (TANGHERLINI 1963).

Andere Zeitdimensionen sind unserem Vorstellungsvermögen nicht zugänglich. Dennoch kann man sie formal in Betracht ziehen. Es zeigt sich, dass die Differentialgleichungen (Naturgesetze) in Zeitdimensionen ungleich 1 von einem Typ sind, der Voraussagen (Vorausrechnungen) praktisch nicht ermöglicht. Es liegt hier – grob gesprochen – eine ähnliche Situation vor wie in der Chaostheorie, wo man die Anfangsbedingungen beliebig genau kennen müsste, um Prognosen berechnen zu können. Zählt man nach TEGMARK [TEG97] die Möglichkeit der prognostischen Naturbeschreibung zu den Voraussetzungen für intel-

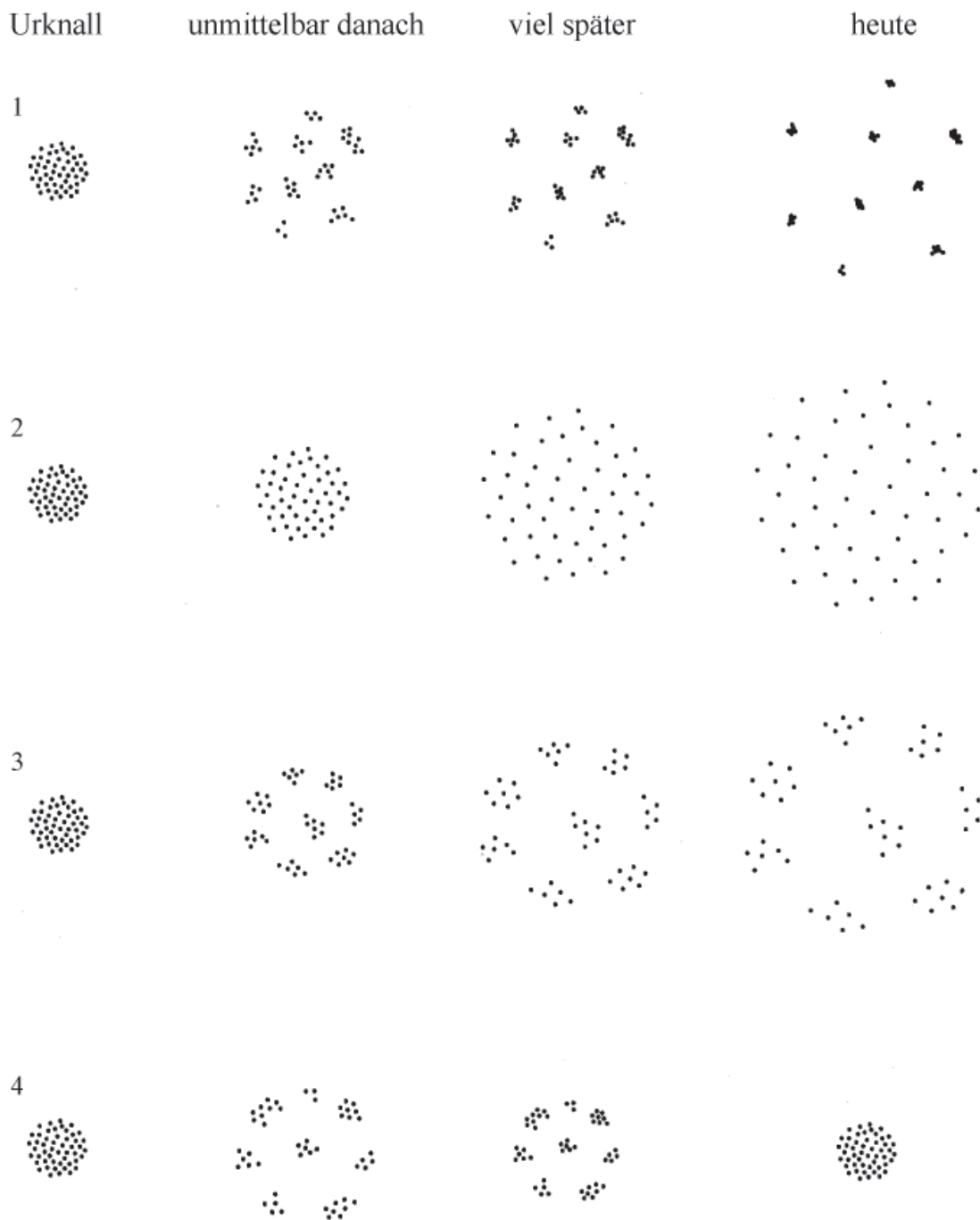


Abbildung 2.4: Entwicklung unseres Kosmos

ligentes Leben,¹² so ist auch die Dimensionenzahl 1 der Zeit ausgezeichnet.

¹²TEGMARK spricht allgemeiner von "self-aware substructures".

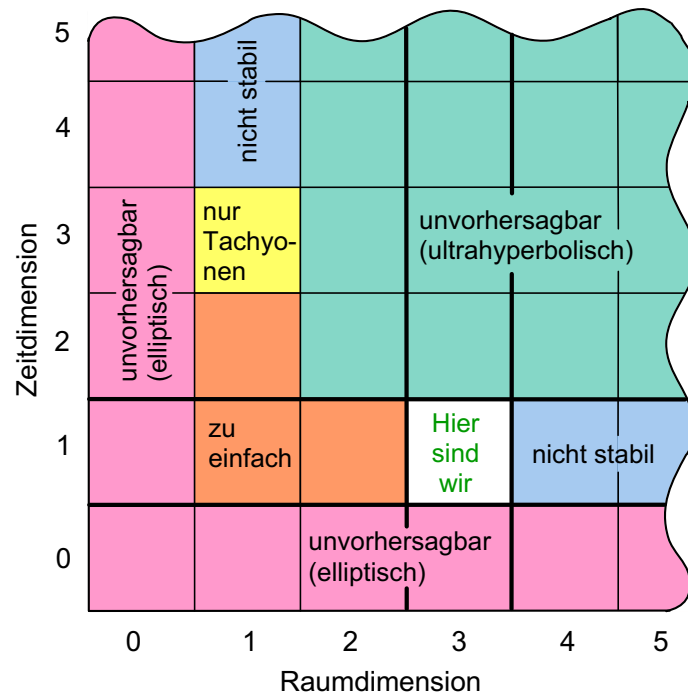


Abbildung 2.5: Leben in anderen Raum-Zeit-Dimensionen?

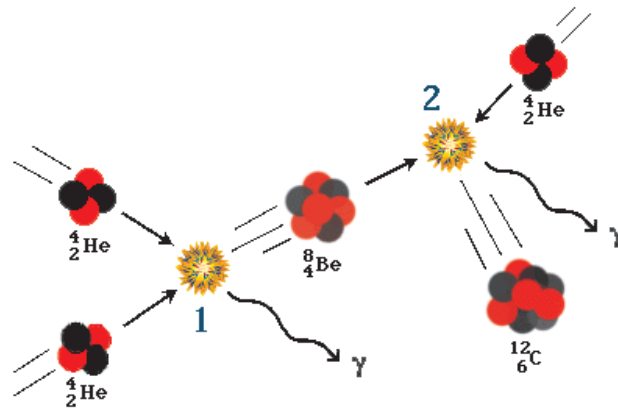


Abbildung 2.6: Der Tripel-Alpha-Prozess

Die Abbildung 2.5 stellt die Eigenschaften der verschiedenen Kombinationen von Raum-Zeit-Dimensionen graphisch dar.¹³

¹³Die angeführten Tachyonen sind Teilchen, welche sich nur mit Überlichtgeschwindigkeit bewegen können.

2.2.5 Feinabstimmung der Kohlenstoff-Synthese

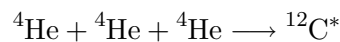
Ein besonders eindrucksvolles Beispiel für eine Feinabstimmung fand man bei der Frage nach der Entstehung von Kohlenstoff, demjenigen chemischen Element, das nach heutigem Wissen eine notwendige Vorbedingung für die Entstehung von Leben ist.¹⁴ Die Tabelle 2.3 zeigt den hohen Kohlenstoffanteil im menschlichen Organismus [VOE92]. Kurz nach

Element	Trockengewicht (%)
C	61,7
N	11,0
O	9,3
H	5,7
Ca	5,0
P	3,3
K	1,3
S	1,0
⋮	⋮

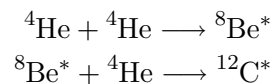
Tabelle 2.3: Chemische Elemente im menschlichen Organismus

dem Urknall entstanden nur die ganz leichten Elemente Wasserstoff, Helium und Lithium. Schwerere Elemente konnten sich zunächst nicht bilden: Helium-5 ist instabil und ebenso Beryllium-8, das aus der Zusammenlagerung von zwei Helium-4-Kernen hätte entstehen können („*Beryllium-Barriere*“ [CHO04, S. 229]). Schwerere Elemente, auch Kohlenstoff, konnten erst später in längeren Zeiträumen unter den Temperatur- und Druckbedingungen im Inneren von Sternen gebildet und bei Nova- und Supernova-Explosionen in den Weltraum geschleudert werden.

Die nahe liegende Reaktion zur Erzeugung von Kohlenstoff-12 (12 Nukleonen) wäre die Verschmelzung von je drei Helium-4-Kernen (α -Teilchen, 4 Nukleonen im Kern) zu (angeregtem) Kohlenstoff-12:



Diese Reaktion ist aber zu selten und damit zu unergiebig; es müssen ja drei Kerne zugleich miteinander reagieren. So wurde stattdessen von SALPETER folgende Reaktion diskutiert:



Sie sind mit der Speziellen Relativitätstheorie verträglich, aber experimentelle bisher nicht nachgewiesen.

¹⁴Ein leicht lesbarer Überblick findet sich bei CHOWN [CHO04, S. 229ff.]; vgl. auch [GRI91]; weitere Details finden sich bei [BAR86].

Zunächst entsteht also ein angeregter Beryllium-8-Kern aus zwei Helium-4-Kernen. Er ist mit einer Lebensdauer von 10^{-17} s extrem langlebig (!) im Vergleich mit der Stoßzeit von He-4-Kernen (10^{-21} s). Diese Dauer würde für 10 000 Stöße reichen. Ein „Treffer“ eines dritten He-4 während der Lebensdauer von ${}^8\text{Be}^*$ ist also hinreichend wahrscheinlich (siehe Abbildung 2.6¹⁵).

Im Jahr 1954 erkannte nun der Astrophysiker und Kosmologe HOYLE, dass auch diese Reaktion nicht genügend ergiebig ist, es sei denn, sie läuft *resonant* ab. Das bedeutet: Da der angeregte Kohlenstoff-12-Kern nur ganz bestimmte Energieniveaus annehmen kann, läuft die Reaktion nur dann mit guter Ausbeute ab, wenn die Massenenergie und die kinetische Energie von ${}^8\text{Be}^*$ und ${}^4\text{He}$ zusammen gerade einem „erlaubten“ Energieniveau des Kohlenstoffs entspricht, wenn die Energien *in Resonanz* sind.¹⁶ HOYLE sagte nun aufgrund der Tatsache, dass heute Leben auf Kohlenstoffbasis existiert, ein (bisher unentdecktes) geeignetes Energieniveau des Kohlenstoff-Kerns bei 7.65 MeV voraus. Dieses wurde tatsächlich experimentell gefunden und liegt nur 4% über der Summe der Massenenergien der Stoßpartner. Dieser merkwürdige Zufall kommt durch ein sehr kompliziertes Zusammenspiel der Kräfte der Starken Wechselwirkung in den Kohlenstoffkernen zustande und wurde erst in jüngster Zeit verstanden und näherungsweise berechnet [FEL05]. Der fehlende Energiebetrag wird leicht aus der kinetischen Energie der Kerne aufgebracht.

Fast noch merkwürdiger ist, dass der Kohlenstoff nicht nach demselben Schema sofort zu Sauerstoff-16 weiter reagiert und dann gar nicht mehr vorhanden wäre:



Tatsächlich hat Sauerstoff-16 ein „resonanzverdächtiges“ Energieniveau. Dieses ist aber für eine ergiebige Reaktion um 1% zu niedrig! Diese Differenz kann hier aber nicht durch kinetische Energie ausgeglichen werden, da diese ja immer positiv ist.

HOYLE war vom Erfolg seiner eigenen anthropischen Voraussage sehr beeindruckt und bekannte später: *“Nothing has shaken my atheism as much as this discovery.”* [WIL93]¹⁷ Und auch für den Physiker und Autor PAUL DAVIES ist ganz offensichtlich, dass hier ein Element eines kosmischen Plans vorliegt.¹⁸

Viele weitere Beispiele für Feinabstimmungen werden bei BARROW und TIPLER [BAR86] und bei ROSS [ROS93] diskutiert.

Es soll noch einmal betont werden, dass es sich bei diesen Feinabstimmungen nicht um Anpassungen handelt, wie sie in der Evolutionsbiologie diskutiert werden. Sie sind nicht zweckmäßige Ergebnisse einer „kosmischen Evolution“, sondern festgestellte, nicht tiefer begründete Voraussetzungen für Leben [EWA97].

¹⁵Quelle: <http://aether.lbl.gov/www/tour/elements/stellar/3alpha.html>

¹⁶Atomkerne haben gemäß der Quantenmechanik ähnlich wie die Elektronenhülle diskrete Energieniveaus.

¹⁷„Nichts hat meinen Atheismus so sehr erschüttert wie diese Entdeckung.“

¹⁸„[...] the most compelling evidence for an element of cosmic design.“ [WIL93]

3 Deutungen der Feinabstimmung

Die festgestellten Feinabstimmungen, über die im Abschnitt 2.2 berichtet wurde, werden als erstaunlich betrachtet, unabhängig von der weltanschaulichen Position des einzelnen Wissenschaftlers. Ihre Deutung ist allerdings ganz unterschiedlich [HAE99]:

- ▷ Die Feinabstimmung wird auf sog. *Anthropische Prinzipien* zurückgeführt.
- ▷ Es werden *Alternativen* zu kohlenstoff-basiertem Leben diskutiert und damit die Feinabstimmung bestritten.
- ▷ Man nimmt die Existenz *unendlich vieler Kosmen* an mit unterschiedlichen Gesetzen und allen möglichen Werten der Naturkonstanten. Unser Kosmos ist dann notwendig auch dabei.
- ▷ Man fordert die Suche nach *neuen Gesetzen*, welche die Feinabstimmung erklären.
- ▷ Man erklärt die Feinabstimmung schlicht als *Zufall*.
- ▷ Man sieht die Feinabstimmung als Hinweis auf einen *Designer*.

3.1 Anthropische Prinzipien

Die geschilderten Voraussetzungen für die Lebensentstehung werden auf ein Prinzip, das *Anthropische Prinzip* zurückgeführt. Es wird unterschiedlich und auch mehr oder weniger weit reichend formuliert. Es lautet in seiner schwachen Form nach CLIFTON [CLI90]:

Das physikalische Universum, das wir beobachten, hat eine Struktur, welche die Existenz von uns als Beobachtern zulässt.

Dieses Prinzip wurde zuerst von dem amerikanischen Physiker R. H. DICKE 1961 formuliert [BRE84, S. 24]:

Weil es in diesem Universum Beobachter gibt, muss das Universum Eigenschaften besitzen, die die Existenz von Beobachtern zulassen.

BARROW und TIPLER [BAR86, p. 16] formulieren ausführlicher:

Die beobachteten Werte aller physikalischen und kosmologischen Größen sind nicht beliebig. Sie nehmen vielmehr Werte an, die eingeschränkt sind durch die Forderung, dass es Regionen gibt, wo sich Leben auf Kohlenstoff-Basis entwickeln kann, und durch die Forderung, dass das Universum alt genug ist, dass das bereits passiert ist.

Dies sind verschiedene Fassungen des sog. Schwachen Anthropischen Prinzips (abgekürzt: WAP¹).

Es gibt Fassungen des Anthropischen Prinzips, die mehr aussagen als das WAP, wie z.B. folgende:

*Das Universum muss in seinen Gesetzen und in seinem speziellen Aufbau so beschaffen sein, dass es irgendwann unweigerlich einen Beobachter hervorbringt.*²

Diese und ähnliche Formulierungen werden als *Starkes Anthropisches Prinzip* (abgekürzt: SAP³) bezeichnet. Sie gehen auf B. CARTER [CAR74] zurück. Die Entstehung von Leben wird hier zur notwendigen Eigenschaft des Universums erklärt. Das Universum zielt auf Leben hin. Dies ist eine teleologische Aussage⁴.

Eine noch weiter gehende Formulierung des Anthropischen Prinzips lehnt sich an eine bestimmte Theorie des (bis heute nicht voll verstandenen) quantenmechanischen Messprozesses an. Eine – nur von wenigen Physikern geteilte – Deutung sagt, dass das Resultat einer quantenmechanischen Messung erst fest steht, erst verwirklicht wird, wenn es von einem bewussten Beobachter wahrgenommen wird. So lautet eine idealistische Interpretation des Anthropischen Prinzips:

Beobachter sind notwendig, um das Universum in Existenz zu rufen.

WHEELER spricht vom *Teilnehmenden Anthropischen Prinzip* (abgekürzt: PAP⁵).

Der Mensch wird so zur Ursache der Existenz des Universums. Hier scheinen die Begründungszusammenhänge auf den Kopf gestellt! Soll man sich hier eine in die Vergangenheit wirkende Verursachung vorstellen?

Verfolgt man diese Spekulation weiter, so kommt man zu einem *Letzten Beobachter* (Ultimate Observer), der alle einzelnen Beobachtungen koordiniert. BARROW und TIPLER versuchen dieser theistischen Konsequenz zu entgehen und stellen das *Finale Anthropische Prinzip* (abgekürzt: FAP⁶) auf [BAR86]. Sie formulieren:

Im Universum muss intelligentes, informationsverarbeitendes Leben entstehen und für immer existieren.

und kommentieren:

„A modern-day theologian might wish to say that the totality of life at the Omega Point is omnipotent, omnipresent and omniscient!” [BAR86, p. 682]⁷

¹Nach der englischen Bezeichnung **Weak Anthropic Principle**

²Formuliert nach BREUER [BRE84, S. 24]

³Nach der englischen Bezeichnung **Strong Anthropic Principle**

⁴télos (griech.) – Ende, Ziel, Zweck; vgl. auch [SPA89].

⁵Nach der englischen Bezeichnung **Participatory Anthropic Principle**

⁶Nach der englischen Bezeichnung **Final Anthropic Principle**

⁷„Ein moderner Theologe würde wohl gerne sagen, dass die Gesamtheit des Lebens am Omega-Punkt allmächtig, allgegenwärtig und allwissend ist.“

Die Autoren nehmen dieses Prinzip als Auswahlprinzip, um aus den nach der Allgemeinen Relativitätstheorie möglichen Metriken der Raum-Zeit diejenige auszuwählen, welche Leben bis in alle Ewigkeit ermöglichen. Die Ausformulierung dieses Programms bis hin zur physikalischen Begründung von Unsterblichkeit und Auferstehung verliert sich im Spekulativen und kann wohl nur als Science Fiction verstanden werden.⁸

Grundsätzlich ist es naturwissenschaftlich legitim und üblich, Phänomene auf Prinzipien zurückzuführen und so – zusammen mit den speziell vorliegenden Rand- und Anfangsbedingungen – zu erklären. Es ist allerdings umstritten, welchen Status und welche Erklärungskraft die Anthropischen Prinzipien tatsächlich haben. Insbesondere wird das WAP nicht als Erklärung verstanden, sondern eher als die Forderung, dass Beobachter bei der Aufstellung von Theorien mit einzubeziehen sind. Jede kosmologische Theorie muss damit verträglich sein, dass es Beobachter gibt.⁹

Eine vertiefende Diskussion Anthropischer Prinzipien findet sich bei B. SUCHAN¹⁰

3.2 Silizium statt Kohlenstoff?

Diese „Deutung“ bestreitet, dass überhaupt eine Feinabstimmung auf Leben hin vorliegt.

Im Rückblick erkennt man eine Feinabstimmung auf kohlenstoff-basiertes Leben hin. Nun wäre es ja auch denkbar, dass Leben auf einer anderen als auf Kohlenstoff-Basis entstehen kann. Dann wäre eben eine andere Art von Leben entstanden und es läge gar keine spezielle Feinabstimmung vor.

Schon seit längerer Zeit (J. SCHEINER 1891, J. E. REYNOLDS 1893) wird vor allem über die Eignung des Siliziums für die Lebensentstehung spekuliert.¹¹ Es hat eine ähnliche Elektronenstruktur wie Kohlenstoff und analog gebaute kleine Moleküle (z.B. CH₄, SiH₄). Allerdings kann Silizium nur relativ kurze stabile Ketten bilden; seine Möglichkeit, „hängende“ Moleküle zu bilden ist gering, und sein Oxidationsprodukt SiO₂ ist fest (Sand) – im Gegensatz zum gasförmigen CO₂. All dies spricht gegen eine silizium-basierte Biochemie. Fundiertere Vergleiche werden allerdings erst möglich sein, wenn die chemische Evolution der uns bekannten kohlenstoff-basierten Lebensformen verstanden ist.

3.3 Viele Universen

Die Feinabstimmung wird – im Gegensatz zu dem obigen Argument – als notwendig vorkommend erwiesen und damit als nicht weiter erklärungsbedürftig.

BARROW und TIPLER [BAR86] argumentieren mit Entstehungsmodellen des Kosmos, die weit über das Standardmodell hinausgehen. Hierbei wird diskutiert, dass es nicht nur

⁸Vgl. [TIP96]. Eine scharfe Kritik an TIPLERS „Physik der Unsterblichkeit“ findet sich bei LÖW [LOE94] und MUTSCHLER [MUT05, S. 277].

⁹M. STÖCKLER spricht von einer „epistemischen Konsistenzforderung“ [STO91].

¹⁰Vgl. in diesem Band ...

¹¹ Vgl. www.daviddarling.info/encyclopedia/S/siliconlife.html.



Abbildung 3.1: Viele Welten?

einen Kosmos, sondern viele Kosmen mit unterschiedlichen Anfangsbedingungen, unterschiedlicher Struktur und verschiedenen Naturkonstanten und vielleicht auch veränderten Naturgesetzen gibt (siehe Abbildung 3.1¹²). Das ist wissenschaftlich durchaus denkbar.¹³

Falls es nun unendlich viele Kosmen gibt, in denen alle möglichen Gesetze, Konstanten und Rand- und Anfangsbedingungen realisiert sind, muss darunter auch unser Universum mit Notwendigkeit vorkommen. Und dann gibt es auch keinen Grund, sich darüber zu wundern oder nach Deutungen der Feinabstimmung zu suchen.

Von diesem kosmischen Vielwelten-Szenario ist die EVERETT'sche Vielwelten-Theorie zu unterscheiden, welche die Zufalls-Problematik des quantenphysikalischen Messprozesses auf radikale Weise löst: Bei jeder Messung wird nicht nur *einer* der möglichen Messwerte – zufällig – realisiert, sondern sämtliche quantenmechanisch möglichen Messwerte, allerdings in jeweils unterschiedlichen Kosmen! Jede Messung vervielfacht die Zahl der Kosmen. Diese stehen nicht miteinander in Wechselwirkung.¹⁴ KANITSCHIEDER bemüht diese Theorie in entsprechender Weise wie BARROW und TIPLER, um die Feinabstimmung als notwendig zu erweisen [KAN85]. Es ist sehr fraglich, ob diese spezielle Theorie des Messprozesses auch nur irgend etwas mit der Feinabstimmung zu tun hat.

Viele Kosmen könnten auch *im Laufe der Zeit* durch ein oszillierendes Weltall entstehen mit Expansion, Kollaps, Expansion usw. Diese Vorstellung wird neuerdings wieder im Rahmen der Stringtheorie diskutiert.¹⁵

¹²Nach: <http://abyss.uoregon.edu/~js/ast123/lectures/lec19.html>

¹³Einen knappen Überblick über neuere Entwicklungen geben BLOME und ZAUN [BLO04, S. 86ff.]

¹⁴Siehe z.B. [RAE96, S. 121ff.], [BAG04, p. 263ff.].

¹⁵Vgl. [WIL93], [BLO04, S. 94ff.].

Kritisch muss hier angemerkt werden, dass solche Vielwelten-Szenarien zwar auf quantentheoretischen Überlegungen fußen, aber derzeit einen sehr spekulativen Charakter haben. Vor allem ist keine Möglichkeit in Sicht, solche anderen Kosmen empirisch festzustellen. Damit unsere Welt mit Notwendigkeit vorkommt, müsste es tatsächlich unendlich viele Welten geben und alle möglichen Eigenschaften müssten auch vorkommen. Dies sind sehr weit reichende Annahmen. Warum sollten sie gelten?

Schließlich muss man darauf hinweisen, dass bei der Vielwelten-Argumentation das Gebot der Sparsamkeit der Mittel (das „Rasiermesser des OCKHAM“) bei der Theoriebildung extrem stark verletzt ist.¹⁶ Zur Erklärung – oder eher Wegerklärung – der Feinabstimmung werden unendlich viele Kosmen bemüht. „*Geht es wirklich nicht sparsamer?*“ fragt auch KANITSCHIEDER [KAN85].

Bei der Deutung der Feinabstimmung durch viele Universen ist besonders auffällig, dass philosophische und weltanschauliche Vorentscheidungen ins Spiel kommen. KANITSCHIEDER sagt ganz offen, dass er die Vielwelten-Theorie

„*vom wissenschaftlichen Standpunkt aus*“ vorzieht, „*denn sie bleibt im Rahmen einer naturalistischen Ontologie; es werden viele physikalische Welten gebraucht, aber keine transzendent-metaphysischen.*“ Einen „*transzendenten Koordinator*“ scheint man dann nicht zu benötigen [KAN85].

In ähnlicher Weise äußert sich H. OBERHUMMER¹⁷ in einem Artikel über das Anthropische Prinzip:

„*Das Konzept eines Multiversums ist höchst spekulativ und wird es möglicherweise auch bleiben, da die anderen Universen prinzipiell von uns nie beobachtet werden können.*

Diese Hypothese beinhaltet aber zumindest eine plausible Basis für anthropische Überlegungen. Denn so ergibt sich auf ganz natürliche Weise, dass unser Universum die richtige Feinabstimmung hat, um Leben hervorbringen zu können.“ [OBE02]

Beiden Autoren ist es ein Anliegen, den Boden des Naturalismus nicht zu verlassen („*naturalistische Ontologie*“, „*ganz natürliche Weise*“). Das scheint die allgemein akzeptierte naturwissenschaftliche Vorgehensweise des *methodischen Atheismus*¹⁸ zu sein. Allerdings ist die Bemühung von prinzipiell nicht beobachtbaren Welten methodisch äußerst fragwürdig und selbst metaphysikverdächtig! Es wäre zu untersuchen, ob bei den hier diskutierten Grenzfragen das Prinzip des methodischen Atheismus noch sinnvoll angewendet werden kann.

TEGMARK¹⁹ sieht immerhin folgende Alternative:

¹⁶WILHELM VON OCKHAM (1285–1349): „*Wesenheiten soll man nicht über Gebühr vermehren, denn es ist eitel, etwas mit mehr zu erreichen, was mit weniger zu erreichen möglich ist.*“ Zit. nach [BL04, S. 98].

¹⁷Prof. Dr. H. OBERHUMMER, Institut für Kernphysik der TU Wien, Leiter der Abt. Nukleare Astrophysik

¹⁸Metaphysische Überlegungen und insbesondere die Frage nach Gott werden aus der naturwissenschaftlichen Methodik ausgeklammert.

¹⁹Prof. Dr. M. TEGMARK, Dept. of Physics and Astronomy, Univ. of Pennsylvania; www.asa3.org/archive/evolution/200006/0102.html.

„Either God fine-tuned the Universe for us to be here, or there are many universes, each with different values of the fundamental constants [...]“²⁰

Der Astrophysiker H. LESCH²¹ drückt sich dagegen ganz unverblümt aus. Auf die Interview-Frage „Glauben Sie an die Viele-Welten-Theorie? Leben wir in einem Multiversum?“ sagte er:

„Nein. Das ist eine Sache, mit der kann ich überhaupt nichts anfangen. Ehrlich gesagt, ist das der verzweifelte Versuch, um Gott herum zu kommen. Man versteht nicht, warum dieses eine Universum so wahnsinnig tolle Eigenschaften hat, also versucht man, das mit vielen Universen zu machen. Das ist für mich ein naturwissenschaftlich völlig sinnloser Ansatz, denn andere Universen entziehen sich per Definition einer experimentellen Überprüfung.“²²

3.4 Unbekannte Gesetze?

Die Feinabstimmung wird lediglich als ein Hinweis auf noch unbekanntere „stärkere“ [KAN85, S. 617] gesetzmäßige Zusammenhänge angesehen.

Das, was als merkwürdig und überraschend erscheint, ist einfach noch nicht naturwissenschaftlich verstanden. KANITSCHIEDER hält das Anthropische Prinzip für etwas Vorläufiges:

„Es ist ein Platzhalter für einen zu entdeckenden Mechanismus [...] es zeigt auf vorher unbemerkt gebliebene Lücken des Zusammenhangs.“²³

Das Zufällige soll deshalb durch das Auffinden von Gesetzmäßigkeiten erklärt und so eliminiert werden.

Diese Forderung erscheint berechtigt als Forderung nach einem wissenschaftlichen Arbeitsprogramm. So wurde etwa das kosmologische Standardmodell von GUTH und LINDE zum sog. *Inflationären Modell* erweitert [BLO04, S. 63ff.]. Darin erscheint die extrem empfindliche Balance zwischen der abstoßenden Kraft der Expansion und der anziehenden Schwerkraft (vgl. Abschnitt 2.2.3) als *Folgerung* aus diesem erweiterten Modell. Allerdings hat sich herausgestellt, dass auch dieses erweiterte Modell feinabgestimmter Konstanten bedarf. GUTH und STEINHARDT schreiben:

²⁰ „Entweder hat Gott das Universum feinabgestimmt, damit wir hier existieren, oder es gibt viele Universen, die alle unterschiedliche Werte der fundamentalen Naturkonstanten haben [...]“ Siehe auch [CHO03, S. 140].

²¹ Prof. Dr. H. LESCH, Prof. f. theoret. Astrophysik an der Universität München; Lehrbeauftragter an der Hochschule f. Philosophie, München; Wissenschaftssendung „Alpha Centauri“ bei BR-Alpha.

²² www.wasistzeit.de/interviews/lesch.pdf (Oktober 2002)

²³ [KAN91, S. 280]; zit. nach [MUT05].

„Leider erfordert der notwendige slow-rollover-Phasenübergang²⁴ eine sehr empfindliche Abstimmung der Parameter; die Rechnungen liefern nur dann vernünftige Ergebnisse, wenn sich die Werte der Parameter in wohldefinierten, engen Grenzen bewegen. Die meisten Theoretiker (einschließlich der Autoren dieses Artikels) halten dies für wenig einleuchtend.“

Die Autoren hoffen, „vielleicht realistischere Versionen der vereinheitlichten Theorien zu finden, in denen ein slow-rollover-Übergang ohne besonders empfindliche Abstimmung der Parameter eintritt.“ [GUT84, S. 91]

Man erkennt hier die Motivation, die Feinabstimmung loszuwerden. Unabhängig von den Details der neuen Theorie wird aber deutlich, dass das Problem nicht gelöst, sondern nur verschoben wird. Für andere Feinabstimmungen kann man Ähnliches vermuten.

Sollten tatsächlich einmal Theorien gefunden werden (oder gar eine "theory of everything (TOE)"), die selbst ohne feinabgestimmte Parameter auskommen, so bliebe dennoch die Frage, warum unsere Welt gerade solch raffinierten Gesetzen gehorcht, welche zu den lebensnotwendigen Feinabstimmungen führen.

3.5 Alles Zufall?

Nicht zuletzt kann man die Feinabstimmung schlicht als zufällig und damit als nicht weiter erklärungsbedürftig ansehen. So schrieb etwa E. TRYON [TRY73]:

„[...] our Universe is simply one of those things which happen from time to time.“²⁵

Diese Deutung der Feinabstimmung sieht richtig, dass auch das Unwahrscheinliche gelegentlich passiert: Irgend jemand bekommt eben tatsächlich den Millionengewinn im Lotto. Mehr steckt nicht dahinter. Oder doch?

Mit dem Hinweis auf den Zufall ist ja gar keine Erklärung gegeben. Zum einen ist man vor allem bei Naturereignissen sehr geringer Wahrscheinlichkeit nicht bereit, den Zufall als Begründung zu akzeptieren: Wenn beispielsweise ein Ziegelstein ohne erkennbare Ursache nach oben fliegt, so wird man nach Ursachen suchen und sich nicht damit zufrieden geben, dass es eine ganz extrem kleine Wahrscheinlichkeit gibt, dass alle Atome des Ziegelsteins sich *zufällig* zugleich nach oben bewegen.

Zum anderen ist der Begriff des *Zufalls* nach KANT ein *limitativer Begriff*, ein Grenzbegriff, der etwas verneint, ohne selbst eine positive Bestimmung zu haben: Zufall ist in den Naturwissenschaften Nicht-Gesetz; er markiert lediglich die Grenze der Berechenbarkeit und Vorhersagbarkeit durch Gesetze. Der Zufall *bewirkt* nichts [MUT97]; er ist nicht Ursache von etwas.

²⁴Ein symmetriebrechender Übergang vom „falschen“ zum „wahren“ Vakuum bei dem eine beschleunigte Expansion auftritt; siehe [GUT84, S. 82f.].

²⁵„Unser Universum ist einfach eines dieser Dinge, die ab und zu geschehen.“

Insbesondere kann und darf zufälliges Geschehen im Rahmen der Methodik der Naturwissenschaften nicht *gewertet* werden. Dort haben wir es lediglich mit Wahrscheinlichkeitsverteilungen zu tun. Wer ein Geschehen als *planlos* oder *absichtslos* wertet, wie es der umgangssprachliche Zufallsbegriff nahe legt („blinder Zufall“), verlässt den naturwissenschaftlichen Bereich und gibt eine Deutung. Entscheidend ist nun, dass dies nicht die einzig mögliche Deutung zu sein braucht. In anderen Zusammenhängen kann zufälliges Geschehen durchaus planvoll und sinnvoll sein. Dazu zwei Beispiele:

Im Schachspiel ist beim Läufer die Zuglänge durch die Schachregeln nicht festgelegt, sondern nur die Zugrichtung (diagonal). Einem unkundigen Zuschauer werden in einem Spiel die Züge deshalb teils gesetzmäßig teils zufällig erscheinen. Gerade in der scheinbar zufälligen Wahl der Zuglängen verwirklicht sich aber die Strategie (der Plan, die Absicht) des erfahrenen Spielers [MUT97]!

Der Autoverkehr auf einer Straße hat viele Merkmale, die zufällig sind: Die Typen der vorbeifahrenden Autos, ihre Geschwindigkeiten, die Fahrzeugabstände usw. Sie sind zufallsverteilt für eine Planungsbehörde oder einen Polizisten am Straßenrand. Aus der Sicht der einzelnen Autofahrer wäre es aber unsinnig, dieses Geschehen deshalb als planlos oder sinnlos zu werten. Jede einzelne Fahrt kam ja aufgrund eines Willensentschlusses zustande!

Auf die Naturwissenschaften bezogen bedeutet dies, dass auch hier dem zufälligen Geschehen in einem anderen Deutungsrahmen möglicherweise ein Sinn, ein Plan zugeordnet werden kann. Der Hinweis auf die Zufälligkeit der Feinabstimmung ist also zunächst unbestimmt, was die Interpretation des Zufälligen anbelangt. Für eine bestimmte Deutung sind dann allerdings außerwissenschaftliche Vorentscheidungen nötig.

Nach KANT ist „*die Gesetzlichkeit des Zufälligen Zweckmäßigkeit*“ (KU, B 344). „KANT unterstellt, dass dasjenige, was vom Standpunkt des Naturwissenschaftlers als bloßer Zufall erscheint, von einem teleologischen Gesichtspunkt als Zweckmäßigkeit interpretiert werden kann.“ [MUT92, S. 92],[MUT05, S. 244ff.]

3.6 Design

Manche deuten die Feinabstimmung agnostisch: Es ist keine tiefere Begründung bekannt, es gibt ja vielleicht gar keine. Das Zufällige steht in keinem Sinnzusammenhang. Muss man sich damit abfinden? Viele sind damit nicht zufrieden. Der Kosmologe HAWKING bemerkte dazu ganz treffend:

„Der Mensch lebt nicht vom Brot allein. Wir alle wollen wissen, woher wir kommen.“

Es ist auch eine Designer-Deutung möglich: Ein genialer Designer, eine Intelligenz hat unser Universum nach seinem Plan so gemacht und vorbereitet, dass Leben entstehen konnte und bestehen kann. Die Naturgesetze, Konstanten und Randbedingungen haben Sinn im Hinblick auf das Ziel, dass Leben ermöglicht wird. Der Theologe PANNENBERG deutet das theistisch aus der Sicht des Christen und zeigt, dass ich die Zufälligkeit der Naturkonstanten als Wahl Gottes deuten kann, die er zu meinen Gunsten getroffen hat [MUT97, S. 9].

Der Theologe EVERS urteilt anders:

„Die so kontingent erscheinende Feinabstimmung der komologisch relevanten Parameter ist nicht als überzeugender Hinweis auf eine den Kosmos zur Hervorbringung von Leben eingerichtet habende Intelligenz zu werten. Es bleibt stets eine physikalisch gleichwertige Alternative, die ‚Einrichtung‘ unseres Kosmos als rein statistische Variante einer Vielzahl von Universen zu betrachten.“ [EVE00]

Die kritischen Überlegungen zur Vielweltentheorie (siehe Abschnitt 3.3) erweisen allerdings die Gleichwertigkeit dieser Alternative als recht fragwürdig.

Die Designer-Deutung transzendiert den naturalistischen Erklärungsrahmen. Sie harmonisiert mit dem Schwachen Anthropischen Prinzip (vgl. Abschnitt 3.1); sie kann im Sinne des Starken Anthropischen Prinzips verstanden werden. Sie ist wohl keinesfalls unplausibler als etwa die Deutung mittels Vielwelten-Szenarien.

Der teleologische, finale Charakter dieser Deutung mag vielen Naturwissenschaftlern verdächtig erscheinen. Haben kausale Mechanismen nicht längst alle finalen Erklärungen verdrängt? Mit einer finalen Betrachtungsweise braucht allerdings gar keine andere Art von Kausalität eingeführt zu werden. Kausalität und Finalität müssen nicht als Konkurrenten oder Gegensätze angesehen werden. Finalität ist eine Sicht, in der die Kausalität Mittelcharakter hat; sie wird als Mittel angesehen, um bestimmte Zwecke zu erreichen.²⁶

Es geht hier ausdrücklich nicht um den Versuch eines Gottesbeweises. Das Design-Argument ist aber ein sehr bemerkenswerter Hinweis auf Gott. Gottesbeweise sind im streng logischen Sinn ja gar nicht möglich. R. Löw formuliert als ein Fazit seines Buches über „Die neuen Gottesbeweise“:

„Ein logisch gelungener Beweis Gottes, gäbe es ihn, wäre Blasphemie: Kein Endlicher ergründet Gott, indem er ihn zur Offenbarung seiner Existenz zwingt. Das schließt die Möglichkeit der ‚Wege‘ nicht aus ...“ [LOE94, S. 196]

Löw meint damit die „Gottesbeweise“, die *Fünf Wege* (quinque viae) des THOMAS V. AQUIN. Dieser verwendet in seinen einleitenden Sätzen nie den Begriff *Beweis* (demonstratio), sondern spricht von *Wegen*, von an der Erfahrung orientierten rationalen Orientierungshilfen [LOE94, S. 72]. In diesem eingeschränkten Sinne kann die festgestellte Feinabstimmung ein Hinweis auf einen planenden Gott sein.

Die Designer-Deutung hat allerdings darin ihre Grenze, dass sie nur wenig Spezifisches über den Designer zu sagen weiß. Dass hier der Dreieine Gott, zu dem sich die Christen bekennen, am Werk ist, kann aus naturwissenschaftlicher Sicht nicht deutlich werden.

So sieht das auch einer der führenden Kosmologen, A. R. SANDAGE²⁷. Er wurde erst im Alter von 50 Jahren Christ und bejaht die oft gestellte Frage, ob man als Naturwissenschaftler zugleich Christ sein könne, mit dem Hinweis auf Design in der Welt:

²⁶Siehe z.B. [MUT05, S. 118ff.].

²⁷Die New York Times nannte ihn „The grand old man of cosmology“. Er entdeckte den ersten Quasar, machte Altersbestimmungen von Kugelsternhaufen und arbeitete an der Neubestimmung der HUBBLE-Konstanten.

”Yes. The world is too complicated in all its parts and interconnections to be due to chance alone. I am convinced that the existence of life with all its order in each of its organisms is simply too well put together.” [LIG90]²⁸

Er weiß dabei auch um die Begrenztheit einer tiefer gehenden Gotteserkenntnis aus der Natur:

”The nature of God is not to be found within any part of the findings of science. For that, one must turn to the Scriptures.”²⁹

Für das biblisch-christliche Denken ist die Design-Deutung ganz selbstverständlich. Gott offenbart sich als der Redende, dessen Wort geschieht. Er ist Schöpfer und Gesetzgeber der Welt und zudem ihr Erhalter und Vollender.

Besonders bemerkenswert ist die Aussage, nach der Gott die Erde *wohnlich* gestaltet hat. Hier wird etwas von Gottes Absicht deutlich. Er schafft dem Menschen Lebensraum:

„Denn so spricht der Herr, der die Himmel geschaffen, er, der alleinige Gott, der die Erde gebildet und der sie gemacht, der sie befestigt hat – nicht zur Öde hat er sie erschaffen, zum Wohnen hat er sie gebildet – : ich bin der Herr und keiner sonst.“ (Jesaja 45,18)

Vor allem aber bereitet Gott eine Erde vor, auf der er selbst wohnen kann: *„Und das Wort ward Fleisch und wohnte unter uns.“* (Joh. 1,14a) Eine solche Aussage greift weit über die Designer-Deutung hinaus. PANNENBERG formuliert:

„So wenig diese Thesen [des Anthropischen Prinzips] einen spezifisch physikalischen Erklärungswert beanspruchen können, so eindrucksvoll haben sie doch herausgearbeitet, dass das Universum de facto so eingerichtet ist, dass es den Bedingungen für die Hervorbringung intelligenter Wesen genügt. Theologische Interpretation darf über diese Feststellung hinausgehen zu der Aussage, dass sich in diesem Sachverhalt die auf die Inkarnation des göttlichen Logos in einem Menschen bezogene Ökonomie des göttlichen Schöpfungswerkes bekundet.“ [PAN91, S. 138]

²⁸ *„Die Welt ist viel zu kompliziert in all ihren Teilen und Wechselbeziehungen, als dass man das allein dem Zufall zuschreiben könnte. Ich bin überzeugt, dass das bestehende Leben mit all seiner Ordnung in all seinen Organismen einfach viel zu gut zusammenpasst.“*

²⁹ *„Das Wesen Gottes ist nicht irgendwo in naturwissenschaftlichen Entdeckungen zu finden. Dazu muss man sich an die Bibel wenden.“ [LIG90]*

Literaturverzeichnis

- [BAG04] BAGGOTT, J.: Beyond measure: Modern physics, philosophy, and the meaning of quantum theory. New York: Oxford University Press 2004. [14](#)
- [BAR86] BARROW, J. D., TIPLER, F. J.: The Anthropic Cosmological Principle. Oxford: Clarendon Press 1986. [14](#), [2.2.5](#), [3.1](#), [3.3](#)
- [BLO04] BLOME, H.-J., ZAUN, H.: Der Urknall. Anfang und Zukunft des Universums. München: Verlag C. H. Beck 2004. [13](#), [15](#), [16](#), [3.4](#)
- [BOE93] BÖRNER, G., EHLERS, J. und MEIER, H. (Hrsg.): Vom Urknall zum komplexen Universum. Die Kosmologie der Gegenwart. München, Zürich: Piper 1993. [2](#), [5](#)
- [BOE05] BÖRNER, G.: Der Nachhall des Urknalls. Physik Journal 4(2) (2005), 21–27. [2.1](#)
- [BRE84] BREUER, R.: Das anthropische Prinzip. Der Mensch im Fadenkreuz der Naturgesetze. Frankfurt/M., Berlin, Wien: Ullstein 1984. [2](#), [1](#), [3.1](#), [2](#)
- [CHO03] CHOWN, M.: Das Universum nebenan. München: dtv 2003. [20](#)
- [CHO04] CHOWN, M.: Die Suche nach dem Ursprung der Atome. Wiesbaden: Marix Verlag 2004 (Originalausgabe: The magic Furnace. London: Jonathan Cape 1999). [2.2.5](#), [14](#)
- [CLI90] CLIFTON, R. K.: John D. Barrow and Frank J. Tipler: The Anthropic Cosmological Principle. Science and Christian Belief, Vol 2, No 1 (1990), p. 41-46. [3.1](#)
- [CAR74] CARTER, B.: Large Number Coincidences and the Anthropic Principle in Cosmology. In: LONGAIR, M. S.: Confrontation of Cosmological Theories with Observational Data. IAU-Symposium, S. 291 (1974). [3.1](#)
- [DAV88] DAVIES, P.: The Cosmic Blueprint: New Discoveries in Nature's Creative Ability to Order the Universe. New York: Simon and Schuster 1988. [1](#)
- [EVE00] EVERS, D.: Raum – Materie – Zeit. Schöpfungstheologie im Dialog mit naturwissenschaftlicher Kosmologie. Tübingen: Mohr Siebeck 2000. [3.6](#)
- [EWA97] EWALD, G.: Die Physik und das Jenseits. Materialdienst der Evang. Zentralstelle für Weltanschauungsfragen (EZW), Jg. 60 (1) (1997), S. 1–13. Abgedruckt in: Evangelium und Wissenschaft. Beiträge zum interdisziplinären Gespräch (Karl-Heim-Gesellschaft, Marburg) Heft 31 (Mai 1997), S. 4–22. [2.2.5](#)

- [FEL05] FELDMEIER, H., NEFF, TH.: Von Schalen, Clustern und Halos – moderne Aspekte der Kernstruktur. *Physik Journal* 4 (2005) Nr. 1, S. 29–35. [2.2.5](#)
- [GAL82] GALE, G.: Das anthropische Prinzip: kein Universum ohne Mensch. *Spektrum der Wissenschaft*. S. 90–99. Febr. 1982. [2.2.3](#)
- [GIE97] GIESEKUS, H.: Glaubenswagnis. Leben und Erkennen aus der Sicht des Blaise Pascal. Wuppertal: R. Brockhaus 1997. [1](#)
- [GRI91] GRIBBIN, J. und REES, M.: Ein Universum nach Maß. Bedingungen unserer Existenz. Basel, Boston, Berlin: Birkhäuser Verlag 1991. [6](#), [14](#)
- [GUT84] GUTH, A. H., STEINHARDT, P. J.: Das inflationäre Universum. *Spektrum der Wissenschaft*, Juli 1984. [3.4](#), [24](#)
- [HAE99] HÄGELE, P. C.: Ist der Kosmos für den Menschen gemacht? Überlegungen zum Anthropischen Prinzip. In: BECKERS, E., HÄGELE, P. C., HAHN, H., ORTNER, R. (Hrsg.): *Pluralismus und Ethos der Wissenschaft*. Gießen: Verlag des Professorenforums 1999. [3](#)
- [HAR83] HARRISON, E. R.: *Kosmologie. Die Wissenschaft vom Universum*. Darmstadt: Verlag Darmstädter Blätter 1983. [2.1](#)
- [HAW88] HAWKING, STEPHEN W.: *Eine kurze Geschichte der Zeit. Die Suche nach der Urkraft des Universums*. Reinbek b. Hamburg: Rowohlt 1988. [2.1](#), [2.2.4](#)
- [HEC76] HECKMANN, O.: *Sterne, Kosmos, Weltmodelle*. München, Zürich: Piper 1976. [3](#)
- [KAN85] KANITSCHIEDER, B.: Physikalische Kosmologie und Anthropisches Prinzip. *Naturwissenschaften* 72 (1985), S. 613–618. [3.3](#), [3.4](#)
- [KAN91] KANITSCHIEDER, B.: *Kosmologie*. 2. Aufl. Stuttgart: Reclam 1991. [23](#)
- [KIP97] KIPPENHAHN, R.: Hat es den Urknall wirklich gegeben? Festvortrag anlässlich der Verleihung der Urania-Medaille am 17.9.1996. *Urania* Bd. 6. URANIA Berlin e.V. 1997. [2](#), [2.1](#), [5](#)
- [KRA98] L. M. KRAUSS: The End of the Age Problem and the Case for a Cosmological Constant Revisited, *Astrophys. J.* 501 (1998), 461. [2.2.3](#)
- [KRB01] KRABBE, A.: Warum es nachts dunkel ist. In: KRABBE, A., VALET, W. (Hrsg.): *Kosmologie. Die Wissenschaft vom Universum und der Glaube an Gott, den Schöpfer*. Porta Studien 31. Marburg: Francke 2001. [2.1](#)
- [LIG90] LIGHTMAN, A.: *Origins. The Lives and Worlds of Modern Cosmologists*. Harvard Univ. Press 1990. [3.6](#), [29](#)
- [LIN05] LINEWEAVER, CH. H., DAVIS, T. M.: Der Urknall – Mythos und Wahrheit. *Spektrum der Wissenschaft*, Mai 2005. S. 38–47. [6](#)

- [LOE94] LÖW, R.: Die neuen Gottesbeweise. Augsburg: Pattloch 1994. 8, 3.6
- [MUT92] MUTSCHLER, H.-D.: Physik – Religion – New Age. Würzburg: Echter 1992. 3.5
- [MUT97] MUTSCHLER, H.-D.: Zum Spannungsverhältnis zwischen Physik und Theologie. Praxis der Naturwissenschaften (PdN) - Physik 46(6) (1997), S. 2–9. 3.5, 3.6
- [MUT05] MUTSCHLER, H.-D.: Physik und Religion. Perspektiven und Grenzen eines Dialogs. Darmstadt: Wissenschaftliche Buchgesellschaft 2005. 8, 23, 3.5, 26
- [OBE02] H. OBERHUMMER, Physik in unserer Zeit 33(3), 112 (2002) 3.3
- [PAN91] PANNENBERG, W.: Systematische Theologie. Band II. Göttingen: Vandenhoeck&Ruprecht 1991. 3.6
- [RAE96] RAE, A.: Quantenphysik: Illusion oder Realität? Universalbibliothek Nr. 9607. Stuttgart: Ph. Reclam jun. 1996. 14
- [ROS93] ROSS, H.: Astronomical Evidences for a Personal, Transcendent God. In: MORELAND, J. P. (Ed.): The Creation Hypothesis. Scientific Evidence for an Intelligent Designer. Downer Grove, Illinois: InterVarsity Press 1993. Siehe auch im Internet: ROSS, H.: Design and the Anthropic Principle. <http://www.reasons.org/reasons/papers/paper8.html>. 2.2.5
- [SPA89] SPAEMANN, R.: Stichwort: Teleologie. In: Handlexikon zur Wissenschaftstheorie. Hrsg.: H. SEIFFERT und G. RADNITZKY. München: Ehrenwirth-Verlag 1989. 4
- [STO91] STÖCKLER, M.: Das Anthropische Prinzip. Praxis der Naturwissenschaften (PdN) - Physik 40(4) (1991), S. 25–27. 9
- [TEG97] M. TEGMARK, Class. Quantum Grav. 14 (1997) L69 11, 2.2.4
- [TEG98] M. TEGMARK, Annals of Physics 270, 1–51 (1998) 2.2.1, 2.2.2
- [TEG03] TEGMARK, M. in: BARROW, J. D., DAVIES, P. C. W., HARPER, C. L.: From Quantum to Cosmos, honoring John Wheeler’s 90th birthday. Cambridge University Press (2003). 2.2.1
- [TIP96] TIPLER, FRANK J.: Die Physik der Unsterblichkeit. Moderne Kosmologie, Gott und die Auferstehung der Toten. 2. Aufl. München: Deutscher Taschenbuch Verlag 1996. 8
- [TRY73] TRYON, E.: Is the Universe a Vacuum Fluctuation? Nature 246, 396 (1973). 3.5
- [VAA94] VAAS, R.: Neue Wege in der Kosmologie. Naturwiss. Rundschau 47, 43 (1994), S. 43–58. 3, 1

- [VOE92] D. VOET, J. G. VOET: Biochemie. Weinheim: VCH 1992. [2.2.5](#)
- [WEI85] WEIZSÄCKER, C. F. v.: Aufbau der Physik. München, Wien: Carl Hanser 1985. [10](#)
- [WEI88] WEIDEMANN, V.: Das Inflationäre Universum – die Entstehung der Welt aus dem Nichts. In: MÜLLER, H. A. (Hrsg.): Naturwissenschaft und Glaube. Natur- und Geisteswissenschaftler auf der Suche nach einem neuen Verständnis von Mensch und Technik, Gott und Welt. Bern, München, Wien: Scherz-Verlag 1988. [5](#)
- [WIL93] WILKINSON, D.: God, The Big Bang and Stephen Hawking. Tunbridge Wells, Kent: Monarch Publications 1993. [2.2.5](#), [18](#), [15](#)
- [WIL01] WILKINSON, D.: God, Time and Stephen Hawking. London & Grand Rapids, Michigan: Monarch Books 2001. [2.2.3](#)