

# Die Lehre der modernen Kosmologie

Ein Universum der Leere

Hans-Jörg Fahr



Download free books at

[bookboon.com](http://bookboon.com)

Hans-Jörg Fahr

# Die Lehre der modernen Kosmologie

Ein Universum der Leere

---

Die Lehre der modernen Kosmologie: Ein Universum der Leere  
© 2012 Hans-Jörg Fahr & [bookboon.com](http://bookboon.com) (Ventus Publishing ApS)  
ISBN 978-87-403-0271-4

Dieses Buch wurde unter Mitarbeit von Michael Sokaliwska,  
Argelander-Institut für Astronomie, Universität Bonn, geschrieben.

# Inhalt

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>8</b>
1.1	Wie läßt sich der Kosmos beschreiben?	8
1.2	Was lernt man von den Astronomen?	14
1.3	Strukturen und Entfernungen im Universum	19
1.4	Die kosmische Evolution – eine determinierte Mechanik des Werdens?	26
1.5	Die moderne Standard-Kosmologie	29
1.6	Die unverstandene Vakuumenergie	34
<b>2</b>	<b>Die Masse im Kosmos</b>	<b>36</b>
2.1	Wie verhält sich die Masse im Kosmos?	36
2.2	Weltmassenvermehrung im expandierenden Kosmos	39
2.3	Massenerzeugung in Einstein-Straus Systemen	41
2.4	Die Mach'sche Frage: Wieso sind Massen träge?	42
2.5	Die Mach'sche Trägheit: Eine nicht-körperige, kosmogene Größe?	44
2.6	Das Äquivalenzprinzip der Rotation	53

Wenn ein

# Server

für Sie kein  
Wassersportler  
ist...

trendence  
2015  
DEUTSCHLANDS  
**100**  
Top-Arbeitgeber IT

**IT-Jobs bei Lidl**  
it-bei-lidl.com



<b>3</b>	<b>Das kosmische Vakuum und Gravitationsbindung</b>	<b>55</b>
3.1	Welche materielle Quelldichte gravitiert in der ART?	56
3.2	Warum sollte das Vakuum schwer sein?	58
3.3	Ein Beispiel: Elektrostatische Polarisationsenergie	59
3.4	Wie erzeugt das Vakuum seine Schwere?	60
3.5	Das Konzept der Raumenergie	63
3.6	Kosmische Strukturbildung und die Expansion des Kosmos	66
3.7	Hinweise zur Reduktion der effektiven Masse durch Gravitationsbindung	67
3.8	Die Bindungsenergie in strukturierten Massensystemen	68
3.9	Variable Bindungsenergie in einem expandierenden Kosmos	71
3.10	Korrelationsindex und Domänengrenze	73
3.11	Eigenschaften der Leere und der Materie	75
3.12	Re-homogenisierte Welten erscheinen beschleunigt	80
3.13	Wie unterscheiden sich das leere und das materieerfüllte Vakuum?	83
3.14	Das „Null-Energie“-Universum	85

**EY**  
Building a better  
working world

**So müsste er  
aussehen: unser  
Firmenwagen  
für Einsteiger.**

[www.de.ey.com/karriere](http://www.de.ey.com/karriere)  
[#BuildersWanted](https://twitter.com/BuildersWanted)

„EY“ und „wir“ beziehen sich auf alle deutschen Mitgliedsunternehmen von Ernst & Young Global Limited, einer Gesellschaft mit beschränkter Haftung nach englischem Recht. ED.None.



<b>4</b>	<b>Der Kosmos: Ein deterministisches System?</b>	<b>89</b>
4.1	Das Ende des erkannten Kosmos	89
4.2	Ist das Weltgeschehen offen?	90
4.3	Das Göttliche und der Kosmos	100
4.4	Führt kosmische Evolution zu Innovation?	102
4.5	Evolution als ein Heurismus	106
4.6	Determinismus contra Evolution	110
4.7	Evolutionäre Ereignisse in der Physik	111
4.8	Evolution und kosmologische Entropiegeschichte	112
4.9	Innovative Ereignisse im frühen Universum	117
	<b>Stichwortverzeichnis</b>	<b>120</b>
	Zu Spezialbegriffen dieses Buches:	120
	<b>Literatur</b>	<b>125</b>
	<b>Kurzbiographie: Prof.Dr.Hans J.Fahr</b>	<b>131</b>



# MEINE TO DO'S

- Wohnung suchen
- Mit Mama zu IKEA fahren
- Stundenplan erstellen
- Nebenjob auf Jobmensa.de finden

*Entdecke jetzt deutschland's größtes Jobportal für Studenten*



# 1 Einleitung

## 1.1 Wie lässt sich der Kosmos beschreiben?

Wie vollzieht sich ein Denken an anderer Stelle im Kosmos oder gar am Rande des Universums im Vergleich zu dem unseren hier auf der Erde? Denkt man anderswo wohl anders als bei uns? Wenn ja, dann wäre jede Theorie über die Entstehung und die Natur unseres Universums nur eben unsere hausbackene, geomorphe oder anthropomorphe Theorie, die mehr mit der Beschränktheit des Standortes „Erde“ und mit der Fehlbarkeit der Denkmaschine „Mensch“ zu tun hätte als mit der Realität des Universums! Es wäre eher eine Theorie über den „Kosmos in uns“ als ausser uns. Mit einer solchen Auslegung wollen sich die Wissenschaftler aus dem Bereich der Astrophysik und der Kosmologie aber auf keinen Fall abfinden, und so gilt Kosmologie für sie als eine absolut kreditwürdige Lehre über die Realität des Kosmos. Sie gilt ihnen nicht einfach nur als ein ergötzliches, delectierliches Räsonnement, als ein intellektuelles Training zur Schärfung der Verstandeskräfte, und auch nicht als Erwerb eines schlichten Spiegelbildes menschlichen Denkens im Bereich des eigentlich schon intellektuell Illigen. Für den Normalbürger gehören Wissenschaftler zwar zu jener Gattung Mensch, die zwar wohl denken können, für die das Denken aber gelegentlich auch zu einer Geissel ihrer Existenz wird. Sie, die Wissenschaftler, können das Nachdenken eben auch da nicht lassen, wo es eigentlich schon um das Udenkbare geht, obwohl letzteres allen denkerischen Disziplinen naturgemäss ja verschlossen bleiben sollte wie ein Sesam. Solch einen Sesam stellt doch höchstwahrscheinlich auch das Universum für unseren Verstand dar, denn wie sollte unser begrenzter Verstand ein unbegrenztes Universum je begreifen können. Man kann einen solchen Sesam überhaupt nur zu öffnen hoffen, wenn man auf eine ausreichende Zahl von Multitalenten aus vielen verschiedenen Wissenschaften rechnen darf, die die verschiedensten Schlüssel beim Versuch eines Öffnens zum Einsatz bringen können. Was kann bei einem solchen Unternehmen, sich das Verschlussene zu erschliessen, dann aber letztenendes herauskommen? – Eine Lehre über die Wahrheit der Natur des Allergrössten, eine Wegweisung zum Verständnis des Realitätsganzen, oder eine Bibel über die Welt? Ein Buch über Kosmologie sollte sicherlich keine reine Bestandsaufnahme des Gegebenen im Kosmos sein, es sollte auch mehr als ein pädagogischer Abriss eines sich aus dem Gegebenen ableitenden Fragenkataloges sein, es sollte vielmehr eine Deutung des Gegebenen im Kosmos und eine grosse Ideenperspektive geben, die alles Wahrgenommene erklärlich erscheinen lässt! Ein Buch also vielleicht denn aber, das dem Leser zur Anregung von höhenflughaftem Ausdenken der uns ewig fremden Dimensionen des Universums und den aus der Beschäftigung damit hervortönenden Apokalypsen der modernen wissenschaftlichen Deutung dient! Ein wegweisendes Buch zumindest für einen Leser, den nicht gleich der Schwindel angesichts der vielen Unbeweisbarkeiten und Bodenlosigkeiten des in der Kosmologie Spekulierten packt.

Denn spekuliert muss hier allemal werden! Der Kosmos spricht zu uns nicht in einer klar vernehmlichen Sprache, so dass wir nur hinhören müssten, um die Botschaft des grossen Ganzen diktiert zu bekommen. Vielmehr müssen wir bemüht sein, die von ihm an uns gegebenen Zeichen in unserer Sprache, oder besser gesagt, in der Sprache unseres Verstandes unterzubringen. Da bleibt aber dann immer noch die Frage, ob diese Zeichen überhaupt für das Ganze des Kosmos sprechen können oder ob sie nur die Beschaffenheit eines kleinen Teiles desselben signalisieren. Ist der Kosmos über die Zeichen, die er uns gibt, weit erhaben oder verrät er sich seiner Substanz nach in ihnen? Ein Mensch, der sein Leben lang abgeschieden vom Rest der Welt in den Bergtälern Abchasiens lebt und seine Umwelt nur von dort aus erfährt, wird ob dieser beschränkten Perspektive niemals den Anspruch auf eine allgemeingültige Welterkenntnis erheben können. Nichts kann ihm in seiner Teilwelt den Hinweis dafür geben, daß er von dort aus im Prinzip auch die Beschaffenheit der Welt als ganzer erfahren kann. Er muß sich damit abfinden, daß seine Weltsicht nur beschränkte Gültigkeit haben kann. Wie beschränkt ist nun aber die Weltsicht der Astronomen, die den Kosmos mit Fernrohren und Radioteleskopen erkennen wollen und darob sagen können möchten, wie dessen Realität beschaffen ist? Ob die kosmischen Zeichen, so wie wir sie zu unserer Zeit und von unserem Standort her vernehmen, Allgemeingültigkeit für die Beschaffenheit des Gesamtkosmos haben, von dem wir ja gerne reden wollen, werden wir niemals aus ihnen selbst heraus beweisen können. Zeichen tragen niemals an sich ein Zeichen für ihre Allgemeingültigkeit! Allenfalls ihre Deutung im Rahmen einer adäquat angelegten, kosmologisch geschlossenen Theorie kann aposteriori den Konsistenzcharakter dieser Zeichen manifest werden lassen. Im Rahmen einer entsprechend gefertigten Theorie des Kosmos kann es somit möglich werden, den kosmischen Zeichen Allgemeinheitswert zuzusprechen. Wir müssen uns aus dieser für unsere Erkenntnis des Kosmos generell mißlichen Lage einfach mit pragmatischen Mitteln zu befreien versuchen, indem wir danach fragen, wie denn eigentlich ein Kosmos beschaffen sein müßte, dessen an uns gegebene Zeichen wir als Indizien für das Ganze nehmen dürften! Ein kurzer Blick auf die Frühgeschichte der kosmologischen Konzeptansätze mag hier schnell die Problematik in einer solchen Visionierung eigentlich unzugänglicher Dinge aufzeigen können: An dieser Stelle soll nur ein kurzer Hinblick auf die kosmologischen Perspektiven aus der Zeit der griechischen Vorsokratiker seit 500 v. Christus genügen. Der wohl berühmteste Naturphilosoph dieser Zeit, Heraklit (500 v. Chr.) sagt über die Welt: „Diese Welt hat weder der Götter, noch der Menschen einer gemacht. Sie war immer schon und wird immer sein, - ein ewig lebendes Feuer, sich in Stufen entzündend, und in Stufen wieder verlöschend.“ Empedokles (435 v. Chr.) dagegen nennt diese Welt einen zwar in Ewigkeit fort dauernden Prozeß einer allerdings ewigen Umwandlung, eine Ewigkeit, jedoch in dauerndem Wechsel von Entstehung und Vergehen befindlich mit der Bildung ständiger Gestaltenumwandlung unter den Urteilchen der Materie einhergehend.

Etwa um die gleiche Zeit äußert sich Anaxagoras (462 v.Chr.) auf die folgende Weise über den Kosmos: „Entstehen und Vergehen findet im Kosmos nur statt durch ewig andauernde Umwandlung des einen, nie entstandenen und nie ins Nichts vergehenden Materievorrats des Universums. Die Gesamtheit der Urteilchen der Materie wird nicht mehr und nicht weniger, sie erhält sich vielmehr in ewigem Wandel, denn aus dem nichts kann niemals etwas entstehen, ebenso wenig wie etwas vergehen kann, was ist“. Das scheinen klare Vorgaben aus dem Denken der Menschheit herkommend für die grundsätzlichen Züge dessen zu sein, was eine vernunftangemessene Form der Kosmologie eigentlich sein muß. Wir werden hiervon ausgehend verfolgen, inwieweit die heutige Kosmologie diesen apriorischen Vorgaben zu entsprechen vermocht hat, und werden auf diese Nachfrage an die Vernunftmäßigkeit der heutigen Kosmologie am Ende des Buches noch einmal zurückkommen.

Denkt man nun aber zunächst einmal daran, daß die Astronomen den Kosmos ja erfahren aus der Art und Weise, wie er sich und seine Strukturen über elektromagnetische Strahlungen auf ihre astronomische Netzhaut, beziehungsweise auf die von ihnen exponierten Photoplatten, abbildet, so ergibt sich daraus allein schon die Forderung, daß der Kosmos zumindest einen, mit seinem Alter korrelierten Homogenitätsgrad besitzen muß, wenn wir ihn denn überhaupt als ganzen er kennen können sollen. Das soll heißen, daß er im gewollten Falle innerhalb seines altersbedingten Sichthorizontes strukturell homogene Beschaffenheit oder durchgängig hierarchische Strukturiertheit aufweisen muß. Wenn der Kosmos nur ein paar Sekunden alt wäre, so könnten wir auch nur ein paar Lichtsekunden weit in den Kosmos hinaussehen, und es müßte erstaunlich erscheinen, wenn wir erkennen könnten, daß der Kosmos über solch kleinen Raumdimensionen gleichförmig beschaffen ist. Wenn er dagegen viele Milliarden Jahre alt ist, so weitet sich unser Sichthorizont auf eine Dimension von vielen Milliarden Lichtjahren aus, und es mag dann weniger überraschend sein, wenn über solch großen Dimensionen gesehen sich eine Homogenität des von uns gesehenen Universums herausstellt.

Von der Beschaffenheit des gesamten Kosmos können wir demnach nur dann überhaupt reden, wenn innerhalb des uns gewährten Sichthorizontes schon das Ganze der Welt in Erscheinung tritt, oder anders gesagt, wenn alles, was derzeit noch außerhalb unseres Sichthorizontes liegt, nur eine Wiederholung dessen darstellt, was schon innerhalb desselben gesehen wird. – Wenn man im Zentrum eines Wasserstoffatoms eines Wassermoleküls in der Tiefe des Ozeans säße und würde von diesem Zentrum aus die mittlere Materiedichte der Umgebung mit wachsendem Zentrumsabstand abtasten, so würde sich zunächst bei überschreiten der Atomkerndimension, sodann bei überschreiten der Atomhüllendimension, und schließlich bei überschreiten der Wassermoleküldimension jeweils eine deutliche Erniedrigung der mittleren Materiedichte ergeben, danach jedoch bei Zentrumsabständen im Bereich von Millimetern, Zentimetern, oder Kilometern würde die erfahrbare mittlere Materiedichte vollkommen konstant bleiben und sich auf einen Wert von 1 Gramm pro Kubikzentimeter, eben den Wert der spezifischen Dichte des Wassers, einstellen. Auf solchen Skalen erweist sich das Ozeanwasser also als homogene Materieverteilung. Sehen wir nun, dieser Situation verwandt, innerhalb des kosmischen Sichthorizontes, mit dem wir den Ozean der kosmischen Materieverteilung erfassen können, bereits den vergleichbaren Fall einer Erscheinungsredundanz eintreten? Letzteres wäre auf zweierlei Weise möglich: Entweder ist der Kosmos schon auf typischen Dimensionen  $L_i$ , die klein gegen den Sichthorizont  $L_H = c/H$  sind ( wo  $c$  die Lichtgeschwindigkeit und  $H$  die Hubble-Konstante bezeichnen), als streng homogen beschaffen anzusehen und bildet eine gleichmäßige, mittlere Materiedichte  $\langle \rho(L_i) \rangle$  aus, die für Raumskalen  $L < L_i < L_H$  einen konstanten Wert repräsentiert, oder der Kosmos ist in seinen materiellen Strukturen zwar nicht homogen, aber dafür auf eine skaleninvariante Weise durchgängig hierarchisch angelegt und wiederholt somit seine Strukturen in gleicher Form auf immer größeren Skalen! Letzteres könnte dann zwar bedeuten, daß die mittlere Materiedichte eine ständig mit der Raumskala  $L$  veränderliche Größe ist, etwa in der Form, daß sich eine funktionale Abhängigkeit der Form  $\langle \rho(L) \rangle = \rho_0 (L_0/L)^g$  ergibt, wo  $g$  ein Exponentialindex mit irgendeinem festen Wert ist, daß jedoch eine geeignet mit der verwendeten Größenskala skalierte Dichte, wie etwa die Dichte  $\rho = \langle \rho(L) \rangle L^g$  einen durchweg für das gesamte Universum konstanten Wert annimmt. Wenn etwa in einem solchen hierarchischen Weltall der Wert des Exponentialindexes  $g > 3$  wäre, so würde dies bedeuten, daß wir innerhalb des kosmischen Sichthorizontes schon praktisch die gesamte Masse des Universums vorfinden. Wenn in späteren Zeiten dieser kosmische Sichthorizont  $L$  angewachsen wäre, und wir folglich weiter ins Universum hinaussehen würden, so würden wir in einem derartig aufgebauten Weltall dann dennoch praktisch nicht mehr Masse zu sehen bekommen.

Damit haben wir betonen wollen, weshalb wir nach der Gültigkeit eines „kosmologischen Prinzips“ hinsichtlich der Beschaffenheit des Kosmos verlangen müssen, damit uns überhaupt erlaubt ist, von unserem singulären und letztlich völlig zufälligen Weltaspekt her auf etwas für das Ganze des Kosmos Relevantes zu schließen. Wir müssen uns einfach darauf verlassen können, daß wir durch unsere Position im Kosmos nicht „standortgeschädigt“ sind und durch die von diesem Standort aus möglichen Beobachtungen nicht voreingenommen für den Blick auf das Ganze sind. Es hätte doch gar keinen Sinn, Kosmologie zu betreiben, wenn das, was den Kosmos überhaupt eigentlich erst ausmacht, gar nicht wirklich an unserem Weltort erfahrbar wäre. Was wir bei uns und zu unserer Zeit vom Kosmos zu sehen bekommen, sollte demnach als etwas Wegweisendes zum Verständnis des Universums genommen werden dürfen.

Erfüllt nun der aktuelle Kosmos vor unseren Augen diese apriorischen Erwartungen? Ist er etwa gleichförmig oder skaleninvariant über Dimensionen kleiner als unser Sicht horizonz aufgebaut? Und ist er geschichtslos und evolutionslos innerhalb solcher Dimensionen? Wenn doch der Kosmos eine irreversible, geschichtliche Veränderung durchmachen würde, dann könnten mehrere Fälle eintreten, die das kosmologische Prinzip in Frage stellen würden: Wenn die Epochen der geschichtlichen Veränderung im Kosmos deutlich kürzer als das derzeitige Weltalter wären, so würden innerhalb unseres Sichthorizontes Bereiche aus unterschiedlichen Entwicklungsepochen des Kosmos in Erscheinung treten, wodurch es äußerst schwierig wird, das Kriterium der Gültigkeit des kosmologischen Prinzips, nämlich Homogenität oder Skaleninvarianz, anhand des Gesehenen zu überprüfen, denn das in verschiedenen Entfernungen von uns Beobachtete zeigte ja je ein Bild des Kosmos zu unterschiedlichen Epochen auf. Wenn andererseits die Evolutionsepochen des Kosmos lang gegen das derzeitige Weltalter wären, so würden wir ein stark zeit- geprägtes Bild des Kosmos wahrnehmen und könnten kein gültiges Bild des Kosmos über die verschiedenen Entwicklungsepochen erstreckt gewinnen.

Wenn sich zum Beispiel an den heute in der Tiefe des Weltraumes beobachtbaren kosmischen Entwicklungsprozessen anzeigt, daß das Bild des Kosmos heute ein anderes ist als wohl zu früheren Zeiten wahrnehmbar, so läßt sich daraus eine Entwicklung absehen, die sich durch alle Bereiche des Kosmos erstreckt, die jedoch nur dann von uns interpretierbar gemacht werden kann, wenn eine einheitliche kosmische Evolution in der Zeit vor sich geht, die sich an allen Raumpunkten im Universum gleichermaßen vollzieht. Wenn sich im Kosmos ortsspezifische Evolutionsgeschichten abspielen würden, so ließe sich das von uns innerhalb des Sichthorizontes wahrgenommene Bild des Kosmos überhaupt nicht auf rein räumliche und rein zeitliche kosmische Veränderungen hin entwirren.

Ein von uns auf seine räumliche Beschaffenheit hin interpretierbarer Kosmos muß demnach zumindest die Eigenschaft besitzen, daß in ihm die Zeit als der Parameter der kosmischen Evolution nur als explizit raumunabhängige, nämlich absolute Koordinate auftreten darf. Letztere darf im Gegenteil eben nicht als eine der vier, standortabhängigen raumzeitlichen Variablen fungieren, als welche sie ja aus gebotenen Gründen ursprünglich in der Speziellen und Allgemeinen Relativitätstheorie eingeführt wird. Die kosmische Zeitkoordinate muß vielmehr als etwas dem Raume gänzlich äußerliches auftreten. Sie muß für jeden Raumpunkt im Universum eine absolute Bezugsgültigkeit haben, das heißt, wo auch immer im Universum man sich befindet, so muß dort wie überall sonst das universelle, kosmische Evolutionsalter gelten. An jeder Stelle im Weltall sollte mir demnach ein Weltbild gegeben sein, an dem ich ein und nur ein Evolutionsalter des Kosmos feststellen kann! Das hieße eben, ein synchronisiertes Altern im Kosmos fordern! Unter diesem verallgemeinerten „starken kosmologischen Prinzip“ kommen demnach nur Weltmodelle in Betracht, die die Zeit als einen externen, unabhängig von den Raumkoordinaten auftretenden Evolutionsparameter verwenden. Das bedeutet aber, daß man mit solchen, diesem Prinzip genügenden Modellen von vornherein auf eine kleine Ausschnittmenge von allgemein möglichen Lösungen festgelegt ist. So läßt sich unter den oben angesprochenen, heuristischen Vorgaben absehen, daß nur eine sehr stark eingeschränkte Menge von möglichen Lösungen im Rahmen der Einsteinschen Allgemeinen Feldgleichungen überhaupt als kosmologisch relevant in Betracht kommen kann. Wir mögen uns aus diesem Grunde ernstlich fragen, ob die kosmologischen Tatsachen denn überhaupt unzweifelhaft von solcher Form sind, daß sie ein solches Weltmodell als Erklärung zulassen? Daß sie ein Weltmodell zulassen, das nach dem „starken kosmologischen Prinzip“ geschneidert ist? Können wir überhaupt auf irgendeine Weise herausfinden, ob es zulässig ist, die kosmische Zeit als einen externen Parameter über dem kosmischen Geschehen zu benutzen? Sind die dynamischen und strukturschaffenden Prozesse im Kosmos in der Tat homogen und isotrop angelegt?

## 1.2 Was lernt man von den Astronomen?

Wenn das Universum nichts anderes als ein kontingentes, physikalisch verbindungsloses Nebeneinander von Sternen, Galaxien und Galaxienhaufen wäre, die als einzelne, kosmische Entitäten völlig entkoppelt vom Leben ihrer kosmischen Artgenossen in genuiner Eigengesetzlichkeit und Selbstständigkeit koexistierten, dann müßte eine Kosmologie für das Ganze der Welt völlig unsinnig und unangemessen erscheinen. Unter solchen Umständen benötigte man vielmehr eine Evolutionstheorie der galaktischen Systeme, aber keine darüber hinausgreifende Kosmologie, die das Zusammensein aller Galaxien in einem geschlossenen Weltraum und ihre kollektive Dynamik in einem gemeinsamen Universum zu berücksichtigen hätte. Eine Lehre über den Kosmos insgesamt kann also nur dann sinnvoll sein, wenn die Welt kein kontingentes Nebeneinander von morphologisch verwandten Galaxien und Galaxiensystemen, sondern ein in ihrer Gesamtdynamik kausal geschlossener Verbund ist, innerhalb dessen das vor sich gehende Geschehen auf eine zentrale und initiale Veranlassung zurückzuführen ist. Da nun Sterne und Sternsysteme einmal existieren, so kann man sie auch in einer für das Ganze konzipierten Kosmologie nicht einfach ignorieren. Man kann sich aber auf den Standpunkt stellen, daß man im Rahmen einer solchen Kosmologie auf die kosmischen Einzelheiten zunächst einmal nicht zu achten braucht, wenn man von einem unendlich im Raum erstreckten Universum ausgehen kann. In einem derartigen Universum mit unendlicher Erstreckung mag es nicht primär nötig erscheinen, von den Inhomogenitäten in einer solchen Unendlichkeit zu sprechen, wenn diese sich doch nur immer wiederholen in den Fernen des Raumes. Sie alle sorgen für eine Art Körnung des Universums auf kleiner Raumskala, aber, -über entsprechend große Skalen gemittelt- verlieren sie ihre Bedeutung und nur ihr materieller Mittelwert zählt für das große Ganze. Bezüglich der räumlichen Unendlichkeit des Kosmos ergibt sich nun sogleich ein erster kontroverser Beobachtungsbefund.

Schon dem Bremer Arzt und Naturforscher Heinrich Wilhelm Olbers war im Jahre 1789 die Fragwürdigkeit der Annahme aufgefallen, die Welt sei unendlich. Wie er richtig hervorhob, so sollte nämlich eine gleichförmig aufgebaute Welt, ausgedehnt auf unendliche Weiten, für uns als Beobachter des Kosmos zu paradoxen Folgen führen. Bei einer unendlich sich erstreckenden Welt mit gleichförmiger Sternenverteilung überall sollte nämlich ein taghell leuchtender Nachthimmel resultieren. Denn in jedem, noch so kleinen Sichtwinkel zum Nachthimmel träfen wir doch immer schließlich in einem solchen Kosmos auf einen leuchtenden Stern, ob nun nahe bei uns oder fernab. Wenn also Licht bei Propagation durch den Raum nicht verloren geht oder sich energetisch verbraucht, dann sollte einem aus jeder Richtung der Nachthimmel sowie der Taghimmel hell wie die Oberfläche leuchtender Sterne erscheinen. Da dies bekanntermaßen nicht so ist, mag man sich fragen, ob dies bereits die Endlichkeit unserer Welt beweisen kann. Selbst 100 Jahre nach Olbers ist man sich unter Astronomen immer noch nicht ganz sicher, ob dieser Schluß unausweichlich ist oder wie er vermieden werden kann! Vieles konnte zu Olbers' Zeiten in dieser Sache noch nicht bedacht werden, dennoch bleibt dieses Paradoxon bis heute von tiefgründiger kosmologischer Bedeutung.

Vor allem aber muß in dieser Sache die endliche Lebensdauer der Sterne und die endlich große Geschwindigkeit bedacht werden, mit der sich das Licht der fernen Sterne zu uns ausbreitet. Die Sterne gewinnen ihre Energie, die sie über ihre Oberfläche abstrahlen, durch nukleare Kernfusion in ihrem Inneren. Diese Fusion, bei der ja ständig Masse in elektromagnetische Energie verwandelt wird, kann natürlich nur über eine begrenzte Periode hinweg aufrechterhalten werden, bis das verwertbare, nukleare Brennmaterial aufgebraucht ist. Danach muß der Stern sein Leuchten einstellen. Wenn demnach alle Sterne des unendlichen Weltalls zur gleichen Zeit entstehen würden und danach zu leuchten begännen, so würde man von einem bestimmten Weltort aus entsprechend ferne Sterne noch gar nicht sehen können, weil das Licht seit Leuchtbeginn von ihnen noch gar nicht bis zu diesem Ort hin vordringen konnte.

Entsprechend würde man zu einem späteren Zeitpunkt dagegen von diesem Weltort aus die ihm nahen Sterne schon nicht mehr leuchten sehen, weil sie bei der Endlichkeit ihres Lebens ihr Leuchten inzwischen beendet hätten. Die Situation eines sternhellen Nachthimmels könnte demnach erst wirklich eintreten, wenn die im Raum unendlich ausgedehnte Welt auch erstens bereits seit ewigen Zeiten existierte, und wenn zweitens überall im Weltall seit ewigen Zeiten immer wieder aufs Neue Sterne entstehen und vergehen. Nur bei gleichzeitig gegebener, räumlicher – und – zeitlicher Unendlichkeit des Universums und bei lokal zyklisch geschlossenen, kosmischen Kreislaufprozessen müßte in der Tat ein dunkler Nachthimmel paradox erscheinen.

Trotz eines vermuteten Anfangs unseres Universums in der Zeit scheint es jedoch ein Phänomen wie das des leuchtenden Nachthimmels in einer analogen Form zu geben. Zwar leuchtet der Nachthimmel nicht sternenhell im optischen Wellenlängenbereich, aber er leuchtet immerhin uniform in einem energieärmeren Bereich des elektromagnetischen Wellenspektrums, nämlich im Bereich der Zentimeterradiowellen und der Mikrowellen! In diesem Spektralbereich erweist sich unser Himmel sowohl bei Tage als auch bei Nacht als gleichmäßig hell. Dies wäre von einer unendlichen Welt aus ewig wiedererzeugten Sternen zu erwarten, die jedoch mit einer für normale Sterne ungewöhnlich niedrigen Oberflächentemperatur von nur 3 Grad Kelvin strahlen müßten! Dieses Olbers'sche Mikrowellen- Phänomen ist unter den Astronomen als Phänomen der „kosmischen Hintergrundstrahlung“ bekannt.

Sollte es nun trotz eines Anfanges der Welt in der Zeit zwar einen leuchtenden Mikrowellenhimmel, aber keinen optisch leuchtenden Himmel geben? Was unterscheidet den Mikrowellenhorizont vom optischen Welthorizont? Eine naheliegende Antwort auf diese Frage unter dem Aspekt der „Urknall“-Kosmologie könnte sein, daß wohl die Quellen der kosmischen Mikrowellenstrahlung evolutionsgeschichtlich weit älter sein könnten als diejenigen der optischen Strahlung, als welche ja die leuchtenden Sterne und Sternsysteme fungieren. Wenn er nur alt genug ist, so könnte der Mikrowellenhimmel ja vielleicht inzwischen dicht zusammengewachsen sein, während der optische Himmel dagegen auch noch heute heute große, dunkle Löcher aufweist. Dann aber müßte sich der Schluß ziehen lassen, daß dereinst dann aber auch der optische Nachthimmel zusammenwachsen wird. Damit aber wäre es nur einer Laune der kosmischen Evolution zuzuschreiben, daß der Mensch heute, während er den Himmel beobachtet, noch keinen taghellen Nachthimmel erkennt? Es gibt verschiedene, gute Gründe, warum im Optischen kein heller Nachthimmel gesehen wird. So weiß man zum Beispiel, daß der im Raume feinst verteilte, mikrometeoritische Staub in galaktischen und intergalaktischen Räumen die Strahlung der Sterne zumindest zum Teil absorbiert, sie in thermische Energie der Staubmaterie verwandelt und sie schließlich im thermodynamischen Strahlungsgleichgewicht wieder als thermische Strahlung in den Weltraum emittiert. Dies würde eine permanente Beeinträchtigung der Strahlungssituation im Universum bedeuten, solange die Staubteilchen im Kosmos trotz der Zustrahlung durch die Sterne Temperaturen weit kleiner als diejenigen der strahlenden Sternphotosphären besäßen.

Erst wenn sie sich unter dem Konkurrenzgeschehen zwischen Zustrahlung und Abstrahlung in einen thermodynamischen Gleichgewichtszustand mit dem sie umgebenden kosmischen Strahlungsfeld begeben hätten, würde ihre Beeinträchtigung des Nachthimmels unwirksam. Dazu aber müßten sie die Temperatur von Sternphotosphären angenommen haben, die je nach Sterntyp im Bereich zwischen 3000 und 50000 Grad Kelvin liegen. Bei solchen Temperaturen würde jede Staubmaterie jedoch verdampfen und sich dabei vom mineralischen, lichtabsorbierenden Festkörper zum Gas verwandeln. Entweder also ist der kosmische Staub immer noch deutlich kälter als die Sternphotosphären und beeinträchtigt demnach das Nachthimmelsleuchten, oder er hat sich zum Gas aufgelöst und kann demnach keine Rolle im Rahmen des Olber'schen Paradoxons spielen.

Dazu kommt, daß das Universum expandiert. Das hat zur Folge, daß die Strahlung der fernen Sterne auf dem Wege durch den expandierenden Raum bis hin zu uns eine „kosmologische Rotverschiebung“ erfährt. Sämtliche Photonen, die als Folge des stellaren Leuchtens die jeweilige Sternoberfläche mit einer gewissen Energieflußverteilung und einer Wellenlänge  $l$  verlassen, werden bei der Ausbreitung in einem expandierenden Kosmos gerötet, das heißt, sie werden langwelliger ( $l < l'$ ) und damit energieärmer. Wenn eine solche Photonensalve eines Sternes schließlich nach langer Reise durch den Kosmos bei uns ankommt, so sieht sie ganz anders aus als im Moment ihres Ursprungs. Berechnete sich demnach der theoretisch optische, Olbers'sche Sichthorizont zu einem Abstand  $R$ , und würde der expandierende Kosmos den Photonen aus diesem Weltabstand eine kosmologische Rotverschiebung von  $z = (l' - l)/l$  beibringen, so würden die ursprünglichen Photonen- salven eines Sterns mit  $T = 5000$  Grad Kelvin Oberflächentemperatur bei uns wie solche eines Sterns mit einer Oberflächentemperatur von nur  $T' = T/(1 + z)$  erscheinen. Nimmt man hier die Tatsache zur Hilfe, daß der Olbers'sche Sichthorizont selbst im Abstand der fernsten Quasare mit Rotverschiebungen von  $z = 5$  offensichtlich noch lange nicht erreicht ist, – sonst würden wir ja diese Objekte nicht als diskrete optisch und radiointensiv leuchtende Objekte vor dem Olbers'schen Horizont erkennen können – , so besagt dies, daß die theoretisch am Olbers'schen Horizont leuchtenden Sterne uns höchstens als Sterne mit einer Temperatur von  $T' = T/(1 + z) = T/6$  in Erscheinung treten könnten. Solche kalten Sterne mit Temperaturen von nur  $T' = 3000/6 \text{ K} = 500$  Grad Kelvin oder noch viel weniger können jedoch den Nacht- himmel auf keinen Fall taghell erscheinen lassen.

**strategy&**

Bewirb Dich bis zum  
18. Oktober 2015.

**DATA  
EMERGENCY**

**&**

**7. - 9. November 2015,  
Berlin**

Gesundheitsbranche in der Datenkrise!  
Deine innovativen Ideen und Strategien zum Thema e-Health sind gefragt.  
Entwickle gemeinsam mit Strategy&-Beratern Hightech-Strategien für eine  
gesunde Zukunft.

Mehr Informationen unter [www.strategyand.pwc.com/DBTAcademy](http://www.strategyand.pwc.com/DBTAcademy)

**pwc**

© 2015 PwC. All rights reserved.  
PwC refers to the PwC network and/or one or more of its member firms, each of which is a separate legal entity.  
Please see [www.pwc.com/structure](http://www.pwc.com/structure) for further details.

Generell wird vermutet, daß der Sichthorizont keinesfalls unendlich ist. Vielmehr glaubt man, daß er sich nur bis zu dem Zeitpunkt in die kosmologische Vergangenheit zurückerstreckt, als erstmalig optisch leuchtende Materie im Kosmos entstanden ist. Dies soll nach allgemein astronomischem Konsensus wohl frühestens vor etwa 18 bis 20 Milliarden Jahren der Fall gewesen sein. Das bestätigt sich in gewisser Weise an den heutigen Altersbestimmungen von meteoritischen Urgesteinen und von den ältesten Sternen in Kugelsternhaufen unserer Galaxie. Wenn wir jedoch unsere Strahlungsquellen in solche Fernen rücken müssen, so ist die kosmologische Rotverschiebung der von diesem 20 Milliarden Lichtjahre entfernten Horizont herkommenden Strahlung allerdings enorm! Nach der allgemeinen Relativitätstheorie errechnet sich nämlich die in einem homogenen, isotrop expandierenden Kosmos resultierende Rotverschiebung eines Objektes an diesem Horizont zu  $z = (1 + R_0/R_e)$ , wo  $R_0$  den heutigen Weltradius und  $R_e$  denjenigen Weltradius bezeichnet, wie er vor 20 Milliarden Jahren war, als jene Photonen vom Olbers'schen Sichthorizont emittiert wurden, welche uns heute erreichen. In Verbindung mit allgemein-relativistischen Weltmodellen nach dem Friedmann-Lemaitre Typ errechnet sich für das maßgebende Weltradienverhältnis ein Wert von  $R_0/R_e = 1000$ ! Daraus ergibt sich dann eine Olbers'sche Rotverschiebung von  $z = 1001$  und eine dementsprechende Horizontstrahlungstemperatur von  $T' = T/1002$ , was bei Sternhüllentemperaturen von  $T = 3000$  K einer Nachthimmelstemperatur von  $T' < 3$  Grad Kelvin entspräche. Dies ist jedoch interessanterweise nun gerade die tatsächlich beobachtete Temperatur (nach den neuesten COBE-Messungen: 2.735 Grad Kelvin!) des Mikrowellennachthimmels oder der kosmischen Hintergrundstrahlung.

### 1.3 Strukturen und Entfernungen im Universum

Von größter Bedeutung für dasjenige Lichterphänomen, was sich an unserem Nachthimmel zeigt, ist ganz ersichtlich die räumliche Verteilung der leuchtenden Materie im Weltall. Dabei spielen die Strukturen und die Entfernungen, in denen die kosmische Materieverteilung angelegt ist, die entscheidende Rolle. Wesentlicher Einfluß auf die für J.W. Olbers so staunenerregende Erscheinung des, optisch betrachtet, löcherigen Nachthimmels kommt dem Umstand der organisierten Leere unter der leuchtenden Materie im Universum zu. Dies wird eigentlich erst in jüngster Zeit durch die sich enorm mehrenden Beobachtungen in den größten Tiefen des Universums immer klarer. Die Materieverteilung im Weltall scheint danach kosmisch großräumig gesehen überhaupt keine Gleichverteilung im üblichen Sinne darzustellen, wie man dies noch in den zurückliegenden Jahrzehnten als Apriori der Kosmologie für selbstverständlich gehalten hatte. Diese weiträumig angelegte Materieverteilung repräsentiert offensichtlich schon eher so etwas wie das Analogon zu einer ausgeprägten Bienenwabenstruktur oder zu einem Seifenschaumgebilde. Bei diesem Analogon erscheinen allerdings nun die Wabenwände oder Seifenschauhäute im Falle der kosmischen Materieverteilung nicht aus Wachs oder Seifenlösung, sondern aus einer flächenhaft ausgebildeten, gravitativ kontrollierten Vernetzung von Galaxien und Galaxiensystemen. Diese unterliegen im freien Kosmos offensichtlich der Tendenz sich zu weitläufig gewundenen und miteinander in Kontakt stehenden Flächen anzuordnen und dafür die sich bildenden Zwischenräume materiell stark zu verarmen und so gut wie leer zu räumen. Die Wabeninnenräume oder Seifenschäumblasen enthalten demnach die wahrhaft große kosmische Leere. Da wir mit unserem Standort „Erde“ und unserem Sonnensystem der Milchstraße, also einer Galaxie angehören, die selbst ein Mitglied der lokalen Galaxiengruppe ist, und die ihrerseits wiederum ein Mitglied eines großen Galaxiensuperhaufens, des sog. Virgo Haufens ist, so darf wohl mit einiger Wahrscheinlichkeit angenommen werden, daß wir uns mitten in einer dieser Wabenwände oder Seifenhäute befinden. Treibt man nun seinen Blick von unserem Standort ausgehend immer weiter in den Kosmos hinaus, so erfährt man also mit einem solchen Blick zunächst die materielle Erfüllung dieser kosmischen Wabenwände. Die Flächendichte der leuchtenden Sterne auf unserer Himmelskuppel nimmt entsprechend mit der Entfernung, die unser Blick erfaßt, systematisch zu, solange die mittlere, räumliche Dichte der Sterne bei fortschreitendem Blick konstant bleibt. Dringt der Blick nun aber über die Wände hinaus in die Regionen der kosmischen Wabeninnenräume bzw. Seifenblasen vor, so erfährt diese Form des Wachstums der Flächendichte ein jähes Ende. Der Himmel füllt sich also auch bei weiter greifendem Blick nicht wie nötig weiter mit Sternsphären, so daß es zu einer dichten Flächenauslegung kommen könnte.

Wie dieser Umstand der kosmischen Wabenstruktur den Olbers'schen Nachthimmel beeinflussen sollte, kann man sich durch entsprechende Simulationsrechnungen mit dem Computer vergegenwärtigen. Dabei läßt sich nachweisen, daß selbst bei unendlicher Ausbreitung solcher galaktischer Bienenwabenstrukturen im Raum immer noch kein leuchtender Nachthimmel entsteht, wenn nur die Größenskalen der Wabeninnenräume im Vergleich zu denjenigen der Wabenwände entsprechend unterschiedlich beschaffen sind. Wenn also die organisierte Leere im Universum ein kritisches Maß überschreitet, so läßt sich selbst in einer unendlich alten und unendlich ausgedehnten Welt kein heller Nachthimmel erwarten.

Es ist vielleicht hier einmal interessant, sich zu vergegenwärtigen, wie man als beobachtender Astronom die Dichteverteilung der leuchtenden Quellen im Universum erfährt. Man stelle sich dazu nur einmal vor, der Kosmos sei mehr oder minder gleichmäßig mit leuchtenden Sternen erfüllt. Wie müßte sich dies dann auf das in unseren Blick tretende Himmelsbild auswirken, wenn unser Blick immer tiefer in die kosmischen Weiten vordringen würde? Der beobachtende Astronom vollzieht diese Erfahrung, wenn er nach Leuchtstärke sortiert astronomische Quellenzählungen in einem durch den Blickwinkel festgelegten Himmelssegment durchführt. Hierbei ermittelt er zum Beispiel die jeweilige Anzahl kosmischer Leuchtquellen bis hinunter zu einer gewissen, willkürlich festgesetzten Grenzhelligkeit oder scheinbaren, visuellen Größe, wie die Astronomen sagen. Indem nun der Wert für diese willkürliche Grenzhelligkeit immer mehr gesenkt wird, nimmt die Zahl der sich zeigenden Objekte ständig zu. Die spannende Frage aber stellt sich dann, in welcher Form die Anzahl der Objekte mit sinkender Grenzhelligkeit zunimmt. Bei ganz gleichmäßiger Verteilung der leuchtenden Quellen im Raum und bei immer gleicher, absoluter Helligkeit aller im Raum verteilten Objekte sollte sich dann ein Verhalten der resultierenden Objektanzahl  $N = N(F)$  mit der Grenzhelligkeit  $F$  entsprechend der folgenden Gesetzmäßigkeit ergeben:

$$N(F) = N_0 \cdot (F_0/F)^{-3/2} = N_0 \cdot 10^{0.6m} \quad (1)$$

Hierbei bedeutet  $F$  die willkürlich gesetzte Grenzhelligkeit, auch ausdrückbar durch die entsprechende scheinbare, visuelle Größe bzw. Magnitude  $m$ ;  $N(F) = N(m)$  nennt also die Zahl der Lichtquellen innerhalb eines festen Himmelssegmentes mit Helligkeiten größer als diese Grenzhelligkeit  $F$  (bzw.  $m$ ).  $N_0$  wäre dazugehörig eine entsprechende Referenzzahl für die Anzahl der Objekte mit Grenzhelligkeiten größer einer Referenzhelligkeit  $F_0$ .

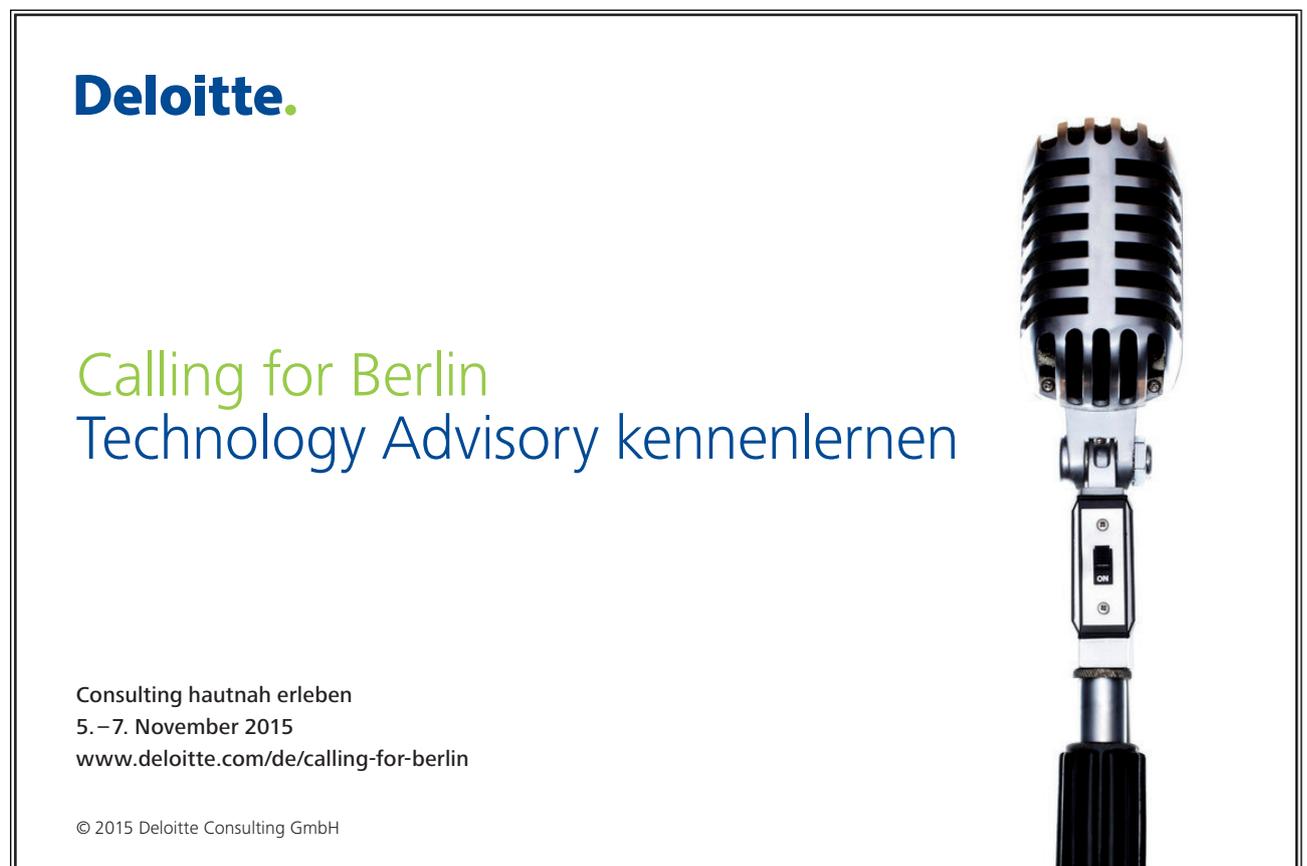
Bei realen Sternzählungen laufen die Astronomen nun jedoch gleich auf mehrere Probleme. Zum einen wird der gravierende Umstand zum Problem, daß die verschiedenen leuchtenden Quellen am Himmel nicht alle von gleicher Natur sind und demnach nicht als leuchtende Einheitskerzen im Weltraum angesehen werden können. Man muß vielmehr typologisch kategorisierte Sternklassen separat zählen, um überhaupt erst einmal etwas sinnvolles zu zählen und somit, sozusagen artspezifisch, hinter die kosmische Verteilungsstatistik im Raum schauen zu können. Selbst solche Kategorien sind jedoch nie scharf genug faßbar, so daß man in ihnen dann sozusagen nur noch einen reinen Einheitskerzenstandard vorliegen hätte. Zum anderen ist man als Astronom bei Himmelsdurchmusterungen immer auf Beobachtungsinstrumente angewiesen, die zu allen Zeiten nur von endlicher Güte sind. So werden Quellenzählungen immer mit lichtempfindlichen CCD-Detektoren (Charged-Coupled Devices) oder Photoplaten endlicher Sensitivität durchgeführt. Das setzt einerseits dem nutzbaren Bereich von Grenzhelligkeiten einen bestimmten, technikbedingten, unteren Grenzwert. Andererseits läßt es auch das Problem der Quellenidentifizierung aufkommen; je schwächer die Quellen wegen ihrer Entfernung werden, umso schwieriger gestaltet sich der Quellennachweis, und umso unsicherer wird die Quellenzählung, weil man bei der Schwäche der Quellen immer leichter einige von ihnen übersieht (Malmquist Bias!).

Die vorgegebene Grenzhelligkeit ist bei Vorliegen einer wohl definierten Objektklasse mit einheitlicher, absoluter Helligkeit und bei Zugrundelegung des üblichen Lichtschwächungsgesetzes, wie es im euklidischen Raum gilt, ein direktes Maß für die maximale Entfernung der erfaßten Objekte. Unter Astronomen ist es zudem üblich die Entfernung mit der zum jeweiligen Objekt zugehörigen Rotverschiebung  $z = (l - l_0)/l_0$  in Verbindung zu bringen. Hierbei werden Rotverschiebung und Entfernung über eine lineare Korrelation miteinander verbunden gesehen  $z = z_0(R_e/R_0)$ . Wir werden an späterer Stelle noch genauer auf die Problematik dieser Relation zu sprechen kommen. Schaut man nur einmal auf die zahlenmäßige Verteilung der bis heute in ihren Rotverschiebungen beobachteten Galaxien (1980 waren es 5000, heute sind es weit über 100000!) über einer Koordinatenachse, auf der die Rotverschiebung der Spektrallinien dieser Galaxien als Koordinate abgetragen ist, so wird die Verklumpung der Materie als ein kosmisches Faktum augenfällig. Es gibt nämlich ganz auffällige Häufungspunkte auf der Rotverschiebungsachse, die bedeutsam sind, auch wenn man bedenkt, daß der zu bestimmten Entfernungsintervallen zugehörige Raumbereich mit wachsender Entfernung, also in diesem Falle mit größerer Rotverschiebung, quadratisch anwächst, und uns dafür aber die fernen Quellen wegen ihrer wachsenden Lichtschwäche in wachsendem Maße verborgen bleiben. Letztere Umstände können zusammengenommen werden in einer Erwartungskurve, die zeigt, welche Verteilung aufgrund dieser einfach absehbaren Umstände sich ergeben sollte. In ihr zeigt sich, welche Verteilung wir bei einer homogenen Quellenverteilung eigentlich erwarten sollten. Die tatsächlich sich aus den Beobachtungen darbietende Quellverteilung weicht dagegen ganz auffällig von dieser Erwartung ab. An der tatsächlichen Quellenverteilung erkennt man zum Beispiel eine sehr bemerkenswerte Häufung von Galaxien im Bereich von Rotverschiebungen entsprechend  $7500 \text{ km/s} < (cz) < 10500 \text{ km/s}$ . Was besagt nun aber eine solche Häufung in den Rotverschiebungen für den materiellen Aufbau des Kosmos?

Bei solchen astronomischen Quellenzählungen läuft man nun leider auf eine Reihe von zunächst ungeahnten Problemen auf, die die Interpretation derselben, zum Beispiel im Hinblick auf räumliche Verteilungsstrukturen, sehr schwierig gestalten, insbesondere dann, wenn man in solchen Zählungen bis zu Objekten geringer scheinbarer Leuchtkraft vordringen will, die in der Regel in großen kosmischen Entfernungen von uns stehen, und deren heute empfangenes Bild uns ein Abbild des Kosmos aus sehr weit zurückliegenden, kosmischen Epochen gibt. Bei großen Abständen erzählen die Quellenzählungen somit nicht nur etwas über die Verteilung der Quellen in der Ferne des Raumes, sondern gleichzeitig davon überdeckt auch etwas über die zeitliche Entwicklung solcher räumlicher Verteilungen und über die Entwicklung der erfaßten Lichtquellen überhaupt. In einem homogenen Universum sollte zwar die Zahl der Lichtquellen vom gleichen Typ mit sinkender scheinbarer Grenzhelligkeit systematisch zunehmen, wenn es zu allen dabei ins Spiel kommenden Zeiten diese Quellen mit gleicher Raumdichte gegeben hat. Wenn diese Quellen sich jedoch erst zu einer bestimmten kosmischen Epoche aus einer diffusen, nicht-leuchtenden Materieverteilung zu bilden begonnen haben, so würde man in der Nähe und erst recht jenseits dieses zugeordneten Zeithorizontes einen abrupten Rückgang der Quellenzahlen erwarten müssen. Wenn zudem diese sich zu irgendeiner Epoche bildenden Quellen eine interne, typ-eigene Leuchtkraftentwicklung in der nachfolgenden Zeit durchmachen, so können wir die von uns wahrgenommene, scheinbare Helligkeit solcher Objekte offensichtlich nicht nach dem üblichen Lichtschwächungsgesetz dazu benutzen, um ihre wahre Entfernung festzulegen. Durch die Auswahl nur eines spezifischen Objekttyps haben wir demnach immer noch keinen Einheitskerzenstandard für die absolute Leuchtkraft herausselektiert. Wir haben es vielmehr mit einer in der Zeit veränderlichen Einheitskerze zu tun bekommen, die das Ergebnis der Zählungen in ziemlich ungewisser Weise beeinflusst, insbesondere dann, wenn man die Langzeitveränderlichkeit der Helligkeit einer solchen Einheitskerze nicht genau kennt und berücksichtigen kann. Letzteres ist nun in der Tat leider der Fall und macht weiträumige Galaxienzählungen in ihrer Aussage fragwürdig. Noch ein weiterer Umstand erschwert hier die Deutung, nämlich die Tatsache, daß man zumindest über größeren, kosmischen Entfernungen nicht mehr davon ausgehen kann, daß der dort repräsentierte kosmische Raum sich noch nach den Prinzipien der euklidischen Geometrie, die wir alle auf der Schule lernen und hier auf der Erde anwenden, verstehen läßt. Hier sagt einem die Allgemeine Relativitätstheorie vielmehr, daß der groß skalig metrisch zu vermessende Raum im Universum sich als durch die kosmischen Energieverteilungen gekrümmt erweisen sollte. Dabei kann sich je nach den Verhältnissen im Anfang des Universums ein positiv ( $k = +1$ ) oder negativ ( $k = -1$ ) gekrümmtes, oder ein ungekrümmtes ( $k = 0$ ) Weltall herausstellen. In einem isotrop und positiv gekrümmten Weltall läuft das Licht zum Beispiel auf gekrümmten Bahnen, nämlich Kreisbahnen, zu seinem jeweiligen Ausgangspunkt zurück, wobei der Krümmungsradius einer solchen Kreisbahn gleich dem Skalenparameter  $R$  des Universums ist, der oft auch als der Weltdurchmesser bezeichnet wird und von den Einstein'schen Feldgleichungen als Funktion der Zeit, also als  $R = R(t)$ , für ein bestimmtes Weltmodell festgelegt wird (nach dem Zusammenhang:  $r(t) = k/R(t)$ ;  $r$  = Krümmungsskalar,  $k$  = Krümmungsparameter,  $R(t)$  = Welt-Skalenparameter).

In einem negativ gekrümmten Weltall ( $k = -1$ ) wächst die Fläche einer Kugelschale stärker als quadratisch mit dem Kugelradius, und das Kugelvolumen stärker als mit der dritten Potenz des Kugelradius. Im Gegenteil wachsen bei positiv gekrümmtem Weltall beide Größen schwächer. Bei räumlicher Gleichverteilung von kosmischen Lichtquellen und in allen Fällen gleicher Raumdichte derselben sollten demnach in einem Kugelvolumen vom gleichem Radius am meisten Quellen in einem negativ, am wenigsten in einem positiv gekrümmten All zu finden sein. Galaxienzählungen sollten folglich in einem negativ gekrümmten Weltall zu einer stärker mit dem Abstand wachsenden Zahl als in einem euklidischen, also ungekrümmten Weltall führen, dagegen in einem positiv gekrümmten zu einer schwächer wachsenden Zahl. Dazu kommt außerdem noch ein diffiziler Einfluß auf das Lichtschwächungsgesetz in solchen gekrümmten Welträumen. Da die Kugelfläche um einen Stern herum in einem positiv gekrümmten All schwächer als mit dem Quadrat des Abstandes von diesem Stern anwächst, so nimmt die scheinbare Lichtintensität, wegen der sich nunmehr auf diese reduzierte Kugelfläche verteilenden stellaren Lichtemission, auch nicht mit dem Reziproken des Quadrates des Abstandes ab, sondern schwächer. In einem negativ gekrümmten All nimmt dagegen die scheinbare Lichtintensität stärker als mit dem Quadrat des Abstandes von der Lichtquelle ab. Insgesamt überlagern sich hier für Sternzählungen zwei Effekte der Raumgeometrie: Erstens nimmt die Zahl der Quellen mit dem Abstand anders als im euklidischen Fall zu. Zweitens aber nimmt die scheinbare Helligkeit dieser Quellen mit dem Abstand anders als im euklidischen Fall ab. Die gleiche Kerze im gleichen Abstandsintervall wäre so zum Beispiel bei positiv gekrümmten Weltall scheinbar heller als im euklidischen Fall, bei gleicher, räumlicher Kerzendichte würden wir jedoch in diesem Fall in einem festen Himmelssegment im gleichen Abstandsintervall weniger Kerzen sehen. Die Überlagerung all dieser Effekte macht nun ersichtlich die Deutung jeder Quellenzählung sehr problembeladen. Nicht nur müßte man die kosmische Evolution der gezählten Quellen hinsichtlich ihrer Zahl pro Raumvolumen und hinsichtlich ihrer Absolutintensität seit ihrer Entstehung genau kennen, sondern man müßte auch die Krümmung des Weltraumes und ihre zeitliche Veränderung genau kennen, um all das als ein Aprioriwissen in die Interpretation hineinnehmen zu können, was man eigentlich erst aus dieser Interpretation gerne herausbekommen möchte. Zum Glück belasten die letztgenannten Dinge der kosmischen Evolution und der Raumgeometrie jedoch zumindest die Quellenzählungen in unserer näheren Weltraumnachbarschaft nicht sehr, da sie hier nicht zum Tragen kommen, bei den fernen und fernsten Quellen, die heute erfaßt werden, spielen sie jedoch durchaus eine Rolle, je nachdem wie die Weltgeschichte verlaufen ist, sogar eine große Rolle. Was die geometrischen Effekte anbelangt, so kann man sagen, daß diese sich bei Quellen bemerkbar machen, deren Abstand von uns in die Größenordnung des kosmischen Krümmungsradius gegeben durch den Welt-Skalenparameter  $R(t)$  kommt. Heute ist dieser Skalenparameter sicher größer als alle Entfernungen der von Astronomen betrachteten Quellen. Wenn wir jedoch Quellen bei großen Rotverschiebungen (maximale Quasar- Rotverschiebungen liegen bei  $z = 7!$ ) beobachten, so kommen deren Emissionen aus Zeiten, als das Universum, und damit sein damaliger Skalenparameter, zumindest nach der Urknalltheorie noch sehr viel kleiner war. Nach allgemein- relativistischen Beziehungen, von denen wir später noch im Detail reden wollen, muß das Licht eines Quasars mit einer Rotverschiebung von  $z = 7$  unabhängig vom Weltmodell zu einer Zeit von diesem Quasar emittiert worden sein, als das Universum nur ein Achtel so groß war wie heute! ( $z + 1 = (R_0 / R_z)$  ;  $z$  = Rotverschiebung des Quasars,  $R_0$  = heutiger

Weltradius,  $R_z$  = Weltradius zur Zeit, als das heute empfangene Quasarlicht mit der Rotverschiebung  $z = 7$  eintreffend an der Quelle emittiert wurde). Quasare sind als jene Objekte bekannt, die wie stellare Quellen ohne Ausdehnungsstruktur erscheinen, denen jedoch bei den kosmologischen Entfernungen, in denen sie zu stehen scheinen, immense Leuchtkräfte vom tausendfachen normaler Galaxien zugesprochen werden müssen. Wir kommen auf diesen Zusammenhang zwischen Rotverschiebung und Weltdurchmesser unter dem Thema „Rotverschiebungen“ noch einmal zurück. Hier sei zunächst nur hervorgehoben, was das oben gesagte impliziert:



**Deloitte.**

Calling for Berlin  
Technology Advisory kennenlernen

Consulting hautnah erleben  
5. – 7. November 2015  
[www.deloitte.com/de/calling-for-berlin](http://www.deloitte.com/de/calling-for-berlin)

© 2015 Deloitte Consulting GmbH



Es bedeutet doch in der Tat dann, daß der damalige Krümmungsradius des Weltalls auch nur ein Achtel seines heutigen Wertes gewesen sein kann, als das Quasarlicht vom Quasar emittiert wurde, das wir heute bei uns empfangen. Nach den meisten kosmologischen Modellen wird den Quasaren nun aber eine metrische Entfernung von uns zugeschrieben, die vergleichbar mit dem, oder in den meisten Fällen sogar größer als der damalige Weltkrümmungsradius ist. Hierbei wird die „metrische Entfernung“ als jene tatsächliche Laufstrecke verstanden, die das Licht vom Quasar bis zu uns zurücklegen mußte, während die expandierende Welt sich weiterhin ausdehnte. Sie ist in einem expandierenden Universum deutlich größer als die Entfernung des Quasars von uns im Moment der Emission des heute von uns empfangenen Quasarlichtes. Andererseits ist diese Entfernung aber auch geringer als die heute gegebene, echte Entfernung zu diesem Objekt. In einem positiv gekrümmten Standard-Weltall nach dem Friedmann-Typ besäße zum Beispiel ein solcher Quasar mit der Rotverschiebung  $z = 5$  eine metrische Entfernung  $R = R(z)$  von uns, die gegeben wäre durch:  $R = (c/H)q[1 - 1/(1 + z)] = 5/6(c/H) = 5/6R$ . Sie wäre somit weit größer als der damalige Krümmungsradius des Weltalls und nur wenig kleiner als der heutige Krümmungsradius! Das bedeutet dann aber mit Gewißheit, daß wir bei der Bewertung aller Eigenschaften solch entfernter Objekte auf keinen Fall die euklidische Geometrie zugrundelegen dürften, es sei denn, sie herrsche trotz allgemein-relativistischer Bedenken sozusagen prästabilisiert in unserem Weltall schon immerdar vor, aus Gründen, die man noch erfinden muß te. Womöglich spricht man also diesen Quasaren nur deswegen so enorm hohe Leuchtkräfte zu, weil man die Schwächung ihres Lichtes über die Entfernung nach Euklidischen Regeln eingeschätzt hat. Bei positiv gekrümmtem All würden dagegen Antipoden-nahe Punkte eine viel geringere Schwächung ihrer Intensität erfahren. All das vorgenannte zusammen bedingt nun aber ersichtlich, daß reelle Objektzählungen in festgelegten Himmelssegmenten in der Tat je nach Himmelsregion unterschiedlich ausgeprägte, nichtsdestoweniger aber generell sehr deutliche Abweichungen von dem früher beschriebenen Normalverhalten einer uniformen Quellenverteilung und starke Streuungen darum herum aufweisen.

Trotz aller Interpretationsschwierigkeiten lassen solche Zählungen dennoch gewisse Schlüsse zu. Systematische Abweichungen nach unten gegenüber der „Normalverteilung“ lassen so zumeist den sicheren Schluß zu, daß wir mit den in die Zählung einbezogenen, vorkategorisierten, stellaren Leuchtkandidaten bei bestimmten kritischen Helligkeiten  $F$  (bzw. Magnituden  $m$ ) über die Grenze eines uns umgebenden kosmischen Hierarchiesystems hinauszustoßen beginnen. Eine mehr oder weniger homogene Quellenverteilung kann schließlich allenfalls innerhalb einer, oder dann eben der nächst höheren, Strukturhierarchie erwartet werden. Bisher ist bis hinunter zu den heute gerade noch registrierbaren Grenzhelligkeiten kein Verhalten nach dem oben beschriebenen Normalverhalten der kosmischen Leuchtquellen aufgefunden worden. Es gibt demnach kein Anzeichen für Homogenisierung der kosmischen Materieverteilung im Weltraum. Das bedeutet somit aber, daß bis zu den größten, heute erfaßbaren, kosmischen Entfernungen kein Ende einer sich durchgängig weiter entwickelnden Hierarchienbildung absehbar ist. Demzufolge läßt sich auch keinerlei Tendenz zur Homogenisierung der Materieverteilung im Universum erkennen, auch bei größten Raumskalen nicht! Nach den Äußerungen des renommierten, französischen Astronomen De Vaucouleurs läßt sich daraus entnehmen, daß es schon ein echtes Überraschungswunder darstellen würde, wenn das Universum sich schließlich doch noch auf den allergrößten Raumskalen ( $L = c H = 20$  Milliarden Lichtjahre) als homogen herausstellen würde. So etwas müßte dann schon einen beachtlichen Bruch mit dem kosmischen Strukturierungszustand auf allen kleineren Skalen darstellen! Für die Beurteilung der materiellen Erfüllung des Universums durch stellare Objekte jedweder Art erweist sich letztenendes nichts als wichtiger denn die Bestimmung der Entfernung dieser Objekte.

#### 1.4 Die kosmische Evolution – eine determinierte Mechanik des Werdens?

Immer will der Mensch sich alles erklären. Er will sich einen Reim auf alles machen, was ist und was geschieht. Warum aber, so wird einen vielleicht stutzig machen, sind die Erklärungen, die der heutige Mensch gibt, ganz andere, als sie von früheren Menschheitgeneration gegeben wurden? Ist die zu erklärende Welt denn heute eine andere geworden? Obwohl alle Generationen doch stets davon ausgingen, daß es nur die eine, immer gleiche, von uns zu erklärende Welt gibt?

Man erkennt daran vielleicht, daß eine Welt immer nur das ist und sein kann, was in unseren Anfragen an dieselbe perspektiviert werden kann. Und gerade eben in den Fragen, die wir heute stellen können, ist die heutige Welt eben eine ganz andere geworden, als sie es zur Zeit der Griechen und Babylonier war.

Zunächst ist doch einfach nur wichtig, daß überhaupt etwas da ist! , – das unsere Fragen provoziert – - und Antworten, die wir geben, kontrollierbar macht. Die beste Welterklärung schafft uns schließlich ja noch keine Welt. Was ist mit einer Welt, die wir zwar von Anfang bis Ende lückenlos logisch und kausal beschreiben können, die es jedoch überhaupt nicht gibt? Wenn wir eine Welt aus kosmischen Strukturen, Synergien, Hierarchien, Galaxien, Sternen und Planeten in all ihren Zusammenhängen in sich stimmig erklären könnten, aber es gäbe in der Tat gar keine Planeten, Sterne, Galaxien, so wäre diese in sich so stimmige Erklärung nichts weiter als eine zwar intellektuell und ästhetisch befriedigende, nichtsdestoweniger aber eine völlig irrelevante Theorie! – Ein in sich völlig logisch einwandfreies Märchen, aber eben ein Märchen. Ähnlich wie etwa auch bei der modernen Kunst, bei der nicht wichtig ist, daß sie die Welt richtig darstellt, sondern daß sie überhaupt etwas Wichtiges, wenn auch Unweltliches, darstellt.

Wissenschaftliches Suchen und Erklären ist wie ein Fischen im Meer mit selbstgemachten Netzen! Je nach den Maschen, die das Netz des Naturwissenschaftlers dabei hat, fängt er kleine oder größere Fische aus dem Meer diffusen Seins. Was aber dieses Meer selbst ist, welches alle Fische in sich bettet, kann bei solchem Tun nicht „erfischt“ werden. Den Kosmos sehen wir ebenso aus Sternen, Galaxien, Haufengalaxien oder Haufen von Haufengalaxien aufgebaut. Was der dieses alles einbettende Kosmos jedoch selbst ist, ist aus diesen kosmischen Fängen nicht ableitbar. Die Welt entfaltet sich eben ganz und gar aus den Fragen, die wir an die Welt zu stellen in der Lage sind. Wenn wir also eine Welt konzipieren, die einer Schöpfung im Urknall bedarf, so sollten wir uns bewußt sein, wie sehr wir dem Schöpfer unsere Erklärungsnotstände und endogenen Denknöten dabei als „schwarzen Peter“ zuspiesen.



**Mein Wissen rund um Big Data und SAP möchte ich sinnvoll einsetzen. Bin ich bei euch richtig, E.ON?**

**Lieber Herr Bennett, mit Ihren Fachkenntnissen können Sie bei uns viel bewegen.**

Bringen Sie Ihr Know-how in zukunftsweisende Projekte und Applikationen ein: Ob bei der energetischen Vernetzung von Smart Homes, der Steuerung virtueller Kraftwerke oder der Realisierung anspruchsvoller Logistik-Konzepte – der Energiesektor bietet vielfältige Herausforderungen für IT-Consultants, -Architekten und -Projektmanager. Entfalten Sie Ihre Kompetenz und geben Sie Ihrer Karriere neue Impulse.

Ihre Energie gestaltet Zukunft.

**top** ARBEITGEBER DEUTSCHLAND 2015  
CERTIFIED EXCELLENCE IN EMPLOYEE CONCEPTION

[www.eon-karriere.com](http://www.eon-karriere.com)

**e.on**



Die Frage bei einem unterstellten Anfang wird immer lauter, ob die Physik und Kosmophysik im Rahmen ihrer Theorie der Materie einen ANFANG wirklich nachweisen kann, oder ob sie sich lediglich der Idee eines ANFANGES aus heuristischen und erzähltechnischen Gründen bedienen will, um die Geschichte des physikalischen Universums „erzählbar“ zu machen. Unser Augenmerk sollte deshalb darauf gerichtet bleiben, ob es hier eigentlich doch nur um das Verständnis dessen geht, was die Welt im Innersten zusammenhält, oder wirklich essentiell auch um den Nachweis eines Werdens aus den Anfängen her.

In unserer Zeit erscheint vielen schon der Versuch einer naturwissenschaftlichen Erklärung des Universums als gleichbedeutend mit einer vollkommenen Entgöttlichung der Schöpfung. Ist aber allein die physikalische Deutung des erscheinenden Weltgutes gleichzusetzen mit dem Verlust jeder Selbstständigkeit, Schönheit und Wunderbarkeit der kosmischen Realität? Degradiert eine naturgesetzliche Beschreibung des Weltgeschehens die Schöpfung zu einem trivial-mechanischen Uhrwerk? Eigentlich stellt doch die menschliche Deutung der erscheinenden Welt nur ein wunderbares Zeichen dafür dar, daß diese Welt als das Transzendente des menschlichen Bewußtseins mit dem Menschen, – das heißt: mit seinem Verstande –, spricht und dabei sogar eine echte Wechselbeziehung eingeht? Und zwar ohne, daß das Wunderbare des Transzendenten dabei verloren ginge, einfach nur deswegen, weil es vom verstehenden Bewußtsein des Menschen vereinnahmt wird? Der Mensch „versteht“ den Kosmos – und der Kosmos wird dabei zu einem „vom Menschen verstandenen Kosmos“. Er wird jedoch dadurch nicht im Entferntesten zu einem rein immanenten Gut des menschlichen Bewußtseins! Wer den Kosmos erklärt, sollte deswegen noch lange nicht behaupten, ihn gemacht zu haben. Wir können alle sehr froh darüber sein, daß wir nicht in einer Welt zu leben haben, die unser Verstand konzipiert und sich ausgedacht hat!

Wie sich nämlich im Folgenden zeigen soll, liefert die derzeitige Standardkosmologie eine „schlecht“ erdachte Welt, deren Deutungskonzepte einer ständigen Nachbesserung bedürfen, wenn sie nicht lediglich einer immer wieder ahnbaren, grundsätzlichen Weltverfehlung dienen sollen. Man stelle sich nur einmal vor: Wäre der Kosmos tatsächlich so gebaut, wie wir ihn erkennen, so wäre darin kein Platz für uns zum Leben, denn das allein-gelassene menschliche Denken über den Kosmos hätte sich niemals den Menschen als Wesen in diesem Kosmos ausgedacht. Ob im Rahmen einer solchen, unzureichend erdachten Welt ein Anfang und ein Ende der Welt nahegelegt erscheint, stellt beim jeweiligen Stand der Wissenschaften demnach keine „biblischen“ Gewißheiten dar und auch nicht das Non-Plus-Ultra unseres Wissens über die Welt. Umso unverständlicher erscheint es, wenn also manche Astrophysiker wie etwa Stephen Hawking oder Roger Penrose heute sagen, daß sie mit ihren forschenden Blicken bis in die größten Weiten des Universums vorgedrungen seien und dennoch dabei nirgendwo Gott gefunden hätten. Die Nichtentdeckung Gottes auf dem Weg der Kosmologie besagt doch keinesfalls, daß es Gott nicht gibt, sondern schlicht nur einfach, daß der naturwissenschaftliche Erforschungsansatz eben nicht auf Gotteserkenntnis aus ist, sondern auf Welterkenntnis im transzendental-ästhetischen Sinne.

Kosmologie ist vielleicht so etwas wie ein naturwissenschaftliches Gleichnis der Schöpfung, – also die Welt gesehen im Lichte des Verstandes. Gott gibt aber unserem Verstand, wie viele glauben, erst dieses Licht zu sehen. Und insofern würde er dann ja auch die Welt, die wir sehen, verantworten. Die von uns gesehene Welt ist dann folglich nicht mehr und nicht weniger als das weltliche Licht Gottes selbst. Die erkannte Welt ersetzt demnach nicht Gott, wie etwa Richard Dawkins meint, sie macht ihn nicht überflüssig oder schränkt seine Freiheiten ein, im Gegenteil sie liefert geradezu die Erkenntnis der weltlichen Erscheinung Gottes. Das soll sich im Folgenden an einer Analyse unseres derzeitigen Weltverstehens genauer zeigen.

## 1.5 Die moderne Standard-Kosmologie

Die Fundamente unserer großen Weltansichten gehen im Grunde weitgehend zurück auf die Einsichten eines Nikolaus Kusanus, Dominikaner und Kardinal von Kues, der da um 1300 n.Ch. sagte, die Welt sei ein Gebilde, dessen Mitte überall ist und dessen Rand nirgendwo ist. Auch Giordano Bruno hat 300 Jahre später diesen Gedanken vollinhaltlich fortgeführt, indem er ausführte, daß das Universum unendlich fortsetzbar sei, und Welten und Weltinseln, so wie wir sie kennen, sich darin in allen Richtungen und Fernen immer wieder wiederholen. Allerdings wurde er für seine Aussagen im Jahre 1600 pc vom römischen Kirchentribunal auf dem Scheiterhaufen verbrannt. Zusätzlich zu dieser frühen Kosmologie macht nun die moderne Kosmologie den Ansatz, daß das Universum einen Anfang hat, und daß man diesen Anfang aus den jetzigen kosmischen Gegebenheiten, die wir wahrnehmen können, extrapolativ erkennen kann. Zudem wird auf der Grundlage des kosmologischen Prinzipes (siehe Ellis, 1984, oder Stephani, 1988) angenommen, daß kein Raumpunkt in diesem Universum bevorzugt ist, daß sich vielmehr das Universum in seinen Energiedepositionen in Form von baryonischer, photonischer, oder dunkler Materie zumindest auf großen Dimensionen als „raumartig homogen“ darstellt (siehe Wu, Lahav and Rees, 1999). „*Raumartig homogen*“ soll dabei heißen, daß in einem *Gleichzeitigkeitsraum* Homogenität herrscht, nicht aber in dem Raum, den wir als Astronomen teleskopisch sehend ertasten, wobei wir ja stets den Zustand in größerer Ferne zu einer früheren Weltzeit erkennen, als durch das lokale Jetzt markiert. In einem evolvierenden Universum sehen wir demnach niemals eine raumzeitliche Homogenität, wir unterstellen ihm aber eine raumartige Homogenität, obwohl niemand diese jemals gesehen hat! Lediglich in einem statischen Universum, in dem sich großräumig gesehen nichts ändert, könnte man hoffen, gemittelt über entsprechend großen Skalen, auch eine raumzeitliche Homogenität anzutreffen.

Bei Ansicht der früheren Zustände des Kosmos in den größeren kosmischen Fernen von uns kommen die Astronomen zu der Vorstellung, daß sie im Vergleich zu den heutigen Zuständen in unserer Nähe, daraus eine Entwicklung der Weltzustände im Verlauf der Weltzeit extrapolieren können. Auch glauben sie, aus dieser sich darin andeutenden Entwicklung auf die uns heute völlig entlegenen Anfangszustände des Kosmos schließen zu können. Die Erkennbarkeit eines Weltanfangs könnte sich jedoch auch als bittere Illusion herausstellen. Könnte es denn nicht vielleicht auch so sein, daß das Universum ein chaotisches System mit unzählig vielen multikausalen, nichtlinearen Rückkopplungen zurückwirkend auf jeden lokalen kosmischen Zustand darstellt? Dann aber müßte die Frage nach dem Weltanfang völlig obsolet sein, denn alle nichtlinear-chaotischen Systeme lassen ihre Anfänge in völlige Vergessenheit treten. Man sieht ihnen ihre Anfangszustände einfach nicht mehr an! Das Weltgeschehen läuft vor dem Beobachter einfach ab, ohne aber dabei irgendeinen Hinweis auf seine Anfangszustände zu geben. Zwar gibt es wohl ein Mikrogesehen überall an lokalen Stellen in der Welt, jedoch das Makrobild des Kosmos, also die großräumige Struktur, ändert sich dabei nicht, sie hält sich vielmehr über alle Zeiten durch. Man denke vielleicht hier vergleichsweise an die Gasmoleküle im thermodynamischen Gleichgewicht: der Makrozustand des Systems ändert sich hier überhaupt nicht, – und dennoch bewegen sich alle Moleküle!

Das meteorologische Geschehen auf unserer Erde wirft deshalb ja auch für niemanden die Frage nach dem Anfangszustand des Wetters auf. Lediglich fragt man sich, ob man aus Kenntnis des Jetztzustandes den unmittelbaren Nachfolgezustand des Wetters über dem Erdball im Rahmen einer Kurzzeitprognose prophezeien kann. In der Kosmologie würde gleiches heißen, daß wir uns den Istzustand des Universums möglichst umfassend ansehen und dann im Rahmen naturgesetzlicher Prozeßabläufe eine Vorhersage auf den damit kausal korrespondierenden, ins Jetzt kommenden Zustand wagen. Das hieße aber, wir sollten die Welt eher anhand ihres Istzustandes als aufgrund eines ihr unterstellten Anfangszustandes zu verstehen versuchen. Das jedoch wäre im Vergleich zur Standardkosmologie ein völlig neuer Ansatz zu einem Weltverständnis, in dem die Welt nicht an ihrem Anfangszustand festgemacht wird, sondern an ihrem zeitlosen Sosein in einem thermo-gravo-dynamischen Attraktorzustand. Wie gut also ist unsere derzeitige Welterkenntnis, die wir im Rahmen der modernen Kosmologie gewinnen? Kann das Erkannte uns die Welt selbst ersetzen?

In der Standardkosmologie dient die angenommene Homogenität der Energieverteilung und die angenommene *Krümmungsisotropie* dazu, daß man mit Hilfe der unter solchen Umständen geeignet erscheinenden *Robertson – Walker Metrik* eine für alle Weltpunkte gültige und verpflichtende Weltzeit  $t$  einführen kann und die ursprünglich 10 Einstein'schen allgemein-relativistischen Feldgleichungen auf nur zwei nicht-triviale Differentialgleichungen zurückführen kann, welche über die Größen  $\dot{R} = dR/dt$  und  $\ddot{R} = d^2R/dt^2$  die Geschwindigkeit bzw. die Beschleunigung der Weltexpansionsskala  $R(t)$  beschreiben. Diese beiden nicht-trivialen Differentialgleichungen haben die folgende Gestalt

$$\left(\frac{\dot{R}(t)}{R(t)}\right)^2 = \frac{8\pi G}{3}\rho(t) - \frac{kc^2}{R^2(t)} + \frac{\Lambda c^2}{3} \quad (2)$$

und

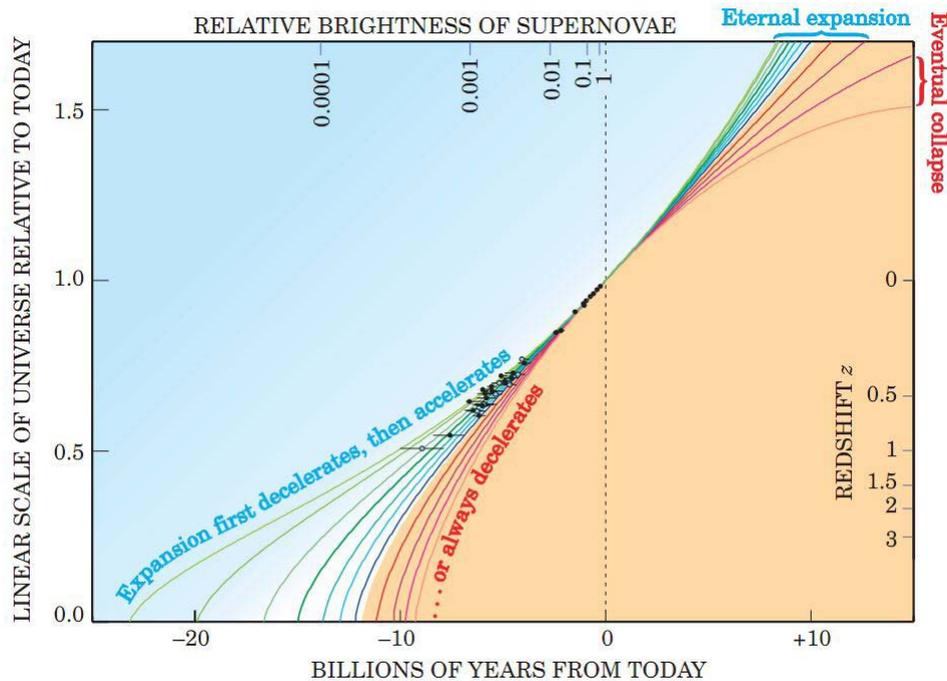
$$\frac{\ddot{R}(t)}{R(t)} = -\frac{4\pi G}{3c^2}(3p(t) + \rho(t)c^2) + \frac{\Lambda c^2}{3} \quad (3)$$

Hierbei ist  $G$  die Newton'sche Gravitationskonstante,  $c$  ist die Lichtgeschwindigkeit,  $k$  ist der Krümmungsparameter, und  $\Lambda$  ist Einstein's Kosmologische Konstante. Die Funktionen  $\rho(t)$  und  $p(t)$  beschreiben die Gesamtdichte und den Gesamtdruck im Kosmos.

In diesen Gleichungen wird zudem angenommen, daß die massebehafteten Teilchen im Kosmos zu einer homogenen Massendichte führen, welche wegen angenommener Teilchenzahl- und Teilchenmassen-Erhaltung umgekehrt proportional zum raumartigen Weltvolumen, das heißt zur dritten Potenz der Skala  $R$  abfällt. Zudem ist eine konstante Vakuumenergiedichte vorgesehen, die über den Term, der die *kosmologische Konstante*  $\Lambda$  enthält, in diese Gleichungen Eingang findet und auf eine ursprüngliche Idee von Albert Einstein (Einstein, 1917) zurückgeht.

Dieser Energieterm, der so etwas wie eine *Volumenenergie* darstellt, hat bei positivem Wert eine akzelerative, bei negativem Wert eine dezelerative Wirkung auf die kosmische Skalenveränderung  $\dot{R}$  bzw. auf die Expansion des Universums. Seine Wirkung steht damit im krassen Gegensatz zu der dezelerativen Wirkung aller anderen Raumpunkt-bezogenen, „teilchenartigen“ Energiedepositionen im Kosmos.

Je nach angenommenen Proportzen der Materiedichte oder Vakuumenergiedichte zur sogenannten *kritischen Dichte*, gegeben durch  $\rho_c = 3H_0^2/8\pi G$  ( $H_0$  = Hubble Konstante ;  $G$  = Gravitationskonstante) und errechnet aus der Gleichgewichtsforderung:  $(1/2)\dot{R}^2 = G(4\pi/3)\rho_c R^3/R$ , ergeben sich sehr unterschiedliche Verlaufsformen für die zeitliche Entwicklung der kosmischen Skala  $R$ , die insbesondere ausgehend von der jetzigen Expansion des Kosmos sehr unterschiedliche Vergangenheiten und Zukünfte unserer Welt erwarten lassen würden (siehe z.B. Goenner, 1994, 1997), über deren Bedeutung man sich im einzelnen angesichts gegebener, astronomischer Beobachtungsfakten zu unterhalten hat.



**Abbildung 1:** Alternative Lösungen der Friedmann-Lémaître Gleichungen im Rahmen der Standard-Kosmologie (aus Perlmutter, Physics Today, 2003)

# 1

Ziel:  
Du entwickelst  
unsere Zukunft.  
Wir Deine.

IT-Traineeprogramm

In 18 Monaten durchläufst Du 3 verschiedene Stationen, wirst von einer Führungskraft als Mentor betreut und profitierst von einem breiten Seminarangebot. Anschließend kannst Du eine Fach- oder Führungslaufbahn einschlagen.

[www.perspektiven.allianz.de](http://www.perspektiven.allianz.de)

**Allianz Karriere**

## Allianz



Aus der Vielfalt der möglichen Modelle kann man nun versuchen, das im Hinblick auf astronomische Fakten „best fitting model“ aus der Menge dieser Standardmodelle auszuwählen. Modell-relevante „astronomische Fakten“ liegen allerdings für diese Zwecke nicht einfach so auf der Hand des astronomischen Beobachters. Sie sprechen vor allem auch nicht einfach für sich, sondern werden auf nicht unabhängige Weise theorie-immanent aufgefunden. In der Tat werden heute die in den *WMAP*-Daten gefundenen Minimalvariationen in der Intensität der *kosmischen Hintergrundstrahlung* zur Modelbestätigung verwendet. Auf nicht unproblematische Weise lassen sich diese gefundenen Minimalvariationen in der Temperatur der kosmischen Hintergrundstrahlung über eine lange Kette von kosmologie-belasteten Zwischenschritten mit den Geburtszentren für die heute gefundenen Galaxien und Galaxienhaufen zusammenbringen (Bennet et al., 2003). Auch kann die aus kosmologisch gedeuteter Rotverschiebung geschlossene Entfernung fernster *Supernovae* durch Wahl des geeigneten Kosmologiemodelles so zugeordnet werden, daß die gefundenen scheinbaren und die erwarteten absoluten *Helligkeiten* dieser kosmischen Standardstrahler im Rahmen der Standardmodellierung gut zusammenpassen (Perlmutter et al., 1999). Damit kann ein best-passendes *kosmologisches Konsensmodell* gefunden werden, in dem dann allerdings die geforderten Proportionen der diese „Konsenswelt“ konstituierenden kosmischen Energieanteile, zumindest bei den Unvoreingenommenen, Verwunderung auslösen sollten:

Der Hauptanteil, nämlich 72%, der unsere Welt ausmachenden Energie entfällt danach auf die sogenannte „*dunkle Energie*“, oder anders auch genannt: *Vakuumenergie*. Der zweit wichtigste Anteil, nämlich 23%, wird von der „*dunklen Materie*“ ausgemacht, jener bisher nicht nachgewiesenen, aber aus gravitativen Bindungsgründen geforderten Form von Materie, die laut Definition keinerlei elektromagnetische Wechselwirkung mit sich selbst oder anderer Materie zeigt und demnach nicht direkt, sondern nur indirekt durch Mitgestaltung der kosmischen Gravitationsfelder erkennbar wird (siehe Bennet et al., 2003). Lediglich 4% vom Gesamtenergiekuchen werden dagegen von den Materieteilchen ausgemacht, die man zuvor und bisher immer als die wichtigsten Masse- und Energie-Komponenten des Universums angesehen hatte. Muß man nun in Zukunft mit einer solchen Welt leben?

## 1.6 Die unverstandene Vakuumenergie

Vielleicht dient es ja manchem als wohltuende Entspannung zu hören, daß dieses zuvor erwähnte, den „theorie-belasteten“ Beobachtungsfakten am besten gerecht werdende Konsensmodell, abgesehen von seinem irritierenden, kosmologischen Gehalt, zudem auch durch gravierende theoretisch-physikalische Probleme belastet ist, die im folgenden kurz angesprochen werden sollen: Ein Universum, dessen Materieverteilung unter Mitwirkung der Vakuumenergie bestrebt ist, sich auf größere und größere Raumskalen  $R_0 \leq R_1 \leq R_2$  auszudehnen, leistet dabei offensichtlich Arbeit gegen die intermaterielle gravitative Anziehung des kosmischen Materiefeldes, möge diese Arbeit nun klein oder groß sein. Diese Anziehung pro Masse ergibt sich jedenfalls für ein ungekrümmtes Weltall ( $k = 0!$ ) als umgekehrt proportional zum Quadrat der Weltskala, also zu  $R^{-2}$  (Fahr and Heyl, 2008, siehe auch Abb. 2). Wenn es nun aber speziell die Vakuumenergie sein soll, die diese Ausdehnung forciert, dann sollte eigentlich zu erwarten stehen, daß sich die Energie des arbeitsleistenden Vakuums bei solcher Ausdehnung verringert oder gar letztlich verbraucht. Wenn jedoch die Vakuumenergiedichte, wie ja in der Standardkosmologie angenommen, auf ewig konstant ist, so tritt hiermit der extrem absurde Fall ein, daß eine Größe in der Physik des Kosmos Wirkung zeigt, auf die der Kosmos selbst offensichtlich nicht zurückwirkt und auch per definitionem wegen  $\Lambda = const$  gar nicht zurückwirken kann! (Fahr, 2009, Fahr and Sokaliwska, 2011).

So etwas steht jedoch strikt der Newton'schen Grundlehre entgegen, nach der jede Aktion zu einer Gegen-Aktion führt. In diesem Falle würde das heißen: Trotzdem das Weltvakuum am Kosmos Arbeit leistet, vermehrt es ständig die Gesamtenergie des Kosmos, indem es bei konstanter Vakuumenergiedichte dessen Volumen vergrößert! – Dies wäre geradezu ein „Münchhausen Universum“, so etwa, als würde man einen Aufzug gegen das Gravitationsfeld anheben und dabei auch noch Energie gewinnen, ein Münchhausen-Kosmos förmlich, der sich selbst an seinen Haaren aus dem Sumpf der Gravitation zieht (siehe auch Abb. 2). Zurückblickend besagt das, daß man sich also im Rahmen des Standardmodelles einen Kosmos der seltsamen Wunderlichkeiten gewonnen hat, aber sicherlich keinen Kosmos, an den man ungeniert glauben könnte.

Bei konstanter Vakuumenergiedichte vermehrt sich die Vakuumgesamtenergie im Universum permanent mit dessen Expansion gemäß der Vergrößerung des Weltvolumens. Gleichzeitig muß bei der Volumenvergrößerung jedoch Arbeit gegen die intermateriellen Gravitationskräfte geleistet werden, was einen ständigen Energieaufwand bedeutet. Bei der hier in der modernen Standardkosmologie geforderten Form von Vakuumenergiedichte wird also insgesamt für den expandierenden Kosmos immer mehr Energie gewonnen, obwohl ständig Arbeit geleistet werden muß. Der Kosmos erscheint unter solchen Umständen wahrlich wie ein seltsam unphysikalisches Wunderlandsystem.

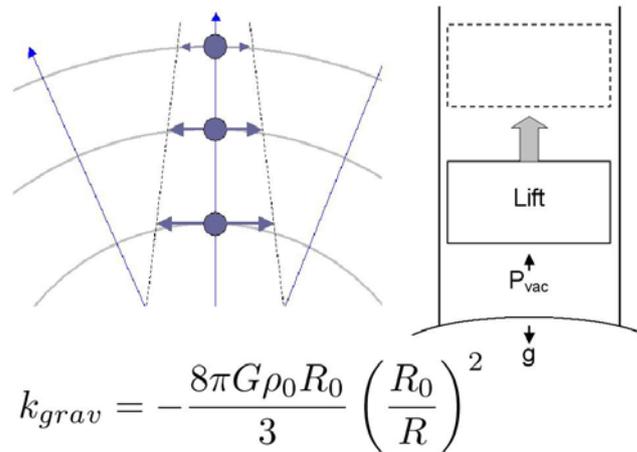


Abbildung 2: Konstante Vakuumenergiedichte?

Vielleicht sollte dies zu der Frage drängen, ob es denn nicht jenseits dieser Standardkosmologie andere, alternative Formulierungen dieser kosmischen Zusammenhänge gibt, die physikalisch eher hinnehmbar und dabei rational eingängiger erscheinen? Die folgenden essentiellen Fragen müssten zuvor losgelöst vom kosmologischen Standardmodell neu beantwortet werden:

- Wie verhält sich die Vakuumenergie in einem expandierenden Kosmos?
- Wie verhält sich die baryonische und nichtbaryonische Gesamtmasse im Kosmos?
- Wie verhält sich die Materiedichte in einem gekrümmten Weltraum?

**Sind Sie bereit für IBM?**

Lieben Sie Herausforderungen?  
Möchten Sie innovative Lösungen für führende Unternehmen entwickeln?  
Wollen Sie dem weltweit größten Beratungsunternehmen angehören?

**Entdecken Sie Ihre vielfältigen Karrieremöglichkeiten.** IBM ist auf der Suche nach den besten und hellsten Köpfen. Nach Menschen, die Möglichkeiten entdecken, wo andere nur Probleme sehen. Nach Mitarbeitern, die auch Mitgestalter sein wollen. Wir suchen diese Menschen aus dem Anspruch heraus, die Welt täglich ein bisschen besser zu machen. Sie sind ideengetrieben, zukunftsorientiert und möchten schon heute an den Lösungen von morgen arbeiten? Dann sollten wir uns kennenlernen!

Machen wir den Planeten ein bisschen smarter.  
[ibm.com/start/de](http://ibm.com/start/de)

Alle Bezeichnungen, die in der männlichen Sprachform verwendet werden, schließen sowohl Frauen als auch Männer ein. IBM schafft ein offenes und tolerantes Arbeitsklima und ist stolz darauf, ein Arbeitgeber zu sein, der für Chancengleichheit steht. IBM, das IBM Logo und ibm.com sind Marken oder eingetragene Marken der International Business Machines Corp. in den Vereinigten Staaten und/oder anderen Ländern. Andere Namen von Firmen, Produkten und Dienstleistungen können Marken oder eingetragene Marken ihrer jeweiligen Inhaber sein. © 2010 IBM Corp. Alle Rechte vorbehalten.



## 2 Die Masse im Kosmos

### 2.1 Wie verhält sich die Masse im Kosmos?

Muß die Gesamtmasse im Kosmos eigentlich konstant sein? Und wie definiert man erstere überhaupt eigentlich sinnvoll? Beginnen wir mit einem Gedanken von Ernst Mach: Ernst Mach erwartete ja gemäß seiner Ausführungen in seinem Buch: „Die Mechanik in ihrer Entwicklung: Eine historisch, kritische Darstellung“ aus dem Jahre 1883 einen Zusammenhang der Trägheit aller kosmischen Massen mit der Größe des Universums. Dieser Mach'sche Gedanke (siehe auch eine Darstellung im späteren Teil des Buches!), so bestechend er in seiner Logik immer war, ist bisher niemals in der Kosmologie vollwertig inhaltlich umgesetzt worden (siehe Wolters, 1961, oder Barbour and Pfister, 1995). Dennoch gibt es frappierende Hinweise darauf, daß ein solches Mach'sches Massenverhalten in der Kosmologie durchaus Sinn machen und wichtige Erklärungen beibringen könnte (siehe dazu Whitrow, 1946, Sciama, 1953, Rosen, 1994, Overduin and Fahr, 2001, Fahr and Zoennchen, 2006, Berman, 2008). Wenn diesem fundamentalen Gedanken kosmologisch zu entsprechen wäre, so würde dies zunächst einmal den Realitätstatus des Standardmodelles sofort aushebeln, denn im gängigen Standardmodell wird ja die Masse des Universums gerade als konstant, und somit die Massendichte als umgekehrt proportional zum raumartigen Weltvolumen angesetzt. Allerdings, selbst wenn dem nicht so wäre, so würde dies sicherlich auch nicht den letzten, noch fehlenden Mosaikstein im kosmologischen Weltengebilde liefern.

Ein interessanter Hinweis kommt vielleicht bereits aus der Form der allgemeinrelativistischen Feldgleichungen. Wenn man nämlich die Feldgleichungen aus einem *Variationsprinzip* angewandt auf eine Materie- und eine Metrik- umfassende *Wirkungsfunktion*  $L_{g,M}(x_i, \dot{x}_i)$  herleitet, wie etwa Hoyle (1992), oder Hoyle, Burbidge and Narlikar (1993, 1994, 1995, 1997) dies tun, so ergibt sich eine Skalierung der Ruheenergie  $E = m_0 c^2$  der kosmischen Teilchen mit ihrem Weltlinienelement  $ds = cd\tau$ , wo  $d\tau$  das zugehörige Inkrement der Eigenzeit des Teilchens ist. Wenn demnach also dieses Weltlinienelement  $ds$  mit dem Weltradius  $R$  skaliert, wie Hoyle es in seiner Theorie als vernünftig erscheinen läßt, so sollte ebenfalls die Masse jedes Teilchens auf seiner Weltlinie bei sich ausdehnendem Weltlinienelement entsprechend wachsen, was klar als das sogenannte „*Mach'sche Massenphänomen*“ gedeutet werden kann.

Noch ein weiterer Gedanke unterstützt diesen Schluß: Wenn der Kosmos konzeptuell in zwei Massenteile zerlegbar gedacht werden kann, von denen der eine Teil gegen den anderen mit einer bestimmten Winkelgeschwindigkeit rotiert, so ergibt sich im allgemeinen die freie Wahl des Bezugssystems, von welchem aus man den Systemzustand beschreiben will; entweder das System, in dem der eine Teil, oder das in dem der andere Teil ruht. Wenn man hier wie gewöhnlich die Äquivalenz der Rotationen bei der Wahl des Referenzsystems (also: the *Principle of Relativity of Rotations*!) auch für kosmische Gegebenheiten fordert, dann ergibt sich, daß eine rotierende Erde in einem ruhenden Kosmos nur dann identische Phänomene mit einer ruhenden Erde in einem rotierenden Kosmos mit sich bringt, wenn die kosmischen Massen  $M = \sum_i m_i$  mit der kosmischen Raumskala  $R$  linear wachsen (Thirring, 1918, Pfister, 1995, Overduin and Fahr, 2001, Fahr and Zönnchen, 2006). Das müßte also ebenfalls bedeuten, daß dieses Prinzip im Kosmos nur dann gelten kann, wenn ein *Mach'sches Massenverhalten* im Universum vorliegt, wenn also die Weltmasse mit dem Weltradius sich linear vergrößert.

Hierbei verwirrt jetzt vielleicht manchen aber auch die Frage, was denn überhaupt bei solchen Überlegungen als die *Weltmasse* benannt werden soll. Es kann sinnvollerweise nicht einfach die Summe aller Massen sein, die unser Auge vom Kosmos zu irgendeiner Zeit zu sehen bekommt, denn früher müßte ein expandierender Kosmos ja eine größere Dichte zu sehen gegeben haben. Eine solche *raumzeitliche Massensumme* ist demnach sicherlich unsinnig, denn sie hat sicherlich keine physikalische Relevanz für die kosmische Realität. Einzig und allein müßte man sinnvollerweise mit der Weltmasse die rein raumartige Summe aller kosmischen Massen meinen, sozusagen die *Gleichzeitigkeitsmasse* des Kosmos.

Selbst nachdem man sich darauf verständigt hat, bleibt es immer noch eine schwierige Frage, was denn unter einer solchen Gleichzeitigkeitsmasse zu verstehen ist und wie sie gegebenenfalls dann errechnet werden soll. Dieser Weltmassenbegriff führt dabei auf interessante, aber sehr grundlegende Überlegungen zurück, wie sich eine solche Masse im Kosmos aus der darin verteilten Massendichte eigentlich als Simultangröße aufaddieren lassen sollte. Dabei muß ja zum einen die vierdimensionale Raumzeitgeometrie des Universums berücksichtigt werden, die sich mit der Weltzeit ändert, und zum anderen muß überlegt werden, daß bei der gestellten Aufgabe natürlich die „instantane“ Weltmasse interessiert, also die „raumartige“ Summe aller Massen des Universums bis hin zu einem *Massenhorizont*. Es zeigt sich, wie Fahr and Heyl (2006) gezeigt haben, daß eine solche Summe für einen Grenzradius  $R_U$  auf ein Maximum hinausläuft, welches man folglich mit Sinn als die Masse des Universums  $M_U$  bezeichnen könnte. Dieser Grenzradius der maximal erfaßbaren Massenkugel im Kosmos ergibt sich interessanterweise nämlich zu einer Größe, die umgekehrt proportional zur Quadratwurzel aus der kosmischen Dichte  $\rho_0$  ist und deswegen gegeben wird durch:

$$R_U = \frac{1}{\pi} \sqrt{\frac{c^2}{2G\rho_0}} \quad (4)$$

Keht man diese erstaunliche Beziehung um und löst sie für die Dichte  $\rho_0$  auf, so sagt sie dann in der Form

$$\rho_0 = \frac{1}{\pi^2} \frac{c^2}{2GR_U^2} \quad (5)$$

aus, daß die kosmische Dichte  $\rho_0$  umgekehrt proportional zum Quadrat dieses Grenzradius ist – und nicht etwa umgekehrt proportional zur dritten Potenz des Weltradius, wie man gemeinhin erwarten würde. Außer dem ergibt sich interessanterweise aus diesen Zusammenhängen wiederum (Fahr and Heyl, 2006), daß die Simultanmasse des Universums mit dem Grenzradius desselben über die Relation

$$M_U \sim \rho_0 R_U^3 \sim R_U \quad (6)$$

verbunden ist, wiederum also ein Mach'scher Zusammenhang, der genau in dieser Form ja auch aus Thirring's Relation für das rotierende Universum erschlossen werden mußte. Wenn solche Mach'schen Zusammenhänge in der Kosmologie unseres Universums berücksichtigt werden müssen, dann kann nur jetzt schon festgestellt werden, daß die moderne Standardkosmologie nicht bestehen bleiben kann, denn in ihr wird die Weltmasse  $M_u$  als konstant und die Materiedichte als umgekehrt proportional zum raumartigen Weltvolumen  $V_3$ , bzw. zur dritten Potenz der Weltskala  $R$  angenommen.

**JETZT BEWERBUNG  
AUFPOLIEREN.**

Bereiten Sie sich optimal auf den Bewerbungsprozess vor und geben Sie Ihrem Profil den letzten Schliff. Nutzen Sie unsere Tipps, Persönlichkeitstests und kostenlosen E-Books zu Studium, Business und Karriere.

[rwe.com/  
Bewerberakademie](http://rwe.com/Bewerberakademie)

HIERMIT PRÄSENTIERE ICH: MICH!

**VORWEG GEHEN**



## 2.2 Weltmassenvermehrung im expandierenden Kosmos

Viele fühlen sich oft zu der Frage gedrängt, ob eigentlich bei der expansiven Evolution des Kosmos etwas Neues in Form von Information oder Teilchen dem sich ändernden Weltgut hinzutritt. Schon dem berühmten Astrophysiker Fred Hoyle schwebte 1948 bereits in diesem Sinne eine Massenerzeugung im expandierenden Universum vor. Für seine „steady state theory“, – damit also das Weltall trotz Expansion immer gleich beschaffen aussieht und keine Information verliert, also trotz Expansion eine raumzeitliche Homogenität darstellt, –, sollte Masse in ganz gewisser Rate bei der Expansion des Kosmos erzeugt werden. Wie auch immer man zu Hoyle’s Theorie heute stehen mag, es ist besonders interessant im Nachhinein festzustellen, daß die mathematisch-physikalische Formulierung, die Hoyle für diese Massenerzeugung fand, auf ein Weltall führt, welches analog zu einem Einstein-de-Sitter’schen Weltall mit einer kosmologischen Konstante  $\Lambda$  funktioniert (Einstein and de Sitter, 1932), wenn man nur diese Konstante auf folgende Weise durch die Materieerzeugungsrate  $\dot{\rho}$  ersetzt (siehe Fahr and Heyl, 2007a/b):

$$\Lambda = \left( \frac{8\pi G\sqrt{3}}{c^5} \dot{\rho} \right)^{2/3} \quad (7)$$

Daran scheint sich zu zeigen, daß Vakuumenergie, beschrieben durch die kosmologische Konstante  $\Lambda$ , von seiner kosmologischen Wirkung her äquivalent zu Materieerzeugung ist, zumindest im „steady state universe“, in dem  $\dot{\rho} \sim \rho = const$  gilt. Wo mag ein solcher Zusammenhang herkommen, und wie könnte er physikalisch begründet sein?

Spricht sich darin schlicht die eminente Wahrheit aus, daß Vakuumenergie und Materieerzeugung in irgendeiner Weise äquivalente Phänomene sind? Dann läge das Standardmodell der Kosmologie evidentermaßen falsch! Bei Fred Hoyle’s Forderung nach einem „steady state universe“ ergab sich eine Massenerzeugungsrate  $\dot{\rho}$ , welche proportional zur aktuellen kosmischen Materiedichte  $\rho$  selbst sein mußte, wobei letztere im „steady state universe“ ja wiederum konstant sein soll, also  $\dot{\rho} \sim \rho = const!$ .

In einer völlig unabhängigen Betrachtung, die aber letztlich auf ähnliche Zusammenhänge hinführt, hat Fischer (1993) sich Gedanken gemacht, wie die gravitative Bindungsenergie der kosmischen Materie eigentlich in den Energie-Impuls Tensor  $T_{\mu\nu}$ , also den Quelltensor der Raumzeitgeometrie in den Feldgleichungen, Eingang finden sollte. Interessanterweise führen seine Überlegungen darauf, daß bei einem positiv gekrümmten Weltall der entsprechende Eintrag  $T_{\mu\nu}^p$  für die Bindungsenergie in diesen Quelltensor durch den Term

$$T_{\mu\nu}^p = -C \frac{\rho}{\Gamma} g_{\mu\nu} \quad (8)$$

geschehen sollte, wobei der Metriktensor mit  $g_{\mu\nu}$  bezeichnet ist,  $C$  ist eine geeignet zu wählende Konstante, in der unter anderem die Gravitationskonstante  $G$  steckt, und  $\Gamma$  ist der aktuelle Krümmungsradius des positiv gekrümmten Universums. Man sieht hieran, daß bei Euklidischem Universum oder im Grenzfall  $\Gamma \rightarrow \infty$  diese Form der Bindungsenergie verschwinden würde.

Hieran werden zweierlei Dinge auffällig: Zum einen ergibt sich hier wieder eine Proportionalität der Bindungsenergie zur Dichte  $\rho$ , zum anderen hat der Term ein negatives Vorzeichen, hat den Metriktensor als Faktor, und hat folglich in den Feldgleichungen formal das gleiche Aussehen wie gerade jener Term, der in Verbindung mit der Vakuumenergie über die Größe  $\Lambda$  in die Feldgleichungen Eingang findet. Daran zeigt sich ein im Standardmodell völlig übersehener, überaus interessanter physikalischer Zusammenhang zwischen Vakuumenergie und gravitativer Bindungsenergie. Wenn man außerdem die zeitartigen Tensorkomponenten  $T_{00}$  und  $T_{00}^p$  der kosmischen Materie und der kosmischen Bindungsenergie zusammennimmt, so ergibt sich auch hier ein überraschender Zusammenhang zwischen Materieerzeugung und Bindungsenergie durch folgenden, dann resultierenden Ausdruck

$$\hat{T}_{00} = T_{00} + T_{00}^p = (\rho - C \frac{\rho}{\Gamma}) g_{00} \quad (9)$$

Diesen Befund kann man auch so deuten, als würde durch die gravitative Bindung der kosmischen Materie die kosmologisch wirksame, „effektive“, kosmische Materiedichte  $\rho^*$ , gegenüber der Materiedichte  $\rho$ , der sog. „Eigendichte“, einfach auf das folgende Maß verringert

$$\rho^* = \rho(1 - C \frac{1}{\Gamma}) \quad (10)$$

Wenn nun im Zuge der Expansion des Kosmos der kosmische Krümmungsradius  $\Gamma$  sich vergrößert, so bedeutet das (Fahr, 2009), daß die Bindungsenergie und, als Äquivalent dazu, die Vakuumenergie, sich verringert, während gleichzeitig die effektive Dichte  $\rho^*$  sich mit einer Rate

$$\dot{\rho}^* = \frac{d}{dt}[\rho(1 - C \frac{1}{\Gamma})] \quad (11)$$

verändert. Im Falle eines gemäß Hoyle'scher Vorgabe (Hoyle, 1948) dichte-konstanten Universums, also bei  $d\rho/dt = 0$ , übersetzt sich dies dann einfach in die Forderung

$$\dot{\rho}^* = \rho C \frac{1}{\Gamma^2} \dot{\Gamma} \quad (12)$$

Man erhält also eine effektive Dichteerzeugungsrate, die erstens der Dichte direkt proportional ist und zweitens bei wachsendem Krümmungsradius  $\Gamma$  positiv ist. Oder anders gesagt: Bei schwindender Bindungsenergie im Kosmos wächst die effektive Dichte in genau einer solchen Weise, wie sie praktisch identisch auch von Fred Hoyle erhalten wurde!

Wenn man den oben diskutierten Term für die Bindungsenergie in die Einsteinschen Feldgleichungen einführt, so ergeben sich für positiv gekrümmte Universen Lösungen, bei denen der Kosmos um einen Gleichgewichtsradius  $R_0$  herum zwischen positiven ( $R \leq R_0$ ) und negativen ( $R \geq R_0$ ) Vakuumenergiedichtewerten hin und her oszilliert. Vakuumenergie, Bindungsenergie und Änderungen der effektiven Dichte hängen also, nach diesen Betrachtungen beurteilt, ganz eng miteinander zusammen und können folglich nicht als getrennt zu behandelnde physikalische Phänomene gesehen werden; eine in der Standardkosmologie nicht berücksichtigte Einsicht!

### 2.3 Massenerzeugung in Einstein-Straus Systemen

Nach diesen Vorbetrachtungen wollen wir nun einen Kosmos mit Vakuumenergie als gegeben annehmen. Dann läßt sich danach fragen, welche Arbeit der Druck dieser Vakuumenergie bei der Expansion der Einstein-Straus Globule im expandierenden Universum leistet. Wenn wir hierbei nach jener Arbeit fragen, die die Vakuumenergie bei der Globulenexpansion für das Innere des Globulenvolumens leistet, so stellt sich heraus, daß diese Arbeit, vom Globuleninneren her gesehen, positivwertig ist. Wenn man also davon ausgehen darf, daß aus Energieerhaltungsgründen diese positive Arbeitsleistung sich in einem Energiegewinn der Globule niederschlagen sollte, so macht es dann auch Sinn, diesen Energiegewinn als Massengewinn des Masseninhaltes der Globule zu formulieren. Das hat dann aber überaus interessante Konsequenzen für die eingeschlossene Globulenmasse, welche sich dann nämlich einfach gemäß Fahr and Heyl (2007) ergibt zu

$$\frac{\dot{M}}{M} = \frac{\rho_{0,vac}}{\rho_{0,mat}} H_0 \quad (13)$$

wobei  $\rho_{0,vac}$  und  $\rho_{0,mat}$  die derzeitigen Äquivalentmassendichten des kosmischen Vakuums und der kosmischen Materie bezeichnen. Für einen konstanten Proporz der Energiedichten des Vakuums und der Materie (siehe dazu spätere Ergebnisse!) besagt die obige Relation dann einfach, – wegen  $\dot{M}/M \sim \dot{R}/R$  –, eine einfache Proportionalität der Globulenmasse, sowie verallgemeinert selbstverständlich auch der Weltmasse, zum Weltradius  $R$  wiederum in Mach'scher Form

$$M(t) \sim R(t) \quad (14)$$

## 2.4 Die Mach'sche Frage: Wieso sind Massen träge?

Alle Objekte, von denen der Mensch auf dieser Welt umgeben ist, sind erfahrungsgemäß und von Natur aus träge. Selbst Körper im fernsten Weltall scheinen sich so zu bewegen, als besäßen auch sie Trägheit und leisteten Widerstand gegen dort waltende Kräfte. Warum aber ist das so? Warum leisten alle diese Objekte einen Widerstand gegen innere oder äußere Antriebe? Beweisen sie gerade dadurch vielleicht erst ihre Existenz und ihr Dasein? Ohne solche Widerstände könnten diese Dinge vielleicht überhaupt nicht real sein! Was keinen Widerstand gegen Bewegungsantriebe leisten kann, das ist eben auch nicht real vorhanden, ist höchstens etwas gedachtes, müßte man förmlich schließen. Das Maß dieses Widerstandes realer Körper ist allerdings schwer quantitativ zu fassen Ein Versuch der Festlegung dessen, was Trägheit ausmacht und quantifiziert, geht von Newton's Konzept des absoluten Raumes und der absoluten Bewegung gegenüber letzterem aus. Immer wenn die Bewegungsform eines Objektes gegenüber diesem Absolutraum geändert werden soll, treten nach Newton Trägheitsreaktionen auf, die der Masse des Objektes proportional sind.

© 2013 Accenture. All rights reserved.

be > your degree

Bring your talent and passion to a global organization at the forefront of business, technology and innovation. Discover how great you can be.

Visit [accenture.com/bookboon](http://accenture.com/bookboon)

**Be greater than.**  
consulting | technology | outsourcing

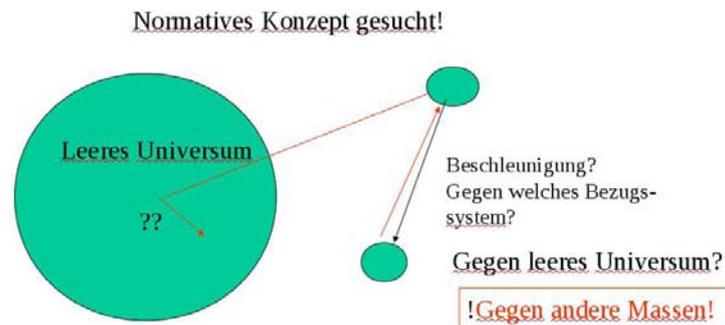
**accenture**  
High performance. Delivered.

Download free eBooks at [bookboon.com](http://bookboon.com)



Click on the ad to read more

Doch diese Konzeption eines absoluten Raumes ist seit Beginn des zwanzigsten Jahrhunderts immer mehr in Frage gestellt worden. In der Relativitätstheorie spricht man heute stattdessen einfach von Inertialsystemen, Systemen also in gleichmäßiger, unbeschleunigter Bewegung, von denen das eine so gut ist wie das andere, ein bevorzugtes Absolutsystem dagegen gibt es nicht. Damit problematisiert sich auch Newton's Trägheitskonzept und muß sich abwandeln in ein verallgemeinertes, kosmologisch raumzeitliches Trägheitskonzept, wie es Ernst Mach und Dennis Sciama entwickelt haben. Im folgenden sollen die Gedanken hinter dieser verallgemeinerten Begriffsbildung genauer verfolgt werden.



Die physikalische Trägheit massebehafteter Objekte bezeichnet den Widerstand gegen äußere Antriebe, als welche man zum Beispiel physikalische Kräfte versteht. Bei Newton heißt es deshalb, daß ein Körper solange im Zustand der Ruhe oder der gleichmäßigen Bewegung verharrt, solange keine Kräfte auf ihn einwirken, die ihn beschleunigen. Wenn aber eine in ihrer Stärke definierte Kraft an einem Objekt angreift, wodurch bestimmt sich dann das Maß seines Widerstandes gegen diese Kraft, beziehungsweise seine Beschleunigung? Um Bewegungen und Beschleunigungen von Körpern beurteilen zu können, benötigt man ein normatives Konzept. Es ist zu fragen: Was soll heißen: Beschleunigung? Muß man doch klären, gegen welches Bezugssystem denn? Soll etwa gemeint sein, Beschleunigung gegen das große, leere Universum? Läßt sich kinematisch zum Universum überhaupt ein Bezug herstellen? Oder ist nur eine Beschleunigung gegen andere Körper im Weltall sinnvoll? Physikalisch vernünftig erscheint eine Beschleunigung relativ zu anderen Massen im Universum, also materiellen Markierungen von Raumpunkten und ein sich dann dabei vielleicht regender Widerstand. Aber welche Massen sollen hier als Bezugskörper dienen? Einige ausgewählte? Oder alle? Und wenn alle, dann in welcher Gewichtung alle? Wie soll ein Widerstand gegenüber Beschleunigung relativ zu allen anderen Massen im Weltall formuliert werden? Man sieht schnell ein, daß der Trägheitsbegriff, wenn man erst einmal über ihn nachdenkt, einen schon in große Verlegenheiten bringt.

## 2.5 Die Mach'sche Trägheit: Eine nicht-körpereigene, kosmogene Größe?

Als einer der ersten in diesem Nachsinnen unternahm der österreichische Physiker Ernst Mach den Versuch, sich aus diesem Begriffsdilemma bei der Suche nach dem Urgrund der Trägheit zu befreien. Er vermutete, daß aus Vernunftgründen die Trägheit nur eine Reaktion auf Beschleunigungen relativ zu anderen Körpern im Weltall sein kann. In seinem 1883 verfaßten Buch „Die Mechanik in ihrer Entwicklung: eine historisch, kritische Darstellung“ im Brockhaus-Verlag spricht er zum ersten Male das Prinzip der Relationalität der Trägheit von Massen an, und meint damit, daß die Trägheit keine dem Körper innewohnende, genuine Eigenschaft sein kann, sondern ein Phänomen auf Beschleunigungen relativ zu anderen Körpern sein muß. - also nicht eine prävalent absolute, – sondern eine erst durch die Massenkonstellation im Universum induzierte, relative Eigenschaft. Dieses nach Mach benannte Mach'sche Trägheitsprinzip hat viele spätere Väter der Relativitätstheorie und modernen Kosmologie tief bewegt, wiewohl alle durch sie ersonnenen Gesetzesformulierungen dieses Prinzip nicht erfüllen konnten. Selbst Einstein, der sich langezeit darum bemüht hatte, dieses Prinzip in seiner Allgemeinen Relativitätstheorie zu erfüllen, resignierte schließlich und meinte fortan sogar, das Mach'sche Prinzip müsse wahrscheinlich falsch sein.

Dagegen versuchte der englische Physiker Dennis Sciama zeitlebens, das Mach'sche Prinzip ernst zu nehmen und eine Mach-gerechte Trägheitsformulierung zu finden. Seit den fünfziger Jahren des letzten Jahrhunderts (1953 u.f.) versuchte er mit Hilfe einer in Maxwell'scher Analogie erweiterten Gravitationstheorie zu zeigen, daß die Trägheit jedes Einzelkörpers von den Massen aller anderen Körper des Universums in seinen größten Fernen bestimmt wird. Die Ideen zu diesem Konzept waren sicherlich angestoßen durch noch frühere Überlegungen des englischen Physikers Joseph John Thomson aus dem Jahre 1881, in denen dieser ernstlich erwogen und versuchsweise physikalisch formuliert hatte, die Trägheit aller Körper auf eine Erscheinung des Elektromagnetismus zurückzuführen. Überzeugender waren danach die Erarbeitungen des Engländers G.F.C. Searle aus dem Jahre 1897, in denen dieser die Trägheit eines elektrisch geladenen Körpers als Rückwirkung von dessen eigenem elektromagnetischem Feld auf seine eigene Ladung bei Änderung seines Bewegungszustandes deuten konnte. Er kam dabei auf eine Masse des elektrisch geladenen Körpers von  $m_e = 2e^2/3ac^2$ , wenn  $e$ ,  $a$ , und  $c$  die elektrische Ladung, den Kugelradius der Ladung und die Lichtgeschwindigkeit bedeuten. Die Trägheit, also die Masse eines Körpers, ließ sich demnach auf eine Eigenschaft seiner elektrischen Ladung zurückführen. Wenn dem in der Tat allerdings so wäre, dann hätte das jedoch viele unsinnige Konsequenzen; unter anderem diejenige, dass das Proton und das Elektron, entgegen allem, was man weiß, die gleichen Massen haben sollten, weil sie ja die gleichen „absoluten“ Ladungsquantitäten und Ladungsqualitäten besitzen. Zudem verstünde man überhaupt nicht, wie es zur Trägheit von elektrisch ungeladenen Körpern kommen sollte. Außer dem Hinweis, daß vielleicht eine Art von elektromagnetischer Analogie zum Verständnis der Trägheit weiterhelfen könnte, ließ sich an diesen frühen Überlegungen also nicht viel gewinnen.

Sciama's Maxwell'sches Gravitationsanalogon besteht dabei darin, zur vollständigen Beschreibung des Gravitationsfeldes nicht nur das übliche skalare Gravitationspotential, sondern zusätzlich noch ein Vektorpotential zu benutzen, mit dem so etwas wie die Gravitationswirkung von Massenströmen beschrieben werden kann. Vom System jedes bewegten Testkörpers aus werden dann bei solchen Gegebenheiten automatisch Massenströme aller Massen des fernen Universums von diesem Testkörper gesehen, die sich durch entsprechende Gravitationsfelder auswirken. Bei der Veränderung der Testkörperbewegung, also einer Beschleunigung, werden dadurch Kräfte wirksam, die mit den Massen des fernen Universums verbunden sind und so etwas wie eine von diesen Massen induzierte Körperträgheit bedeuten. Das erfüllt erstmalig also in schönster Weise den Mach'schen Gedanken, jedoch nur, wenn es zulässig ist, die Gravitationstheorie um ein Vektorpotential zu erweitern. Daß an einem solchen Verallgemeinerungsschritt jedoch etwas vernünftiges dran ist, zeigt sich in völlig unabhängigen Untersuchungen lange nach Sciama. In diesen konnte gezeigt werden, daß im Rahmen einer auf diese Weise erweiterten Gravitationstheorie entgegen bisheriger Wahrnehmung die Ränder aller Spiralgalaxien auch ohne dunkle Materie stabil erscheinen können (siehe Fahr, 1990).



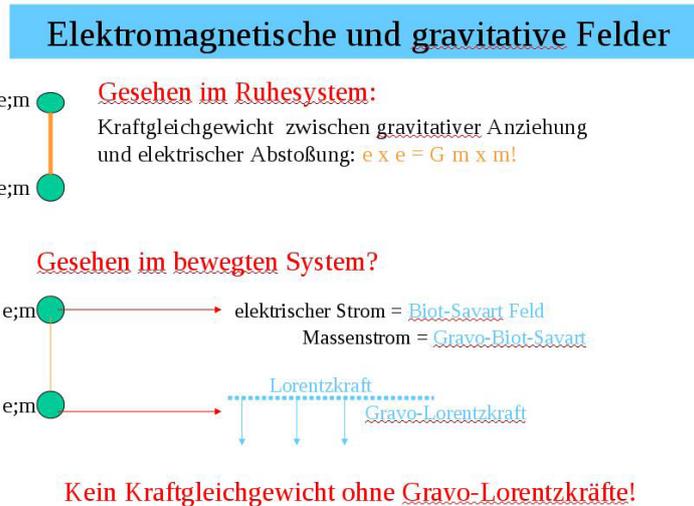
McKinsey & Company

**Start  
your  
engines.**

McKinsey sucht Ingenieure.  
Nutzen Sie Ihr Potenzial  
und starten Sie durch.

Mehr auf [mckinsey.de/ingenieure](https://mckinsey.de/ingenieure)





**Abbildung 4:** Ein Gedankenexperiment zur elektromagnetischen Gravitation  
Abbildung 3: Zur Frage der Trägheit

Mit einem kleinen Gedankenexperiment, das nachfolgend beschrieben werden soll, mag sich dies auf einfache und einleuchtende Weise zeigen lassen. Dieses Gedankenexperiment soll dabei dem Gedanken an die Existenz eines elektromagnetischen Analogons in einer erweiterten Gravitationstheorie eine physikalische Basis geben. Hier erinnere man sich zuerst einmal an eine Forderung der speziellen Relativitätstheorie, die allgemein als berechtigt erscheint und die besagt, daß gl-eichartige physikalische Phänomene in verschiedenen, gleichwertigen physikalischen Bezugssystemen, – letztere sind eben alle Inertialsysteme, mit gleichartigen, genauer gesagt: form-invarianten Gleichungen, beschrieben werden müssen. Denke man sich also zwei elektrisch geladene Massen mit gleichen Ladungsmengen  $e$  und Massen  $m$  in einem beliebigen Abstand  $r$  voneinander befindlich. Durch geeignete Wahl der jeweiligen Ladungs- und Massen-Mengen läßt sich dann evidenterweise folgende Situation herstellen: Werden nämlich die Ladungs- und Massenmengen so gewählt, daß gerade  $e^2 = Gm^2$  gilt ( $G$  bezeichnet dabei die Newton'sche Gravitationskonstante), dann zeigt sich, daß in dem Bezugssystem, in dem die beiden geladenen Massen ruhen (also in deren Ruhesystem!), ein exaktes, sogar stabiles Kraftgleichgewicht zwischen den beiden Massen vorherrscht, weil sich beide genau so stark gravitativ anziehen, wie sie sich elektrisch abstoßen. Die beiden Massen bleiben aus diesem Grunde kraftfrei in ihrer Lage stabil fixiert und bewegen sich nicht, weil zwischen ihnen ein stabiles Kraftgleichgewicht herrscht.

Dieselbe Konstellation, jedoch gesehen von anderen, bewegten Inertialsystemen, die speziell-relativistisch absolut äquivalent sind und demnach keine neuen physikalischen Gegebenheiten zeigen sollten, führt dennoch jetzt zu einer qualitativ neuen Situation. Im Ruhesystem herrscht wie vorgegeben Kraftgleichgewicht, im bewegten System kann dies jedoch ersichtlich dann nicht mehr der Fall sein, wie sich leicht nachweisen läßt: Wechselt man etwa in ein mit der Geschwindigkeit  $U$  konstant gegenüber dem Ruhesystem bewegtes Bezugssystem, so sieht hier alles anders aus: Da letzteres System sich mit konstanter Geschwindigkeit gegenüber den ruhenden Massen bewegt, so erscheinen in diesem System nicht nur zwei positionierte elektrische Ladungen, sondern zudem zwei bewegte elektrische Ladungen, sie also elektrische Ströme darstellen. Aus der klassischen Elektrodynamik aber weiß man, daß solche Ströme ein magnetisches Induktionsfeld induzieren, das sogenannte Biot-Savart'sche Feld  $B$ , das den Strom in der Ebene senkrecht zum Stromvektor kreisförmig umschließt. Das hat jetzt zur Folge, daß die im bewegten Bezugssystem bewegten geladenen Massen sich im Biot-Savart'schen Magnetfeld  $B$  der jeweils anderen Masse bewegen. Dabei erfahren sie jedoch unvermeidlich eine „Lorentzkraft“, die in der zur Verbindungslinie der beiden Massen entgegengesetzten Richtung, gegeben durch  $\vec{U} \times \vec{B}$ , wirkt.

Diese „Lorentzsche“ Zusatzkraft hat bedingt nun, daß das ursprüngliche Kraftgleichgewicht, welches im Ruhesystem zwischen den Massen herrschte und diese in ihrer Lage stabil hielt, nunmehr nicht mehr existiert. An beiden Massen greifen nunmehr unkompensierte, zu großen Abständen zwingende, abstoßende Lorentzkraft an. Das hat zur Folge, daß im bewegten System zwei Massen beschrieben würden, die einander über gegenseitige Lorentzkraft abstoßen und somit ständig ihre Abstandsposition in beschleunigter Weise verändern sollten. Die beiden Massen erscheinen in diesem System als voneinander wegbeschleunigt. Die gleiche Ausgangsposition beider Massen würde also in den beiden Systemen zu sehr unterschiedlichen physikalischen Folgephänomenen führen. – im ersten Fall stabile Lage, im letzteren – Auseinanderfliegen! Das wäre eine Situation, in der in gleichartigen Systemen die herrschende Physik unterschiedlich wäre, eine ganz und gar relativistisch unakzeptable Situation.



$$\vec{F} = -\frac{M}{r^2}(\vec{r}/r) - \frac{\Phi}{c^2} \frac{\partial \vec{v}}{\partial t}$$

Requiring that  $\vec{F} = 0$  then leads to:

$$\frac{M}{r^2} = -\frac{\Phi}{c^2} \frac{\partial v}{\partial t}$$

Newton's analogue would then result in:

$$\boxed{-Gm_t \frac{M}{r^2} = m_t \frac{\partial v}{\partial t}} \quad \rightarrow \quad G = \frac{c^2}{\Phi} = \frac{c^2}{\sum_i \frac{m_i}{r_i}} !!$$

Abbildung 5: Geladene Massen in verschiedenen Inertialsystemen.



**IELTS™**  UNIVERSITY OF CAMBRIDGE  **TOEFL iBT**

**GEWINNE EINEN  
SPRACHKURS IN MIAMI MIT  
EXAMENSVORBEREITUNG**

Bereite Dich mit EF Sprachreisen auf ein international anerkanntes Sprachzertifikat wie TOEFL, Cambridge oder IELTS vor.

[www.ef.com/bookboon](http://www.ef.com/bookboon)

**JETZT TEILNEHMEN!**

 Education First



Dieser Unschönheit enthebt man sich gerade dann, wenn man eine Symmetrisierung der Gravitationstheorie in Analogie zum Elektromagnetismus zuläßt., wenn man nämlich in der Art, wie Dennis Sciama dies gewollt hatte, ein gravitatives Vektorpotential zuläßt, das die gravitative Wirkung von Massenströmen so beschreibt, wie das elektromagnetische Vektorpotential die Wirkung von elektrischen Strömen. Dann nämlich üben die Massenströme beider Massen im bewegten System gerade jeweils die zu den elektrischen Lorentzkräften entgegengerichteten, aber gleich starken „Gravo-Lorentzkräfte“ aus, und alles bleibt auch in diesem bewegten System folglich im Kraftgleichgewicht. Nur durch diese Symmetrisierung wäre zu garantieren, daß in allen Inertialsystemen die gleiche Situation der Kräftefreiheit zwischen den beiden im Raum platzierten Massen gewährleistet ist. Um die physikalische Identität in allen gleichwertigen Inertialsystemen zu garantieren, muß demnach die Gravitationstheorie in „Maxwell'scher“ Analogie erweitert werden. Hiermit sollte also auch Sciama's Ansatz zum elektromagnetischen Analogon der Gravitationstheorie als Erklärung der Massenträgheit bedingt durch die fernen Massen des Weltraums nachträglich seine volle Legitimation erfahren können.

Es scheint, daß die im Kosmos raumzeitlich konstellierte Massen auch noch in einer weiteren Beziehung Einfluß auf die Trägheit lokaler Körper nehmen. Wie man weiß, treten Beschleunigungen nicht nur in der Form auf, daß der Betrag der Geschwindigkeit eines bewegten Körpers sich in der Richtung der Bewegung ändert. Man redet vielmehr auch dann von Beschleunigungen, wenn sich die Richtung der Bewegung eines Körpers ändert, ohne daß sich der Betrag der Geschwindigkeit dieser Bewegung ändert. Das tritt zum Beispiel bei den Planetenbewegungen auf, die in guter Näherung mit konstanter Orbitalgeschwindigkeit in Kreisbahnen erfolgen, oder auch bei Rotationsbewegungen. Hieran läßt sich die Trägheit bei Rotationsbewegungen testen, die sich bekanntlich in Zentrifugalreaktionen zeigen. Was bestimmt hierbei aber das Maß der resultierenden Zentrifugalkräfte?

Nach klassisch allgemeinen Vorstellungen, die auf Isaac Newton (1687: Principia Mathematica Philosophia Naturalis) zurückgehen, verfließt die absolute Zeit immer absolut gleichförmig und unveränderlich – und der absolute Raum bleibt sich selbst immer gleich und befindet sich in absoluter Ruhe! Als Beweis für diese Behauptung bot Newton sein berühmtes Eimer-Experiment an: Hängt man einen mit Wasser gefüllten Eimer an ein Seil, windet dieses bis zu maximaler Torsionsspannung, und überläßt den Eimer sodann sich selbst und dieser Spannung, so beginnt er eine Drehung um seine Achse zu entwickeln, dem das Wasser in ganz eigener Weise Folge leistet. Nimmt das Wasser nämlich durch die Rotation des Eimers vermittelt selbst Rotation auf, so beginnt sich die Oberfläche des Wassers zu einem Paraboloid zu wölben. Gemäß Newton ist diese Wölbung der Reaktion des Wassers auf Zentrifugalkräfte zuzuschreiben, die als Trägheitswirkung bei der Drehung des Wassers gegenüber dem „absoluten Raum“ auftreten. Nach der Meinung von Ernst Mach dagegen sind diese Zentrifugalkräfte eine Reaktion träger Massen auf Beschleunigungen gegenüber physikalisch relevanten Referenzpunkten. Da Beschleunigungen gegenüber einem „absoluten Raum“ keinen Sinn machen, muß man alle Trägheitsreaktionen demnach als Reaktionen auf Beschleunigungen gegenüber physikalisch ausgezeichneten, massen-markierten Orten auffassen.

Lageveränderungen gegenüber einem nur gedachten Raum sollten physikalisch irrelevant und belanglos sein. Allenfalls eine Umplatzierung gegenüber materiell markierten Raumpunkten sollte Trägheitskräfte in Erscheinung treten lassen. Die Trägheit eines Körpers ist also keine genuine Eigenschaft dieses Körpers, sie muß vielmehr relationalen Charakter haben und muß hervorgerufen werden durch den materiell deponierten Rest der Welt, durch ein mit der Weltmaterie festgelegtes Ruhesystem, nicht aber mit einem ideellen Absolutraum!

Nach Mach ist also die Reaktion des Wassers in Newton's rotierendem Eimer, nämlich die paraboloidisch gewölbte Wasseroberfläche, keine Trägheitswirkung auf eine Rotation gegenüber dem absoluten Raum, vielmehr eine Reaktion auf die Rotation gegenüber dem materiell markierten Weltraum, einem kosmischen Ruhesystem! (siehe: Barbour and Pfister, 1995). So etwas kann zum Beispiel an allen rotierenden Körpern wie zum Beispiel der Erde studiert werden: Die Erde ist ein rotierender Körper im Weltall und sie zeigt auch eine klare Reaktion auf Zentrifugalkräfte, die mit dieser Rotation zusammenhängen; Das auf ihrer Oberfläche ausgebreitete Wasser der Ozeane hat keine Kugelgestalt, sondern es ist zu einem Geoid verformt, also einem an den Polen abgeflachten, und am Äquator aufgewölbten, nur kugelähnlichen Gebilde. Die Unterschiede in den Wasserhöhen am Pol und am Äquator betragen dabei etwa 10 Meter Wassersäule. Für die meisten reicht zu wissen, daß diese Ausbeulung mit den wegen der Rotation auftretenden Zentrifugalkräften zu tun hat. usbeulung mit der Rotation des Erdkörpers zu tun hat. Doch manch einer fragt sich dann weiter, wodurch denn das Maß dieser Kräfte eigentlich bestimmt wird. Er kommt natürlich darauf, daß alles mit der Rotationsgeschwindigkeit am Äquator zu tun haben muß, die wiederum direkt mit der Rotationsperiode der Erde um ihre Achse verbunden ist. Doch wie legt man diese Rotationsperiode fest? Als Wiederkehrperiode des Mondes, der Sonne, oder des galaktischen Zentrums? Alle diese Wiederkehrperioden sind vertrakterweise verschieden! Welche sollte man also nehmen?

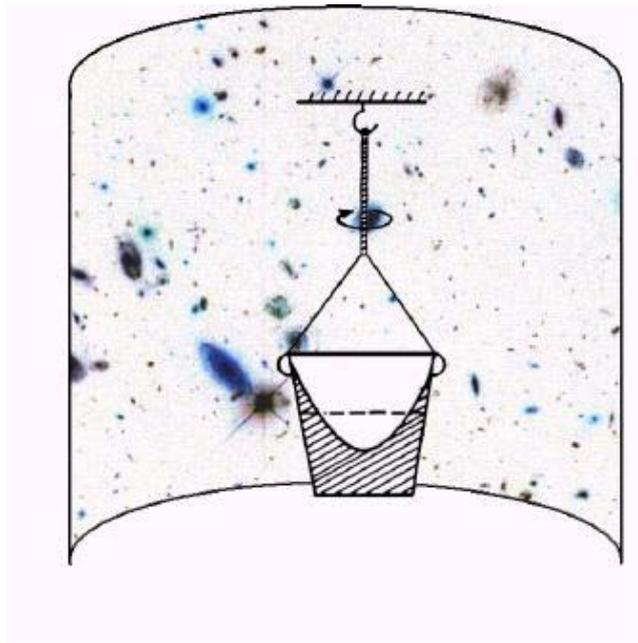


Fig. 1: Newton's Bucket in a rotating universe

**Abbildung 6:** Fixsternhorizont.

Nach gründlichen Überlegungen kommt man darauf, daß es wohl am besten ist, die Wiederkehr der unendlichen Fernen des Weltalls als Definitionsgrundlage zu nehmen, am ehesten vielleicht approximiert durch den Fixsternhorizont, das Firmament. Warum aber sollte der Fixsternhorizont die Trägheitsreaktion unseres irdischen Ozeans bestimmen, wenn doch alles an diesem Firmament so unglaublich weit entfernt ist, viel weiter weg als andere Körper wie etwa der Mond, die Sonne, oder der Fixstern Proxima Centauri? Das führt auf das Rätsel, warum ausgerechnet die fernsten Punkte und Massen im Weltrall den größten Einfluß auf die lokale körperliche Trägheit ausüben? Vielleicht hilft hier eine Standarderfahrung: Wenn man im Zug sitzend an der Landschaft vorüberfährt, verfliegt alles in der Nähe befindliche im Nu ins Nichts; je weiter man aber vom Zug aus in die Ferne schaut, umso langsamer verändern sich die Bilder der Landschaft, weil die Positionsveränderung gegenüber Konturen in der Ferne sich entsprechend langsamer vollziehen. Die Bewegung der Erde um die Sonne mit immerhin 30 km/s ist in diesem Sinne bereits so langsam, daß wir sie angesichts des von Sternen markierten Horizontes überhaupt nicht wahrnehmen. Einzig und allein die Drehung der Erde, auf der wir sitzen, läßt sich vor dem Sternfirmament deutlich bemerken.

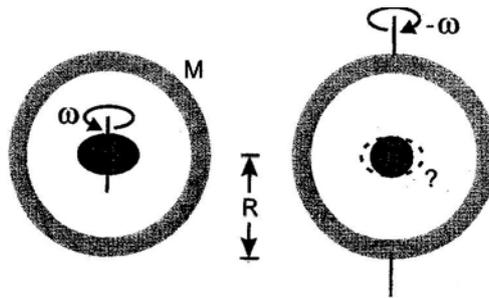


Abbildung 7: Relative Drehungen

Was passiert aber bei dieser Drehung besonderes? Die in erster Ordnung am Himmel fixiert scheinenden Sterne ändern im Gegensinne zu dieser Drehung ihre Himmelspositionen. Wenn sie aber in unserem Sichtfenster ihre Positionen verändern, bedeutet dies, daß ihr Licht uns unter einem wechselnd neuen Sichtwinkel erreicht. Dabei aber kommt das Licht dieser Sterne jetzt nicht etwa auf anderen Wegen von dem Stern als vorher. Immer geht das Licht von einem solchen Stern in Form eines radialsymmetrischen Lichtbündels aus. Bei der Drehung der Erde aber greift sich unser Auge immer wieder ein anderes dieser divergenten Lichtbündel dieses Sterns auf. Das eigentliche Referenzsystem, gegenüber dem wir uns mit der Erde drehen, ist also das im Raum stehende System dieser vielen Lichtbündel, die den Weltraum wie beleuchtete Geodäten durchziehen. Nur wenn wir unsere Bewegung relativ zu diesem ausgezeichneten Lichtfaser-System ändern, tritt offensichtlich eine Trägheitswirkung in Erscheinung.

**START UP - MEHR ALS EIN  
TRAINEE-PROGRAMM.  
JETZT BEWERBEN!**

Die Antwort auf fast alles.  
Antworten auf Ihre Karrierefragen finden  
Sie hier: [www.telekom.com/absolventen](http://www.telekom.com/absolventen)

Jetzt bewerben!

**T . . .**

ERLEBEN, WAS VERBINDET.

## 2.6 Das Äquivalenzprinzip der Rotation

Bei der Rotation der Erde, umbettet vom Weltall, geht man davon aus, dass hierbei das Relativitätsprinzip der Rotationen Gültigkeit haben muß. Dieses besagt, daß wir eine identische Phänomenalität beschreiben, ob wir nun vom System des ruhenden Kosmos gesehen die Erde sich gegen diesen Kosmos drehen lassen, oder ob wir im System der ruhenden Erde die äquivalente Gegenrotation des gesamten Weltalls beschreiben. Wenn also unter beiden Aspekten die gleiche Ozeanaufwölbung am Äquator resultieren soll, so müssen offenbar in beidesmal die gleichen Kräfte an der Peripherie des Erdkörpers angreifen. Im Falle der rotierenden Erde scheint dies evident, im Falle des um uns herumrotierenden Kosmos jedoch viel weniger. Um diese Erwartung zu prüfen untersuchte der deutsche Physiker Hans Thirring 1918, welche Kräfte bei der allgemein-relativistisch beschriebenen Rotation des Kosmos um die Erde am Erdäquator auftreten sollten. Im Rahmen der Newton'schen Näherung der Allgemeinen Relativitätstheorie konnte er zeigen, daß die Situation des rotierenden Materiekosmos zu geometrischen Störkräften an der Erde führt, die sich sehr ähnlich wie die klassischen Zentrifugalkräfte bei der Rotation der Erde darstellen. Damit jedoch strenge Identität beider Systeme herrschen würde, müßten allerdings besondere Umstände gewährleistet sein.

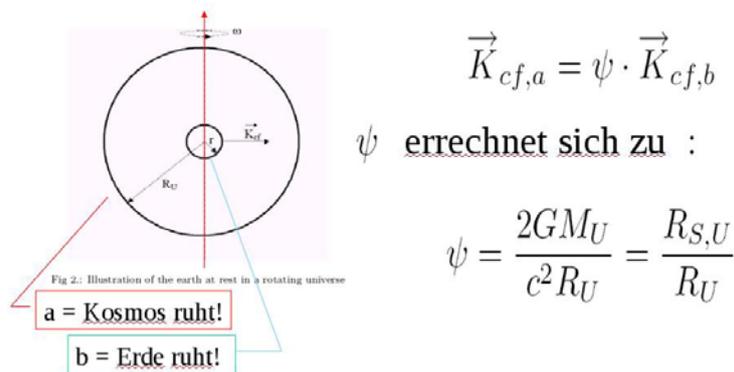


Abbildung 8: Schale um Kugel.

Zunächst einmal muß man im Interesse der Rechenbarkeit des Problem das materielle Universum in vereinfachter Form repräsentieren. Man stellt sich deshalb das gesamte Universum als eine rotierende Massenschale dar mit einer Masse  $M_U$ , die gleichmäßig auf der Kugelschale mit dem Radius  $R_U$  verteilt ist. Wie Fahr und Zönnchen (2006) hervorheben, werden die beiden Systeme bezüglich der jeweils waltenden Kräfte aber nur dann identisch, wenn der Quotient der Weltmasse und des Weltradius, das heißt, wenn  $(M_U/R_U)$ , sich bei der Evolution des Universums nicht ändern, sondern wie eine Konstante verhalten. Wenn sich aber nach astronomischer Deutung der spektral rotverschobenen Galaxien die Welt in Hubble'scher Art ausdehnt, so müßte dies bedeuten, daß die Weltmasse dabei proportional mit dem Weltradius wachsen sollte. Ein in gewisser Hinsicht bestürzender, andererseits aber geradezu auch wunderbarer Gedanke, denn er reimt sich in wunderbarer Weise mit dem Mach'schen Gedanken. Auf jeden Einzelkörper des Kosmos bezogen würde dies ja heißen, daß dieser sowie jeder andere Körper an Trägheit und Masse zunimmt, wenn die ihn umgebenden Körper des Weltalls wegen der Hubble'schen Fluchtbewegung immer größere Distanzen zueinander einnehmen. Die jeweilige Masse wäre demnach keine spezifisch körpereigene Größe, vielmehr würde sie durch die kosmische Massenumgebung bestimmt. Genau auf das gleiche Ergebnis läuft interessanterweise ja auch die Analyse von Dennis Sciama von 1953 hinaus, worin er herausfand, daß die Trägheit des Einzelkörpers  $j$  proportional zur Summe über alle anderen Körpermassen  $m_i$  der anderen Körper  $i$  dividiert durch deren Abstände  $r_i$  vom jeweiligen Aufpunkt des Einzelkörpers  $j$  ist; also gleich

$$m_j \sim \sum_i \frac{m_i}{r_i} \quad (15)$$

Auch wenn all diese Effekte im Alltagsleben nur geringfügig in Erscheinung treten, so machen die oben ausgeführten Überlegungen doch aber deutlich, daß der Raum als Bezugsreferenz für physikalische Beschreibungen weder als absoluter Raum vorgegeben, noch als solcher willkürlich und frei wählbar ist, sondern als physikalischer Raum von den Massen, die in ihm vorkommen, und von deren Positionen und Bewegungen in seinen Eigenschaften bestimmt wird. Und so kommt es dann, daß auch unsere lokale physikalische Bühne, auf der wir physikalische Vorgänge beschreiben wollen, von den Massen und deren Bewegungen in den größten Fernen des Weltraums abhängt. Die Welt im Kleinen ist demnach nicht unabhängig von der Welt im großen, in die sie eingeschlossen ist, vielmehr hängt alles miteinander zusammen. Das läuft letztenendes im besten Sinne wieder auf das Mach'sche Prinzip hinaus. Es besagt letztenendes aber auch, daß Trägheitskräfte und Zentrifugalkräfte nur in einem materiellen Universum auftreten, in dem es Massenkörper mit Massen  $m_i > 0$  gibt. In einem leeren Universum, wo alle Massenwerte  $m_i = 0$  sind, gäbe es keine Trägheitswirkungen, nicht einmal für einen Testkörper.

# 3 Das kosmische Vakuum und Gravitationsbindung

In der heutigen Zeit sehen sich Kosmologen besonders mit dem Phänomen der kosmischen Mikrowellen-Hintergrundstrahlung konfrontiert, wie sie zuletzt in bester Qualität von WMAP (Wilkinson Microwave Anisotropy Probe: Bennet et al., 2003) beobachtet worden ist. Auch die überraschende Lage der extrem entfernten Supernovae im Leuchtkraft – Rotverschiebungs – Diagramm scheint heute für jede gültige Kosmologie eine ernsthafte Herausforderung darzustellen. Durch diese herausfordernden Beobachtungsfakten fühlt sich die heutige Kosmologie gezwungen, zu kosmischer Vakuumenergie als einem unverzichtbaren Element kosmischer Expansionsdynamik Zuflucht zu nehmen. Meistens wird diese Vakuumenergie dabei immer noch mit Einstein's *Kosmologischer Konstante*  $\Lambda$  (Einstein, 1917) als Repräsentant einer sogenannten „*dunklen Energie*“ des Raumes zusammengebracht. Ein positiver Wert von  $\Lambda$  beschreibt dabei eine anti-gravitative Tendenz im Kosmos, oft auch inflationäre Wirkung genannt, die im Hinblick auf die neuen kosmologischen Fakten offensichtlich ein Muß darstellt.



Machen Sie die Zukunft sichtbar

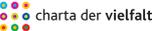
**Kleine Chips, große Wirkung:** Heute schon sorgt in rund der Hälfte aller Pässe und Ausweise weltweit ein Infineon Sicherheitscontroller für den Schutz ihrer Daten. Gleichzeitig sind unsere Halbleiterlösungen der Schlüssel zur Sicherheit von übermorgen. So machen wir die Zukunft sichtbar.

**Was wir dafür brauchen?** Ihre Leidenschaft, Kompetenz und frische Ideen. Kommen Sie zu uns ins Team! Freuen Sie sich auf Raum für Kreativität und Praxiserfahrung mit neuester Technologie. Egal ob Praktikum, Studienjob oder Abschlussarbeit: Bei uns nehmen Sie Ihre Zukunft in die Hand.

**Für Studierende und Absolventen (w/m):**

- > Ingenieurwissenschaften
- > Naturwissenschaften
- > Informatik
- > Wirtschaftswissenschaften

 [www.infineon.com/karriere](http://www.infineon.com/karriere)

   charta der vielfalt





Speziell jedoch die Hypothese einer konstanten Vakuumenergiedichte, die mit der kosmologischen Konstante  $\Lambda$  verbunden ist und die von ihrer Form her in der heutigen Präzisionskosmologie bevorzugt wird, wollen wir hier im Folgenden jedoch in Zweifel ziehen, da diese Form einer Energiedichte schwerlich im Lichte physikalischer Rahmenbedingungen zu rechtfertigen ist. Vielmehr stellen wir die These dagegen, daß gravitative Bindungsenergie in strukturierter kosmischer Materie bei fortschreitender Strukturbildung im Zuge der kosmischen Expansion formal genau so wirkt wie Vakuumenergie, da diese Bindungsform die effektiv gravitierende Materiedichte verringert, sie sozusagen „leichter“ macht. Wir werden diesen Gedanken später noch genauer ausführen. Dies könnte einen unabhängigen Begutachter der Sachlage sogar ermutigen zu glauben, daß die Wirkungen von Vakuumenergie, Bindungsenergie und reduzierter Masse hinsichtlich ihrer kosmologischen Expansionsmotorik miteinander eng verwandt sind. Zunächst aber widmen wir uns hier einer grundsätzlicheren Frage.

### 3.1 Welche materielle Quelledichte gravitiert in der ART?

Die Frage, nach der Dichte der Materie im Universum ist, entgegen allgemein gehegten Vorstellungen, durchaus nicht trivial. Sie ist vielmehr als höchst problematisch zu bezeichnen, weil in ihr die Frage nach der Raumzeitgeometrie, die man eigentlich erst durch die Feldgleichungen erhalten will, bereits inherent enthalten ist. Als Dichte wird nämlich gewöhnlich eine zeitgleiche, also raumartige Massenmenge pro Volumen bezeichnet. In dem Sinne ist die Dichte herkömmlich als „Eigendichte“ der kosmischen Materie gemeint, also einer Massenmenge pro Einheitsvolumen in einem nicht-beschleunigten Bezugssystem. Im Kosmos, wie man weiß, gibt es zwar freifliegende Inertialsysteme (co-moving inertial restframes!), jedoch wirken sich über endlichen Volumina nicht-inertiale Gezeitenkräfte aus, so daß solche Volumina geometrisch verzerrt werden, was die Situation extrem verkompliziert, indem sie Raumzeitgeometrie und Materieerfüllung des Raumes implizit wechselbezüglich macht.

Der Effekt dieser Volumenverzerrung soll hier kurz diskutiert werden: Grenzen wir eine singuläre, lokale Masse  $M$  im Universum durch ihre, zu ihr gehörige Einstein-Straus Sphäre vom restlichen, homogen gedachten Kosmos aus (siehe Einstein and Straus, 1945, Schuecking, 1954), so läßt sich bezüglich der Materiedichte in dieser Sphäre folgende Überlegung anstellen: Wenn die kosmische Eigendichte als  $\rho_0$  bezeichnet wird, so stellt sich die Eigenmasse  $M(R_{ES})$  in der Einstein-Straus Kugel als:

$$M(R_{ES}) = \frac{4\pi}{3} \rho_0 R_{ES}^3 \quad (16)$$

dar, Die Einstein-Straus Kugel hat jedoch in einem metrisch gekrümmten Universum nicht einfach das Euklidische Volumen  $V_{0,ES} = \frac{4\pi}{3} R_{ES}^3$ , sondern ein metrisch verzerrtes, raumartiges Volumen  $V_{ES} \geq V_{0,ES}$ , was sich exakt ausrechnen läßt (Fahr and Heyl, 2007) und dazu führt, daß die effektive Dichte in dieser Kugel nicht gleich der Eigendichte, sondern gleich einer metrik-spezifischen Dichte  $\rho$  ist, die gegeben wird durch den folgenden Ausdruck:

$$\rho = \frac{\frac{4\pi}{3} \rho_0 R_{ES}^3}{V_{ES}(R_{ES})} \quad (17)$$

Berechnet man das Simultanvolumen der Einstein-Straus Kugel unter Benutzung der inneren Schwarzschild-Metrik der materie-erfüllten Kugel, so ergibt sich interessanterweise ein Ausdruck für die effektive Dichte, der für Fälle  $R_{ES} \ll S_U$  in die folgende Form gebracht werden kann (Fahr and Heyl, 2007b)

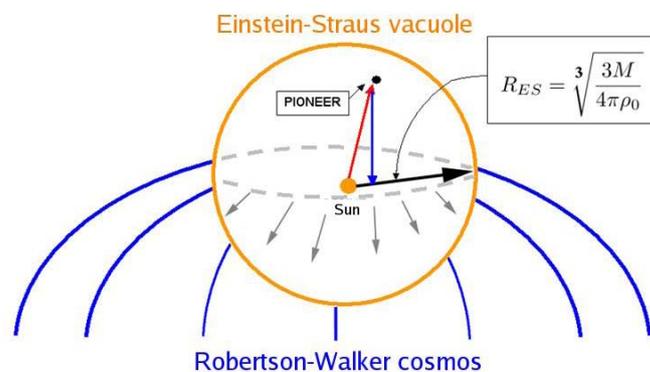
$$\rho = \rho_0(1 - \alpha\rho_0^{1/3}) \quad (18)$$

und folglich nichts anderes besagt, als daß die effektive Dichte stets gegenüber der Eigendichte verkleinert erscheint, und zwar umso mehr, je höher die Eigendichte im Kosmos selbst ist.

Schauen wir noch einmal auf die, eine lokale Massenmenge  $M$  umschließende Einstein-Straus Kugel, die ja diese diskrete Massenmenge im Kosmos mit einer Kugeloberfläche umschließt, an der die innere Schwarzschildmetrik der Kugelmasse und die äußere Robertson-Walker Metrik des Kosmos stetig ineinander übergehen. Kurz gesagt, liegt diese Grenze genau dort, wo die Raumpunkte auf der Kugeloberfläche sich genau, – und das heißt „homolog“ –, mit der kosmischen Expansion vom Kugelzentrum fortbewegen. Es gilt daher dort auch (Fahr and Heyl, 2007, Fahr and Siewert, 2007)

$$\dot{R}_{ES}/R_{ES} = \dot{R}_0/R_0 = H_0 \quad (19)$$

wobei der über den Symbolen angebrachte Punkt jeweils die Ableitung der entsprechenden Größe nach der kosmischen Zeit bedeutet, und  $H_0$  als die Hubble-Konstante bezeichnet wird (siehe dazu auch Abbg. 4).



**Abbildung 9:** Die Einstein-Straus Vakuole umschließt eine Masse  $M$  gerade in einem Abstand, in dem ein stetiger Übergang der inneren Schwarzschild Metrik in die äußere Robertson-Walker Metrik des expandierenden Kosmos möglich ist.

### 3.2 Warum sollte das Vakuum schwer sein?

Es ist sicherlich wert zu fragen, warum ein Vakuum Schwere ausüben sollte. Denn wenn es doch einfach „Nichts“ repräsentiert, dann sollte es eigentlich begriffsgemäß auch keine Wirkung im physikalischen Sinne hervorrufen, es sollte also auch nicht gravitieren. Wenn das Vakuum nach dem Verständnis der griechischen Atomisten reine Leere ist, die lediglich genügend freie Raumstellen bereitstellt, so daß Atome sich frei bewegen können (siehe Fahr, 2001, Fahr, 2004), dann kann natürlich von ihm keine physikalische, und somit auch keine gravitative Wirkung ausgehen. Jedoch schon Aristoteles brachte einen wichtigen, anderen Aspekt in den Vakuumbegriff ein, der mit dem Widerstand der Natur gegen die Schaffung von Leere zusammenhängt, also dem „horror vacui“. In diesem neuen Aspekt drückt sich aus, daß das Vakuum um reelle Materie herum anders beschaffen sein mag als ohne Materiepräsenz, es wird nämlich polarisiert von realer Materie, wie man sagen könnte. Es bildet sich ein „*polarisiertes Vakuum*“. Diese auf Aristoteles zurückgehende Idee hat das Konzept des Vakuums ziemlich stark kompliziert, und die Geschichte der davon herrührenden Begriffsbildung kann selbst heute nicht als vollendet gelten (e.g. Blome and Priester, 1984, Fahr, 1989, 2004, Genz, 1996, Wesson, 1999, Barrow, 2000). In den letzten Jahrzehnten ist allerdings langsam klar geworden, daß das Vakuum, oder man sollte vielleicht besser sagen, der leere Raum, nicht energielos, sondern energiegeladen sein muß, zumindest wenn dieses durch Materie polarisiert wird.(e.g. Steeruwitz, 1975, Zel'dovich, 1981, Birrell and Davies, 1982, Lamoreaux, 1997, Rafelsky and Müller, 1985, Buchmüller and Philipsen, 1995, Buchmüller, 1998, Blome et al., 2002) und durch diese Energie- bzw- Massenbeladung sollte es dann aber auch gravitativ wirksam werden können, wenn auch nicht klar ist, in welcher Form.

**SIEMENS**

EIGENVERANTWORTUNG  
KREATIVE TEAMPLAYER  
NEUGIERDE  
OFFENHEIT  
INNOVATION ERFINDERGEIST  
ENGAGEMENT  
PERSPEKTIVEN CHANCEN  
ENTSCHLOSSENHEIT  
WELTWEITE MÖGLICHKEITEN  
WORK-LIFE-BALANCE

Verwirklichen, worauf es ankommt –  
mit einer Karriere bei Siemens.

[siemens.de/karriere](https://www.siemens.de/karriere)



### 3.3 Ein Beispiel: Elektrostatische Polarisationsenergie

Wir wollen hier zunächst einmal ein greifbare Analogie zum polarisierten Vakuum anschauen. Wir stellen uns vor der Raum sei von subrelativistischen Elektronen und Protonen mit einer Dichte von  $n = n_e = n_p$  erfüllt. Als Energiedichte  $\epsilon$ , gemeint als Ruhemassendichte dieses Raumplasmas, würde man folglich auf den ersten Hinblick den folgenden Wert angeben:

$$\epsilon = n(M + m)c^2 \quad (20)$$

wobei  $M$  und  $m$  die Massen des Protons and des Elektrons bezeichnen. Jedoch mag einem schnell aufgehen, daß diese Zahl  $\epsilon$  nicht den Umstand berücksichtigt, daß es sich hier um ein neutrales Plasma aus elektrischen Ladungen handelt, die sich gegenseitig jeweils auf einer Länge von der Größe der Debye-Länge  $\lambda_D = \sqrt{KT/4\pi ne^2}$  abschirmen. Hier bezeichnen  $K$  die Boltzmann Konstante,  $T$  die Plasmatemperatur, und  $e$  die elektrische Ladungseinheit. Wenn man diese automatisch im Plasma gegebene Ladungsabschirmung bedenkt, so fällt auf, daß sie im Grunde bedeutet, daß jede Ladung das Plasma in ihrer Umgebung polarisiert, indem sie in ihrer Debyeumgebung exakt die Menge einer Antiladung akkumuliert. Die Versammlung einer solchen Antiladung auf dem Volumen einer Debyesphäre entspricht pro Ladungsträger jedoch einer Zusatzenergie von

$$\epsilon_D = \frac{e^2}{\lambda_D} \quad (21)$$

was in Elektronenruhemassen  $m_e$  ausgedrückt sich dann schreiben läßt als

$$\epsilon_D = \frac{r_e}{\lambda_D} m_e c^2 \quad (22)$$

wobei  $r_e = 3 \cdot 10^{-13} \text{cm} = 1 \text{ Fermi} = 1 \text{ Fm}$  den klassischen Elektronenradius bezeichnet. Durch diese elektrische Polarisierungsenergie ergibt sich eine Zusatzenergiedichte von

$$\epsilon_D = 2n \frac{r_e}{\lambda_D} m_e c^2 \quad (23)$$

und somit schließlich ein Verhältnis von Polarisierungsenergie über Ruhemassenenergie von:

$$\bar{\epsilon}_D = 2 \frac{r_e}{\lambda_D} \frac{m}{M + m} \quad (24)$$

Diese Größe  $\bar{\epsilon}_D$  ist unter realistischen Verhältnissen sehr klein, es sei denn die kosmischen Dichten  $n$  werden sehr groß oder die kosmischen Temperaturen  $T$  sehr klein. In aller Regel spielen demnach diese Polarisierungsenergien jedoch keine Rolle.

Es wäre vielleicht zu vermuten, daß sich dies jedoch im Falle der Abschirmung jeder nackten elektrischen Ladung durch die sog. elektrischen Quantenfluktuationen im umgebenden Vakuum anders verhalten könnte. Hierbei geschieht die Abschirmung durch virtuelle Elektronen oder Positronen, die im *fermionischen Quantenvakuum* sporadisch auftreten und dabei echte Ladungen zu einem gewissen Grade abschirmen können. Wie sich quantenfeldtheoretisch zeigt, sorgt diese Quantenabschirmung tatsächlich dafür, daß die effektive Ladung von reellen Protonen oder Elektronen in einer Abstandsregion von kleiner als  $100r_e$  ansteigt. Dieser Abstand entspricht einer Coulomb'schen Energie von  $1\text{GeV}$ . Wenn man also ein reelles Elektron mit dieser Energie zentral auf ein reelles Proton schießt, so merkt ersteres die erhöhte Ladung des Protons. Das Vakuum schirmt also echte Ladungen auf einer viel kleineren Skala von  $\lambda_v < 100r_e$  ab, jedoch ist auch der Betrag der Ladungsmenge, der dabei abgeschirmt, wird viel kleiner. Auf der Basis derzeitiger Kenntnisse dieses quantenmechanischen Abschirmungseffektes fällt es allerdings zur Zeit schwer, hieraus ein genaues Maß der Abschirmenergie des polarisierten Vakuums zu berechnen, weswegen wir es hier bei diesem Hinweis belassen wollen.

### 3.4 Wie erzeugt das Vakuum seine Schwere?

Wir wollen deshalb zunächst einmal auf einer anderen Linie die Energiedichte und den Druck des Vakuums zu berechnen versuchen. In der modernen Allgemein Relativistischen Kosmologie wird die Wirkung des Vakuums durch einen geeignet formulierten Energie-Impuls Tensor des Vakuums erfaßt. Dieser Tensor stellt eine vakuum-bezogene Quelle der Raumzeitgeometrie dar und wird nach dem Modell des hydrodynamischen Energie-Impuls Tensors  $T_{\mu\nu}^{vac}$  formuliert. Letzterer enthält Einträge für den Vakuumdruck  $p_{vac}$  and die Vakuumenergiedichte  $\rho_{vac}$ . Wenn die Vakuumenergiedichte  $\epsilon_{vac} = \rho_{vac}c^2$  als konstant angenommen werden darf, wie es in der Standardkosmologie praktiziert wird, und wenn mit dieser Annahme verbunden der Vakuumdruck sich als  $p_{vac} = -\rho_{vac}c^2$  ergibt (siehe Weinberg, 1989, Overduin and Fahr, 2001, Peebles and Ratra, 2003, Bennet et al., 2003), dann führt dies zu folgendem Quelltensor

$$T_{\mu\nu}^{vac} = (\rho_{vac}c^2 + p_{vac})U_\mu U_\nu - p_{vac}g_{\mu\nu} = \rho_{vac}c^2 g_{\mu\nu} \quad (25)$$

wobei  $U_\lambda$  die Komponenten der Vierergeschwindigkeit  $\vec{U}$  des analog zu einer strömenden Flüssigkeit behandelten Vakuums bezeichnet. Den obigen Term kann man mit dem Term aus Einstein's kosmologischer Konstante  $\Lambda$  (Einstein, 1917) zusammenfassen, indem man beide auf die rechte Seite der GRT Feldgleichungen bringt und gewinnt dann einen kombinierten Term, den man durch eine effektive kosmologische Konstante  $\Lambda_{eff}$  auf folgende Weise ausdrücken kann

$$\Lambda_{eff} = \frac{8\pi G}{c^2} \rho_{vac} - \Lambda \quad (26)$$

Das erste Problem, das auch von Einstein (1917) bereits erkannt worden war, besteht in der freien Wahl des Wertes von  $\Lambda$ . Wir wollen hier versuchen, eine recht interessante Antwort auf dieses Problem zu geben, zumindest gültig für den Fall eines völlig leeren, materiefreien Raumes.

Hierzu überlegt man sich zuerst einmal, wie ein vernünftiges, rational haltbares Konzept des absolut leeren Raumes beschaffen sein sollte. Es geht also zunächst um eine a priori – Definition, welche Eigenschaften von einem solchen Raum erwartet werden sollen. Wenn man in diesem Sinne den absolut leeren Raum als Raum ohne raumkrümmende Quellen der Geometrie versteht, also frei von globaler Krümmung und innerer Dynamik, dann lassen sich unter diesem Verständnis einige, dann gegebene Eigenschaften dieses leeren Raumes ableiten. So zum Beispiel sollte in einem solchen Raum die Selbstparallelität von allgemeinrelativistischen Vierervektoren beim Paralleltransport längst geschlossener Raumzeitgeodäten (Weltlinien) gewährleistet sein, was verlangt, daß alle Komponenten des Riemann'schen Krümmungstensors  $R_{\lambda\mu\nu}^{\kappa}$  und damit des Ricci-Tensors  $R_{\mu\nu}$  und des Riemannskalars  $R$  verschwinden müssen (siehe Overduin and Fahr, 2001). Zudem läßt sich zeigen, daß der leere Raum nur dann Testphotonen nicht permanent rotverschiebt, was als vernünftige Forderung erscheint, wenn wie Overduin and Fahr (2001) or Fahr (2004) zeigen, die effektive kosmologische Konstante des Vakuums verschwindet, wenn also in diesem leeren Raum gilt:  $\Lambda_{eff,0} = 0!$ . Das verlangt dann jedoch, das Einstein's kosmologische Konstante  $\Lambda$  (siehe obige Glg.), die ja von ihrer mathematischen Ableitung her eine Integrationskonstante mit nur einem einzigen Wert sein kann, wie folgt fixiert werden sollte

$$\Lambda = \Lambda_0 = -\frac{8\pi G}{c^2} \rho_{vac,0} \quad (27)$$

Jonas von Malottki Finance Accounting IT Solutions, Deutschland (Stuttgart)  
Hortense Denise Kirby HR Business Partner, USA (Dallas/Fort Worth)  
Yu Chang Engineering Support Office, China (Peking)

Fünf Kontinente. Jede Menge Platz zur persönlichen Entfaltung. Das sind wir.

Hier geht es für Sie weiter: [www.career.daimler.com](http://www.career.daimler.com)

**DAIMLER**

Die Daimler AG ist eines der erfolgreichsten Automobilunternehmen der Welt. Zum Markenportfolio gehören Mercedes-Benz, smart, Freightliner, Western Star, BharatBenz, Fuso, Setra, Thomas Built Buses sowie die Mercedes-Benz Bank, Mercedes-Benz Financial und Truck Financial.



Hier bezeichnet  $\rho_{vac,0}$  jetzt die Massendichte desjenigen Vakuums, das zum absolut leeren Raum gehört, etwa diejenige, die die Quantenfeldtheoretiker ausrechnen (Peebles and Ratra, 2003, Fahr and Heyl, 2007). Man erkennt daran das Gebot, daß zunächst einmal, bevor der materieerfüllte Weltraum beschrieben werden kann, die kosmologische Konstante Einstein's so festgelegt werden muß, daß sie exakt von der Energiedichte des leeren Raums kompensiert wird, ganz gleich welcher Wert letzterer auch immer quantenfeldtheoretisch zuerkannt wird, so daß dann aber  $\Lambda_{eff} = 0$  erfüllt ist.

Wenn sie aber erst einmal in der oben angegebenen Weise festgelegt ist, so kann sie auch in einem materieerfüllten Raum als mathematische Konstante dort nur diesen und keinen anderen Wert als  $\Lambda_0 = -8\pi G\rho_{vac,0}/c^2$  besitzen. Das besagt dann aber einfach, daß in einem materieerfüllten Universum die Wirkung der Vakuumenergie nur über die folgende, effektive kosmologische Konstante beschrieben wird

$$\Lambda_{eff} = \frac{8\pi G}{c^2}(\rho_{vac} - \rho_{vac,0}) \quad (28)$$

In dieser Formulierung drückt sich aus, daß die Wirkung des aktuellen Vakuums nur von der Differenz zwischen den Werten der Energiedichte  $\rho_{vac,0}$  des leeren Raumes und derjenigen  $\rho_{vac}$  des materieerfüllten Raumes bestimmt wird. Nur diese Differenz gravitiert in der Tat. Das liefert dann auch die überall gesuchte Erklärung dafür, warum die von Quantenfeldtheoretikern berechnete, riesige Vakuumenergie nicht raumkrümmend oder gravitierend wirkt ( see e.g. Peebles and Ratra, 2003, Fahr and Heyl, 2007). Das macht dann aber auch leicht klar, daß die wirklich wirksame Vakuumenergie  $\epsilon_{vac} = c^2(\rho_{vac} - \rho_{vac,0})$  von der Materie abhängt, die im Raum verteilt ist und das Vakuum polarisiert, also verändert. In einem homogenen Universum kann dies nur bedeuten, daß die effektive Massendichte des Vakuums eine Funktion der Materiedichte  $\rho$  ist; also  $\rho_{vac} = \rho_{vac}(\rho)$ ! Diese Idee, so unklar sie bezüglich ihrer mathematischen Fassung auch sein mag, erinnert jedoch zutiefst an die Ansichten des bereits erwähnten Aristoteles aus der Zeit um 400 vor Christus, in denen das Nichts unter dem Einfluß des Etwas gedacht wurde.

### 3.5 Das Konzept der Raumenergie

In einer ersten Definition könnten wir den leeren Raum als Raumzeitmannigfaltigkeit ohne punkt-spezifische, lokalisierte Energierepräsentationen in Form von Punktmassen verbunden mit Baryonen, Leptonen, oder Dunkelteilchen (i.e. Partikel der dunklen Materie!) oder Photonen, sogar ohne punkt-artige quantenmechanische Vakuumfluktuationen verstehen. Wenn dennoch, trotz Abwesenheit aller punkt-artigen Massenrepräsentationen, ein solcher leerer Raum als energiegeladen aufgefaßt werden müßte, dann könnte diese Form der Energie nur eine volumenspezifische Energie darstellen, irgendwie vielleicht mit der Größe des Volumens verbunden als ein mit der Raumzeitmetrik verbundener Skalar wie etwa die Raumkrümmung auch. In einem leeren Raum darf aber kein Raumpunkt vom anderen unterschieden sein, und daher kann diese Raumenergie oder die Raumkrümmung hier auch nicht von den Raumkoordinaten abhängen.

Selbst aber unter solchen Rahmenbedingungen kann es nicht als die natürlichste Annahme gelten, wie viele Leute glauben wollen, daß die Vakuumenergiedichte  $\epsilon_{vac} = \rho_{vac}c^2$  dann als zeitunabhängige, konstante Größe anzusehen ist. Das hat mit der Tatsache zu tun, daß die Volumeneinheit, auf die die Dichte ja bezogen ist, keine kosmologisch relevante Größe darstellt. Wenn überhaupt erscheint es schon vernünftiger anzunehmen, daß die Energiebeladung eines homolog expandierenden Eigenvolumens keine Zeitveränderlichkeit zeigt, und daß somit die zugehörige Eigenenergie konstant ist. Aber diese Forderung läuft dann überraschenderweise darauf hinaus, daß anstelle der Vakuumenergiedichte  $\epsilon_{vac}$  die folgende Größe sich als konstante ergibt

$$e_{vac} = \epsilon_{vac}\sqrt{-g_3}d^3V \quad (29)$$

wobei  $g_3$  die Determinante der 3d-Raummetrik ist, die im Falle der Robertson-Walker Geometrie durch den folgenden Ausdruck gegeben ist

$$g_3 = g_{11}g_{22}g_{33} = -\frac{1}{(1 - Kr^2)}R^6r^4\sin^2\vartheta \quad (30)$$

wobei  $K$  hier den Krümmungsparameter bezeichnet und die Funktion  $R = R(t)$  die zeitabhängige Skala des Universums angibt. Das differentielle 3d-Raumvolumen wird in normierten Polarkoordinaten wie folgt ausgedrückt

$$d^3V = drd\vartheta d\varphi \quad (31)$$

Somit führt der obige Ausdruck für  $e_{vac}$  auf die folgende Relation

$$e_{vac} = \epsilon_{vac}\sqrt{R^6r^4\sin^2\vartheta/(1 - Kr^2)}drd\vartheta d\varphi = \epsilon_{vac}\frac{R^3}{\sqrt{1 - Kr^2}}r^2\sin\vartheta drd\vartheta d\varphi \quad (32)$$

Wenn man demnach eine Invarianz von  $\epsilon_{vac}$  fordert, so läuft dies auf folgende Relation hinaus

$$\epsilon_{vac} = \rho_{vac} c^2 \sim R(t)^{-3} \quad (33)$$

die natürlich sofort Einstein's Kosmologische Konstante  $\Lambda = 8\pi G\rho_{vac}/c^2 = const$  als eine angemessene Beschreibung der Vakuumenergie ausschließt.

Auf der anderen Seite kann die Invarianz der Vakuumenergie pro mit-bewegtem Eigenvolumen  $\epsilon_{vac}$  natürlich nur dann erwartet werden, wenn diese dem Volumen innewohnende Energie keinerlei Arbeit an der Dynamik der kosmischen Expansion leistet, also etwa die zeitliche Entwicklung des kosmischen Skalenfaktors  $R(t)$  beeinflusst. Wenn dagegen eine solche Arbeit geleistet wird, indem die Vakuumenergie die Dynamik der kosmischen Raumzeit über einen nichtverschwindenden Anteil im Energie-Impuls-Tensor mitbestimmt, dann müssen thermodynamische Forderungen erfüllt werden, und die Zusammenhänge werden kompliziert.

So wird dann zum Beispiel die Vakuumenergiedichte und der Vakuumdruck über die Standardbeziehung der Thermodynamik miteinander in Verbindung gebracht (siehe z.B. Goenner, 1997)

$$\frac{d}{dR}(\epsilon_{vac} R^3) = -p_{vac} \frac{d}{dR} R^3 \quad (34)$$

Nehmen Sie die nächsten 50 Stufen Ihrer Karriereleiter doch gleich auf einmal.

Das gibt es nur bei JobStairs: Auf einer Seite alle favorisierten Top Unternehmen sehen und sich bequem bei allen gleichzeitig bewerben. Ideale Bedingungen also, um Ihren persönlichen Karriereaufstieg erfolgreich in Angriff zu nehmen.

Und hier geht's direkt zu Ihren Top Jobs:

**JobStairs**  
The Top Company Portal

Logos of various companies: Allianz, Audi, Bayer, Bertelsmann, bertrandt, BMW Group, Bosch, Brose, Commerzbank, Continental, Daimler, DB, etc.



womit einfach ausgedrückt wird, daß die Energiedichte des Vakuums sich in dem Maße verändert, in dem der Vakuumdruck an der Volumenveränderung Arbeit leistet. Es läßt sich leicht zeigen, daß diese Differentialgleichung von dem folgenden Ausdruck erfüllt wird

$$p_{vac} = -\frac{3-n}{3}\epsilon_{vac} \quad (35)$$

wenn die Vakuuenergiedichte des homogenen Universums durch eine Skalenabhängigkeit der Form  $\epsilon_{vac} \sim R^n$  beschrieben wird. Legt man diesen Ansatz zugrunde, so zeigt sich, daß die obige thermodynamische Beziehung, – abgesehen vom trivialen Fall für  $n = 3$ , bei dem der Vakuumdruck wegen  $p_{vac}(n = 3) = 0$  natürlich wegen verschwindenden Druckes keine Arbeit leisten kann –, auch von Fällen  $n \leq 3$  gelöst wird, eingeschlossen darunter der Fall  $n = 0$ , das heißt konstante Vakuuenergiedichte, da nämlich  $\epsilon_{vac} \sim R^0 = const.$  bedeutet.

Allerdings formuliert die oben herangezogene, thermodynamische Differentialgleichung eine vereinfachte Forderung, bei der die Arbeit gegen innere gravitative Bindung des Vakuum-erfüllten Volumens nicht berücksichtigt wurde. Bei jeder thermodynamischen Betrachtung von kosmisch großen Gasvolumina, wie etwa sternbildenden Molekülwolken oder kollabierenden Sternen, kommt dieser Größe der gravitativen Eigenbindung jedoch große Bedeutung zu. Wenn man deshalb diese Arbeit gegen gravitative Eigenbindung auch für das volumenerfüllende Vakuum berücksichtigt, so ergibt sich dann auf einmal ein erstaunlich anderes Resultat. Auf großen Raumskalen muß nämlich die obige Gleichung erweitert werden um einen Term, der die Arbeit gegen die gravitative Eigenbindung des Vakuums berücksichtigt. Auf kleinskaliger Gasdynamik (wie Akustik, Hydrodynamik, Aerodynamik, oder Meteorologie etc.) spielt dieser Selbstgravitationsterm keine Rolle, jedoch auf kosmischen Raumskalen ergibt sich klar die Notwendigkeit ihn ins Kalkül einzubeziehen, auch dann, wenn es sich nur um ein energiegeladenes Vakuum handelt. Fahr and Heyl (2007a/b) haben diesbezüglich gezeigt, wie dieser Term sich darstellt, und daß er zu folgender, erweiterter thermodynamischen Gleichung führt

$$\frac{d}{dR}(\epsilon_{vac}R^3) = -p_{vac}\frac{d}{dR}R^3 - \frac{8\pi^2G}{15c^4}\frac{d}{dR}[(\epsilon_{vac} + 3p_{vac})^2R^5] \quad (36)$$

Hier beschreibt der letzte Term auf der rechten Seite die Arbeit des Volumens gegen die gravitative Selbstbindung des Vakuums. Diese komplettierte Gleichung kann jedoch ebenfalls durch den früheren Ansatz  $p_{vac} = -\frac{3-n}{3}\epsilon_{vac}$  erfüllt werden und führt dann auf die Forderung

$$\frac{-3}{3-n}(3-n)p_{vac}R^2 = -3p_{vac}R^2 - \frac{8\pi^2G}{15c^4}\frac{6-3n}{3-n}\frac{d}{dr}(p_{vac}R^5) \quad (37)$$

die jedoch jetzt nicht mehr von verschiedenen Indizes  $n$  erfüllt werden kann, sondern nunmehr ausschließlich vom Index  $n = 2!$ . Das besagt aber sofort, daß unter diesen Bedingungen sowohl konstante wie volumen-reziproke Vakuumenergiedichte keine Optionen mehr sein können, da sie einfach die thermodynamisch gestellten Forderungen nicht erfüllen können, sondern es ergibt sich nunmehr lediglich die Lösung

$$\epsilon_{vac} \sim R^{-2} \quad (38)$$

Dies besagt nun jedoch, daß eine auf die Raumzeit wirkende Vakuumenergiedichte, die die obige Forderung der kosmischen Thermodynamik erfüllt, sich umgekehrt zum Quadrat der kosmischen Skala  $R$  verhalten sollte und somit eine sich mit der kosmischen Expansion verringernde Vakuumenergiedichte darstellt, keinesfalls jedoch konstant sein sollte.

### 3.6 Kosmische Strukturbildung und die Expansion des Kosmos

Jeder, der Astronomie auf großen kosmischen Skalen betreibt, weiß, daß der Kosmos nicht angemessen gut mit einer homogenen Dichteverteilung beschrieben werden kann, wie die heutige Kosmologie dies tut, sondern daß dieser Kosmos ein hochstrukturiertes, hierarchisch aufgebautes Materiesystem darstellt. Deshalb muß man versuchen sich klar zu machen, inwieweit eine Kosmologie, die den Kosmos als homogenes Materiesystem beschreiben will, zwangsläufig die kosmische Wahrheit verfehlt. Wie viele grundlegende Überlegungen von Buchert (2001, 2005, 2008) gezeigt haben, vollzieht sich die Expansion eines strukturierten Kosmos nicht äquivalent zu einem, daraus hervorgehenden, homogenisierten Kosmos gleicher mittlerer Materiedichte. Das heißt aber klar, daß es durchaus eine dynamische Rolle spielt, ob der Kosmos als homogener oder als strukturierter beschrieben wird. Die kosmische Strukturbildung bezeichnet das Phänomen wachsender Klumpigkeit in der kosmischen Materieverteilung während fortschreitender Evolution des Kosmos. Daraus läßt sich eventuell schließen, daß diese wachsende hierarchische Massenstruktuiierung im Kosmos eventuell von dynamischer Relevanz für die Expansion des Kosmos sein könnte. Wir wollen diesen Aspekt nachfolgend etwas genauer unter die Lupe nehmen.

### 3.7 Hinweise zur Reduktion der effektiven Masse durch Gravitationsbindung

Man muß sich vor aller allgemein-relativistischen Kosmologie zunächst immer fragen, was sinnvollerweise als geometrie-bestimmende, „raum-krümmende“ Materiedichte bezeichnet werden sollte. Da diese Materiedichte über ihre Einträge im Energie-Impuls Tensor  $T_{\mu\nu}$  ganz wesentlich mit der vorherrschenden Raumzeitgeometrie des Kosmos verbunden ist, die jedoch erst nachträglich als Lösung der Feldgleichungen gewonnen wird, besteht hier eine nichtlineare, intrinsische Verkopplung beider Größen. Das hat fatalerweise auch zur Folge, daß die naive Benützung der Materiedichte, definiert als „Masse pro Volumeneinheit“ in Form von  $g/cm^3$  in gekrümmten Räumen problematisch wird, weil die Volumeneinheit keine allgemeinrelativistische Transformationsinvariante ist. Um diese prekäre Situation besser meistern zu können, sollte man also besser von „Eigendichte“ reden, also der Masse in einem kosmologisch mitbewegten oder wie man auch sagt, freifallenden Volumen. Natürlich kann man im Kosmos immer sog. „mitbewegte“ Inertialsysteme finden jedoch auch in solchen Systemen ergeben sich über endlichen Dimensionen eines ausgedehnten Volumens sog. „Gravitative Gezeitenkräfte“, welche die Volumeneinheit deformieren und somit die Dichte der eingeschlossenen Masse verändern.

ICH BEI ZF. INFORMATIKER  
UND OUTDOOR-PROFI.

[www.ich-bei-zf.com](http://www.ich-bei-zf.com)

 MOTION AND MOBILITY

100 YEARS MOTION AND MOBILITY

Scan den Code und erfahre mehr über mich und die Arbeit bei ZF:

WALTER LAUTER  
IT-Spezialist Serversysteme  
ZF Friedrichshafen AG

Dies führt zu einer Reduktion der Eigendichte  $\rho = \rho_0$ , wie von Fahr and Heyl (2007) gezeigt wurde, und ergibt auf einer Raumskala  $R_{ES}(M) = \sqrt[3]{3M/4\pi\rho_0}$  (see Einstein and Straus, 1945) im Falle kleiner Dichten  $\rho_0 \ll \rho_c$  (wobei  $\rho_c$  hierbei die Schwarzschild-Dichte gegeben durch  $\rho_c = (3/4\pi)(c^2/2G)^3 M^{-2}$  bezeichnet) eine Reduktion der Eigendichte beschrieben durch den folgenden Ausdruck

$$\rho^* = \rho_0 \cdot \left(1 - \left(\frac{\rho_0}{\rho_c}\right)^{1/3}\right) \quad (39)$$

Im Folgenden wollen wir einen noch allgemeineren Ausdruck für die reduzierte oder die effektive Dichte abzuleiten versuchen. indem wir von der Bindungsenergie in geklumpten Massengebilden des Kosmos wie Galaxien und Galaxienhaufen ausgehen, die durch Zweipunktkorrelationsfunktionen über einen Korrelationsindex  $\alpha$  and eine Hierarchiegrenze  $l_m$  beschrieben werden können.

### 3.8 Die Bindungsenergie in strukturierten Massensystemen

Wir wollen davon ausgehen, daß die Strukturbildung im Kosmos bis zu einem gewissen, intermediären Grade vorangeschritten ist, wo keine homogene Materieverteilung mehr vorherrscht, sondern eine Aufpunkt-unabhängige Verteilung hierarchisch organisierter Materie im Kosmos. Aus der Statistik der Galaxienverteilung in unserer lokalen und globalen Nachbarschaft kann man ableiten, daß der hierarchische Zustand der Galaxienverteilung unserer Umgebung sich mit Hilfe lokaler Zwei-Punkt-Korrelationsfunktionen  $\xi(l)$  beschreiben läßt, mit der die Wahrscheinlichkeit ausgedrückt wird, in einer Entfernung  $l$  von uns eine Galaxie zu finden. Läge eine homogene Galaxienverteilung vor, so würde die Korrelationsfunktion  $\xi$  natürlich nicht von  $l$  abhängen, sondern würde konstant sein. Angesichts der tatsächlichen, nicht-homogenen Galaxienverteilung in unserer Umgebung ergibt sich jedoch eine  $l$ - abhängige Korrelationsfunktion, die über ausgedehnte Bereiche des Kosmos wie folgt angegeben werden kann

$$\xi(l) = \xi(l_0) \cdot \left(\frac{l_0}{l}\right)^\alpha \quad (40)$$

verbunden mit einem Potenzindex  $\alpha \simeq 1.8$  und einer inneren Skalengröße  $l_0$ , wie sie für Galaxien charakteristisch ist (siehe Bahcall and Chokski; 1992). Ausgedrückt als uns umgebende galaktische Materiedichte bedeutet dies, daß die Materiedichte der uns umgebenden Galaxien mit wachsender Entfernung von uns gemäß obiger Wahrscheinlichkeit abfällt. Dies drückt die Tatsache einer organisierten Verteilung der Masse im Universum aus, jedoch so, daß dabei die mittlere Massendichte des Universums nicht verändert wird, sondern die Masse um jeden Aufpunkt herum nur anders verteilt wird. Die damit gegebene, aufpunkt-orientierte Materieverklumpung drückt jedoch gleichzeitig auch eine veränderte Gravitationsbindung der Materie im Vergleich zur homogenen Materieverteilung aus. Das bedeutet, daß sich in dieser „geklumpten Phase“ in der Materie mehr Gravitationsbindungsenergie niederschlägt, eine Form negativ-wertiger, potentieller Energie also, die demnach auch negativwertig in die Energiebilanz eingeht.

Die Frage wird nun sein, welchen Effekt die Entstehung von Gravitationsbindungsenergie auf die kosmische Expansionsdynamik hat. Wir werden deswegen die lokale potentielle Bindungsenergie ausrechnen, indem wir die lokale Dichteverteilung gemäß obiger Wahrscheinlichkeitsfunktion  $\xi(l)$  benutzen. Die dieser Verteilung assoziierte Dichteverteilung schreiben wir (Fahr and Sokaliwska, 2011, 2012) dementsprechend in der folgenden Form  $\rho(l) = \rho_0 (l/l_0)^{-\alpha}$ . Damit der so beschriebene, punktbezogene Dichteabfall jedoch weder die Gesamtmasse, noch die mittlere Dichte des Universums ändert, müssen wir die Referenzdichte  $\rho_0$  in folgender Weise festlegen

$$\rho_0 = \frac{3 - \alpha}{3} \bar{\rho} \cdot (l_m/l_0)^\alpha \quad (41)$$

wobei  $l_m$  die äußere Integrationsgrenze bedeutet.

In der Abbildung wird gezeigt, wie der beschriebene Dichteverlauf vom Korrelationsindex  $\alpha$  abhängt. Hier ist interessant zu sehen, daß für kleine Werte von  $l$  im Grenzfall  $l \rightarrow 0$  zwar die Dichte gegen unendlich große Werte läuft, gleichzeitig kann aber durch die obige Festlegung immer gewährleistet werden, daß die mittlere Dichte des Universums dennoch immer gleich bleibt und die Gesamtmasse endlich bleibt, denn man überzeugt sich leicht davon, daß gilt.

$$M_m = \frac{4\pi}{3} \bar{\rho} l_m^3 = 4\pi \rho_0 \int_0^{l_m} l^2 \left(\frac{l}{l_0}\right)^{-\alpha} dl \quad (42)$$

Nun wollen wir die potentielle Energie dieser selbstgravitierenden Massenansammlung ausrechnen gemäß der Formeln, die bereits in Fahr und Heyl (2007b) zu diesem Zwecke entwickelt wurden und die im vorliegenden Fall auf folgendes Ergebnis hinauslaufen

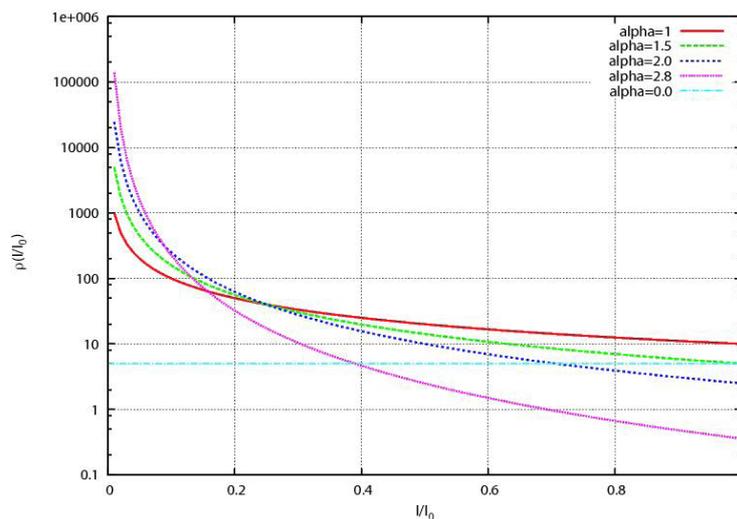


Abbildung 10: Dichteverlauf in Abhängigkeit vom Korrelationsindex  $\alpha$ .

$$\epsilon_{pot} = -G \rho_0^2 l_0^5 \int_1^{x_m} 4\pi x^2 dx x^{-\alpha} \frac{1}{x} \int_1^x 4\pi x'^2 dx' x'^{-\alpha} \quad (43)$$

wobei als normierter Zentralabstand die Größe  $x = l/l_0$  eingeführt wurde. Somit erhält man dann

$$\epsilon_{pot} = -(4\pi)^2 G \rho_0^2 l_0^5 \int_1^{x_m} x dx x^{-\alpha} \left[ \frac{1}{3-\alpha} (x^{3-\alpha} - 1) \right] \quad (44)$$

was auf das folgende Ergebnis führt

$$\epsilon_{pot} = -\frac{(4\pi)^2}{3-\alpha} G \rho_0^2 l_0^5 \left| \frac{x^{5-2\alpha}}{5-2\alpha} - \frac{x^{2-\alpha}}{2-\alpha} \right|_1^{x_m} \quad (45)$$

Mit der Annahme  $x_m \gg 1$  ergibt sich hieraus

$$\epsilon_{pot} \simeq \frac{-(4\pi)^2}{(3-\alpha)(5-2\alpha)} G \rho_0^2 l_0^5 x_m^{5-2\alpha} \quad (46)$$

Mit der vorher eingeführten Setzung  $\rho_0 = \frac{3-\alpha}{3} \bar{\rho} x_m^\alpha$  liefert dies schließlich folgenden Ausdruck

$$\epsilon_{pot} = -\frac{(4\pi)^2 (3-\alpha)}{9(5-2\alpha)} G \bar{\rho}^2 l_0^5 x_m^5 \quad (47)$$

Hier ist zunächst einmal interessant zu erkennen, daß im Falle  $\alpha = 0$  (i.e. homogene Materieverteilung) tatsächlich wieder die potentielle Energie einer homogen masseerfüllten Kugel mit Radius  $l_m$  herauskommt, nämlich  $\epsilon_{pot}(\alpha = 0) = -(4\pi)^2 G \bar{\rho}^2 l_m^5 / 15$  (see Fahr and Heyl, 2007). Dieser Wert  $\epsilon_{pot}(\alpha = 0)$  kann deshalb als Referenzwert für die potentielle Energie des wieder re-homogenisierten Universums gelten.



by BNP PARIBAS

## DEINE SCHNITTSTELLE ZUM ERFOLG.

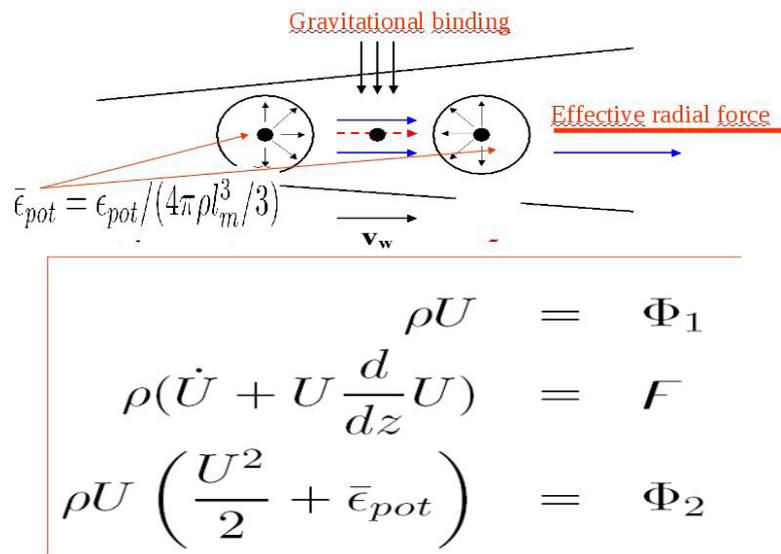
HIER BIST DU RICHTIG VERBUNDEN!



Die Consorsbank ist eine der führenden Direktbanken Europas. Lege jetzt als Werkstudent oder Praktikant bei uns den Grundstein für deine erfolgreiche Karriere.

Einfach online bewerben unter:  
[www.consorsbank.de/karriere](http://www.consorsbank.de/karriere)





### 3.9 Variable Bindungsenergie in einem expandierenden Kosmos

Es soll hier zunächst diskutiert werden, wie sich die Variation negativer Bindungsenergie auf die kosmische Dynamik der daran beteiligten kosmischen Materie auswirkt. Um eine Vorstellung davon zu gewinnen, reicht es, sich eine ein-dimensionale, unidirektionale Materieströmung vorzustellen mit einer Strömungsgeschwindigkeit  $U$ , sozusagen als simple Repräsentation des kosmischen Hubbleflusses mit der Geschwindigkeit  $\dot{R} = H \cdot R$ , wo  $H$  die bekannte *Hubble Konstante* darstellt (meist angegeben in Einheiten von  $100 \text{ km/s/Mpc}$ ). Für diese eindimensionale Repräsentation der kosmischen Strömung können nun auf einleuchtende Weise die folgenden Erhaltungsgleichungen für den Massenfluß, den Impulsfluß, und den Energiefluß aufgestellt werden

$$\rho U = \Phi_1 \tag{48}$$

$$\rho \left( \dot{U} + U \frac{d}{dz} U \right) = \gamma \tag{49}$$

$$\rho U \left( \frac{U^2}{2} + \bar{\epsilon}_{pot} \right) = \Phi_2 \tag{50}$$

Hier bedeuten  $\Phi_1$  und  $\Phi_2$  den jeweils konstanten Massen- bzw. Energie-Fluß,  $U$  bezeichnet die Strömungsgeschwindigkeit, und die Größe  $\bar{\epsilon}_{pot} = \epsilon_{pot} / (4\pi \rho l_m^3 / 3)$  gibt die potentielle Energie pro Masse an. Zusätzlich tritt in den Gleichungen eine unbekannte Größe  $\gamma$  auf, welche die Kraft pro Volumeneinheit darstellen soll, die auf ein Strömungssystem aufgrund der Erhaltungsforderungen einwirken muß, wenn die Bindungsenergie sich im System ändert.

Wenn wir im folgenden explizite Zeitabhängigkeiten ausschließen wollen (also  $\dot{U} = 0!$  annehmen) und also nur konvektive Veränderungen  $dU/dz$  von  $U$  in der Strömungsrichtung  $\vec{z}/z$  zulassen, so kann man aus der ersten und der dritten der obigen Gleichungen die folgende Beziehung ableiten

$$\left(\frac{U^2}{2} + \bar{\epsilon}_{pot}\right) = \Phi_2/\Phi_1 = const \quad (51)$$

welche nach Differenzierung bezüglich der Stromlinienkoordinate  $z$  zu folgender Aussage führt

$$\frac{d}{dz} \left(\frac{U^2}{2} + \bar{\epsilon}_{pot}\right) = \frac{\gamma}{\rho} - \frac{d}{dz} \left[ \frac{(4\pi)(3-\alpha)}{3(5-2\alpha)} G\bar{\rho}l_m^2 \right] = 0 \quad (52)$$

Wenn man nun das Voranschreiten der Strukturbildung entlang der Bewegung auf kosmischen Geodäten als Veränderung der Bindungsenergie, also über  $\alpha = \alpha(t)$ , im Laufe der kosmischen Zeit auffaßt, dann läßt sich aus der obigen Gleichung folgendes interessante Resultat ableiten

$$\frac{\gamma}{\rho} = \frac{d}{dz} \left[ -\frac{(4\pi)(3-\alpha)}{3(5-2\alpha)} G\bar{\rho}l_m^2 \right] = \frac{4\pi}{3} G\bar{\rho}l_m^2 \frac{1}{(5-2\alpha)^2} \frac{d\alpha}{dz} \quad (53)$$

Diese Beziehung drückt die Tatsache aus, daß für Werte des Strukturparameters  $\alpha(t)$  größer als  $\alpha \geq 1.5$  ein weiteres Anwachsen dieses Parameters zu einer positiven Kraft  $\gamma$  führt, also einer Kraft, die die kosmische Strömung beschleunigt, demnach also wirkt, wie der Druck der Vakuumenergie auch.

Das deutet aber klar an, daß die fortschreitende Strukturierung der Materie im Kosmos beschrieben durch einen wachsenden Strukturparameter  $\alpha$  sich in einem Hubblestrom wie eine Beschleunigung desselben auswirkt. Die Analogie zum expandierenden Universum läßt sich sogar noch eklatanter formulieren, wenn man sich klarmacht, daß die kosmische Expansion  $\dot{R}$  mit der oben benutzten Strömungsgeschwindigkeit  $U$  leicht identifiziert werden kann, und man sodann folgendes Resultat erhält

$$U \frac{d}{dz} U = \dot{R} \frac{d}{dR} \dot{R} = \ddot{R} = \gamma/\rho = \frac{4\pi}{3} G\bar{\rho}l_m^2 \frac{1}{(5-2\alpha)^2} \frac{d\alpha}{dz} \quad (54)$$

Wie aus obiger Beziehung nun direkt erkennbar wird, ergibt sich hier als Folge fortlaufender Strukturierung, daß für  $\alpha \geq 1.5$  bei wachsenden Werten von  $\alpha$  eine beschleunigte Expansion des Universums hervorgeht. Diese läßt auch die folgende Formulierung zu, wie sie in der Kosmologie standardmäßig verwendet wird (siehe Definition von e.g. Goenner, 1997)

$$q(t) = -\frac{R\ddot{R}}{\dot{R}^2} = -\frac{4\pi}{3} \frac{R}{\dot{R}^3} G\bar{\rho}l_m^2 \frac{1}{(5-2\alpha)^2} \frac{d\alpha}{dt} \quad (55)$$

Hieraus ergibt sich ein klarer Hinweis, daß die Veränderung des gravitativen Bindungszustandes der kosmischen Materie bei der Expansion Einfluß auf die Expansionsgeschwindigkeit des Universums nimmt, und, wenn alle anderen Einflüsse vergleichsweise gering sind, dann sorgt ein wachsendes  $\alpha$  für eine beschleunigte Expansion, wie sie Perlmutter et al. (1999) aufgrund von Magnitudenbeobachtungen an entfernten Supernovae gefordert haben.

### 3.10 Korrelationsindex und Domänengrenze

Über die Forderung, daß bei der sich vollziehenden Umverteilung der Masse die Gesamtmasse nicht verändert werden soll, er gibt sich ein zwangsläufiger Zusammenhang von Korrelationsindex und zugehöriger Domänengrenze. Wir wollen deshalb hier herausfinden, welche Veränderung des Korrelationsindex  $\alpha$  mit welcher Veränderung der Domänengrenze  $l_m$  der Strukturhierarchie zusammenhängt, und gehen zu diesem Zwecke zurück auf die früher bereits angegebene Dichteverteilung in einem strukturierten Universum

$$\rho = \bar{\rho} \frac{3 - \alpha}{3} \left(\frac{l}{l_m}\right)^{-\alpha} \quad (56)$$

wo  $l_m$  als die Domänengrenze definiert wurde.

Nun fragen wir uns nach einer Dichteänderung durch Änderung von  $\alpha$  und einer gleichartigen Dichteänderung herbeigeführt durch Änderung von  $l_m$ . Das läuft ersichtlich dann auf die folgende Forderung hinaus

$$\left| \frac{\partial \rho}{\partial \alpha} \right|_{l_m} d\alpha = \left| \frac{\partial \rho}{\partial l_m} \right|_{\alpha} dl_m \quad (57)$$



**AOK**  
Die Gesundheitskasse.

**AOK-Liveonline – Powerstart für die Zukunft**

Entdecken Sie die innovativen LIVEONLINE Vorträge der AOK. Wir bieten drei Themenfelder: Strategische Karriereplanung, Überzeugen im Auswahlverfahren sowie Study-Life-Balance. Jetzt schnell anmelden unter:

Gesundheit in besten Händen [aok-on.de/nordost/studierende](https://aok-on.de/nordost/studierende)

AOK Studenten-Service



Nach kurzen Umrechnungen führt dies dann auf folgenden Zusammenhang

$$\frac{d\alpha}{dl_m} = \frac{\alpha(\alpha - 3)}{1 + (3 - \alpha) \ln \alpha} \frac{1}{l_m} \quad (58)$$

und zeigt, daß eine zeitliche Änderung von  $\alpha$  mit einer zugeordneten, zeitlichen Änderung von  $l_m$  gemäß folgender Beziehung zusammenhängt

$$\frac{1 + (3 - \alpha) \ln \alpha}{\alpha(\alpha - 3)} \frac{d\alpha}{dt} = \frac{d \ln l_m}{dt} \quad (59)$$

woraus sich die Domänengrenze als Funktion des Strukturparameters wie folgt ergibt

$$l_m = l_{m0} \exp\left[\int_0^\alpha \frac{1 + (3 - \alpha) \ln \alpha}{(\alpha - 3)\alpha} d\alpha\right] \quad (60)$$

Wüßte man also die zeitliche Veränderung von entweder  $\alpha$  oder  $l_m$ , so ließe sich die zeitliche Veränderung der Dichteverteilung und damit der potentiellen Energie vollkommen als Funktion der Zeit ausdrücken. Eine Möglichkeit bietet sich hier an, nämlich die Ergebnisse von Fahr und Siewert (2008) zu benutzen, in denen die Evolution der Domänenskala  $l_m$  als Funktion der Evolution der kosmischen Skala  $R = R(t)$  hergeleitet worden ist. Hieraus läßt sich dann das folgende Ergebnis gewinnen

$$\frac{1}{l_m} \frac{dl_m}{dt} = \pm \sqrt{\frac{1}{2} \left( \frac{\ddot{R}}{R} + \frac{\ddot{R}_{rec}}{R_{rec}} \right)} \quad (61)$$

Diese Beziehung erlaubt nun die folgende Beziehung zu gewinnen

$$\frac{d\alpha}{dt} = \frac{\alpha(\alpha - 3)}{1 + (3 - \alpha) \ln \alpha} \sqrt{\frac{1}{2} \left( \frac{\ddot{R}}{R} + \frac{\ddot{R}_{rec}}{R_{rec}} \right)} \quad (62)$$

Über einige etwas komplizierte Überlegungen bezüglich der Domänengrenze  $l_m \leq R$  zum Zeitpunkt homogener Dichteverteilung im Kosmos gewinnen Fahr and Sokaliwska (2012) sodann schließlich eine geschlossene Beziehung zwischen  $l_m$  und  $\alpha$  in folgender Form:

$$l_m = R \cdot \exp\left[-\int_{\alpha_0}^\alpha \frac{d\beta}{(3 - \beta)\beta}\right] = R \cdot \left(\frac{3 - \alpha_0}{3 - \alpha}\right)^{-1/3} \quad (63)$$

Fahr and Sokaliwska (2012) schauen sich auf der Basis dieses Ergebnisses an, welche kosmische Beschleunigung aufgrund von Perlmutter's Beobachtungen gefordert werden muß, und wollen damit vergleichen, welche Beschleunigung sich aus dem oben errechneten Strukturschub ergeben würde. Zunächst zeigt sich, daß die von Perlmutter geforderte kosmische Beschleunigung in Verbindung mit einem Wert für  $\Omega_\Lambda = \rho_{vac}/\rho_c = 0.73$  sich zu folgendem Wert errechnet:

$$\left(\frac{\ddot{R}}{R}\right)_\Lambda = -\Omega_\Lambda H_0^2 = -0.73 \cdot H_0^2 \simeq 10^{-36} \text{ sec}^{-2} \quad (64)$$

wobei  $H_0 = 71(\text{km/s/Mpc})$  die heutige Hubble-Konstante bezeichnet.

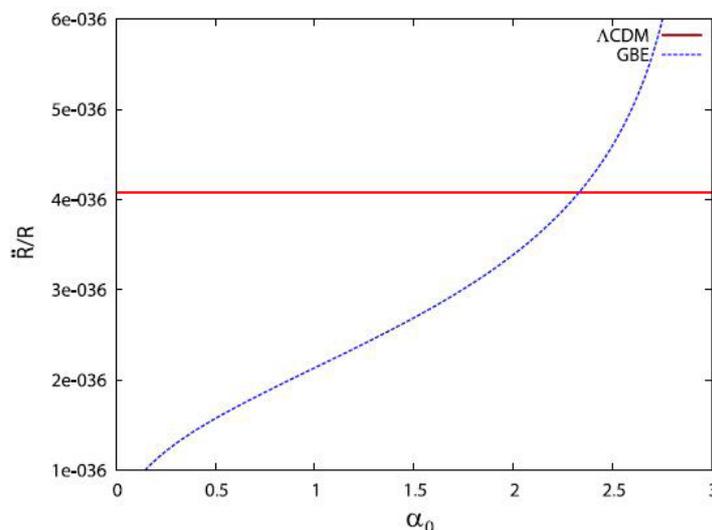
Sodann läßt sich von der in Fahr and Sokaliwska (2012) abgeleiteten Formel für die durch Materiestrukturierung resultierende kosmische Beschleunigung  $(\frac{\ddot{R}}{R})_\alpha$  der folgende Ausdruck gewinnen

$$\left(\frac{\ddot{R}}{R}\right)_\alpha = 4\pi G \bar{\rho}_0 \left[ \left(\frac{3-\alpha_0}{3-\alpha}\right)^\alpha \right]^{-2/3} \frac{(3-\alpha)^2 \alpha_0}{3(3-\alpha_0)(5-2\alpha)^2} \quad (65)$$

Hierbei bezeichnet  $G$  die Gravitationskonstante,  $\bar{\rho}_0 = 10^{-31} g/cm^3$  die heutige mittlere kosmische Materiedichte, und  $\alpha_0$  den Wert des anfänglichen Strukturparameters zu Beginn der Materieverklumpung. Es läßt sich dann zeigen, daß abhängig vom genauen Wert von  $\alpha_0$  der Wert der errechneten Beschleunigung  $(\frac{\ddot{R}}{R})_\alpha$  sich als praktisch identisch zu dem von Perlmutter geforderten Wert  $(\frac{\ddot{R}}{R})_\Lambda$  erweist, wie explizit in nachfolgender Abbildung gezeigt werden kann.

### 3.11 Eigenschaften der Leere und der Materie

Schon seit geraumer Zeit, sicherlich seit 1970, hat man damit begonnen, mit Hilfe aufwendigster Hochenergieexperimente an gigantischen Beschleunigermaschinen der materielle Mikronatur auf den Grund zu gehen, um zu erfahren, was der Materie überhaupt Festigkeit verschafft. Das Zeitalter der materiellen Nanoskopie ist angebrochen. Man will also Natur der Materie in ihren mikroskopischsten Erscheinungsformen systematisch auf ihre intimsten Geheimnisse hin zu durchleuchten. So hat man zum Beispiel mit dem Deutschen Elektronensynchrotron DESY bei Hamburg oder dem Hochenergiekreisbeschleuniger CERN bei Genf (Centre Europeen de Recherche Nucleaire) über dort möglich werdende, provozierte Hochenergieereignisse wahre Unmengen an Kenndaten der mikroskopischen Materiestrukturen aus der subatomistischen Welt in Erfahrung bringen können. Diese verschiedenen Daten charakterisieren die mikroskopischste Natur der Materie, die Welt also weit unterhalb der dem normalen Menschen vorgegebenen Wahrnehmungsschwelle, sozusagen die tiefste Ebene der Realität überhaupt.



**Abbildung 11:** Gezeigt ist die Abhängigkeit von  $\left(\frac{\ddot{R}}{R}\right)_\alpha$  vom Strukturindex  $\alpha_0$ , für  $l_m = R$ . Die Kurve repräsentiert diese Abhängigkeit im Fall der Gravitations-Bindungsenergie. Die horizontale Linie kennzeichnet den aktuellen Wert für  $\Lambda$  CDM. Offensichtlich liegen beide Modelle in dem selben Größenordnungsbereich

Diese so gewonnenen Daten aus der materiellen Nanonatur erschienen langezeit als völlig unübersichtlich, ungereimt und ohne erkennbare, übergeordnete Ordnung angelegt, bis der in Genf forschende Physiker Gabriel Veneziano feststellte, daß sich alle bis dahin gewonnenen Kenndaten der Materie aus gewissen, allerdings komplizierten, mathematischen Funktionen gewinnen lassen (siehe dazu auch Greene, 2000), so ähnlich wie die Werte der Planetenabstände aus der Titius-Bode-Formel. Mühsam gemessene Eigenschaften lassen sich demnach mit Hilfe von speziellen Funktionen, den sogenannten Euler'schen Beta-Funktionen  $\beta(x, y)$ , darstellen, die an sich eigentlich lediglich so etwas wie die Eigenschwingungsmoden von zweidimensionalen Membranen in einer  $x - y$ - Koordinatenebene darzustellen vermögen und einfach gegeben sind durch mathematische Ausdrücke der Form:

$$\beta(x, y) = \int_0^1 t^{(x-1)}(1-t)^{(y-1)} dt \quad (66)$$

Wenn nun aber solche Eigenschwingungsmoden tatsächlich etwas mit den Eigenschaften der Nanomaterie zu tun haben sollen, so wirft dies die Frage auf, warum denn so völlig mystisch erscheinende Abbildungen der Nanonatur auf Schwingungsmoden möglich zu sein scheinen. Was soll es aber besagen, wenn man Eigenschaften der Nanomaterie gleichsam wie die Eigenschwingungen einer Membran beschreiben kann? Sollte das vielleicht zu bedeuten haben, daß wir bei den tiefsten Strukturträgern der Materie letztlich auf nichts anderes als auf schwingungsfähige Elementarmembranen stoßen, deren Eigenschaften sich einfach als ihre Eigenschwingungsmoden darstellen?

**Gemeinsam nachhaltig zum Erfolg.**

Denn bei der REWE Group, einem der führenden Handels- und Touristikkonzerne Europas, ist Bewegung drin. Dafür sorgen unsere ca. 330.000 Mitarbeiter Tag für Tag: Sie liefern Tonnen von Waren, schicken Urlauber zu fernen Zielen oder verhandeln die günstigsten Preise. Sie halten die Welt am Laufen. Werden Sie Teil einer großen Gemeinschaft, die Großes bewirkt. Freuen Sie sich auf die Zusammenarbeit mit sympathischen Kollegen auf internationaler Ebene und erleben Sie, was Sie in unserer vielfältigen Marken- und Arbeitswelt bewegen können. Und durch individuelle Förderung bewegt sich auch Ihre Karriere, wohin immer Sie wollen.

**Was bewegen Sie?**

[www.rewe-group.com/karriere](http://www.rewe-group.com/karriere)  
[www.facebook.com/REWEGroupKarriere](https://www.facebook.com/REWEGroupKarriere)

**Du bewegst.**

330.000 **Mitarbeiter**  
523 **Berufe**  
1 **Zukunft**

**REWE** GROUP

REWE nahkauf PENNY toom! DER BAUMARKT BILLA MERKUR BIPA DER Touristik



Schon immer in den Zeiten der Naturwissenschaft wurde ja eine neu erreichte mathematische Schönheit in einer Theorie als wegweisendes Zeichen zur Erlangung tieferer Einsichten in der Erkenntnis des Reellen gewertet, und so scheint auch der Gedanke extrem verlockend, die gesamte Realität samt ihrer Erscheinungsvielfalt als aufgebaut aus schwingungsfähigen Urelementen zu denken, deren diskrete Eigenschwingungen allein ihre jeweils gegebenen Grundeigenschaften bestimmen. Versucht man, sich die Eigenschaften der Materie als Eigenschwingungsmoden eines schwingungsfähigen Elementargebildes vorzustellen, so verfällt man dabei zunächst auf die Idee von „strings“, also von Elementarfäden analog dem Leitbild gegeben durch die Saiten einer Violine. Von letzteren weiß man, daß sie zu unterschiedlichen Eigenschwingungen und deren Oberschwingungen durch den Violinbogen anregbar sind. Schwingungsfähig ist eine Violinsaite also nur für ihre vorgegebenen Eigenschwingungen, deren Schwingungsknoten auf der Länge der Saite gerade so angelegt sind, daß zwei davon, nämlich die beiden äußeren, gerade in die festen Einspannpunkte der Saite auf den Violinkämmen zu liegen kommen. Andere Schwingungen, bei denen ein Schwingungsbauch an ein fest eingespanntes Saitenende zu liegen käme, sind nicht existenzfähig und werden daher unmittelbar nach ihrer Erzeugung schnell wieder ausgedämpft.

Generell schwingt nun, je nach Stärke der Anregung durch den Violinbogen, die Violinsaite in einer Überlagerung von all diesen zuerst erwähnten, auf ihr möglichen Eigenschwingungen und erzeugt dabei den von ihr durch unser Ohr wahrgenommenen Ton. Man könnte also sagen, der Ton als makroweltliche Realitätserscheinung sei einfach das Abbild der Eigenschaft der Violinsaite, also erstellt von den möglichen Eigenschwingungen dieser Saite. Während nun aber die Violinsaite an zwei Punkten fest eingespannt ist, kann man sich „strings“ als naturelementare, schwingungsfähige Energiefäden schwerlich zwischen zwei festen Punkten der freien Natur eingespannt vorstellen. Wenn aber keine solchen, festen Einspannpunkte für Naturfäden denkbar scheinen, so muß man fragen, wie dann diskrete Eigenschwingungen oder Zustandsquantisierungen solch freier Fäden vorstellbar sein sollen, ohne die ja schließlich keine definiten Eigenschaften dieser Elementarfäden erklärt werden könnten. Dies legt, wie schon seinerzeit bei den Kekuléschen Benzolringen, dann auch hier die Idee nahe, sich als Elementarfäden so etwas wie in sich selbst geschlossene Fäden, Kreisschleifen oder vielleicht so etwas wie Ringe, vorzustellen. Diese wären dann ja auch wieder dadurch ausgezeichnet, daß nur eine ganze Zahl von Wellenbergen und Wellentälern auf ihre geschlossene Länge oder eben auf den Kreisumfang passen würden.

Alle anderen Schwingungsformen könnten nicht in der Zeit stabil bleiben, sondern müssten sich in stabile Moden mit den vorgenannten Eigenschaften umwandeln und dabei sich selbst auslöschen. Die Eigenschaften der Teilchenwelt verstünden sich somit als die verschiedenen stabilen Schwingungsmoden der Elementarringe. Die materielle Welt über dieser Grundebene der Realität manifestierte sich dann einfach als eine Welt der schwingenden Elementarringe. Hierbei kann man sich gewisse bekannte Materieeigenschaften als Folge von Schwingungen und Oberschwingungen in der Ebene des Ringes vorstellen, andere aber auch als Folge von Schwingungen in der dazu senkrechten Ebene. Auf diese Weise könnten also alle bekannten Eigenschaften wie die Masse, die Ladung, der Spin und das magnetische Moment von Teilchen sich als Folge solcher möglichen Grundschwingungen verstehen lassen.

Das Bild der Materie auf ihren tiefsten nanoskopischsten Ebenen betrachtet, wäre also genau wie das bereits von der Standardtheorie der Elementarteilchen vorgesehene: Es liefe darauf hinaus, die Welt auf elementarste Bausteine wie die Leptonen, – also Elektronen, Müonen und Tauonen, deren Neutrinos, und die verschiedenen Quarks zurückzuführen, die ihrerseits zum Beispiel so bekannte Teilchen wie das Proton und das Neutron konstituieren. Allerdings wären die Eigenschaften dieser so grundverschiedenen „elementarsten“ Grundbausteine nun damit erklärt, daß selbige jeweils einen „string“, oder einen schwingenden Ring, repräsentieren, der jeweils speziell in unterschiedlichen Eigenschwingungen, aber auch nur in diesen, angeregt erscheinen kann; die gesamte materielle Welterscheinung wäre demnach nichts als die „Musik solcher Strings“, eine auf tiefster Ebene bereits groß angelegte Symphonie der Natur!

Nach diesen Vorstellungen sind Elementarteilchen, wie bisher immer gedacht, nicht punktförmige Raumsingularitäten, sozusagen punktförmige Defekte in der leeren Raumzeit, sondern es wären Gebilde, die eine Ausdehnung in Form einer fadenförmigen Schlaufe oder eines Ringes, oder seit neuestem sogar in Form einer zweidimensionalen Membran besitzen. Mit diesen Ansätzen bei der Beschreibung von Elementarteilchen vermeidet man das seit längerem erkannte Problem einer divergenten Selbstenergie punktförmiger Teilchen. Wenn man nämlich mit den Mitteln der Quantenfeldtheorie die Wechselwirkungsenergie singulärer Teilchen mit den Vakuumfluktuationen in ihrer Umgebung ausrechnet, so ergibt sich eine mit kleiner werdendem Punktradius  $r$  des Teilchens divergierende Selbstenergie  $E_S$  in der Form:

$$E_S \approx \frac{e^2}{h} mc \ln\left(\frac{h}{mcr}\right) \quad (67)$$

wenn  $e, m, h, c$  die elektrische Elementarladung, die Teilchenmasse, die Plancksche Wirkungs-Konstante, und die Lichtgeschwindigkeit bedeuten. Man sieht, daß die Selbstenergie eines solchen punktförmigen Teilchens logarithmisch mit  $(\frac{1}{r})$  über alle Grenzen wächst, wenn der Teilchenradius  $r$  gegen Null geht. Das sollte grundsätzlich verbieten, daß die Natur überhaupt punktförmige Teilchen erzeugt.

Dieses grundsätzliche Verständnisproblem bezüglich punktförmiger Elementarteilchen behebt sich auf elegante Weise, wenn die Teilchen als eindimensional oder gar zweidimensional ausgedehnte Gebilde, also als Ringe oder Membranen, vorgestellt werden. So phantastisch dieses Konzept der Welt anmuten mag und so perfekt es dem Ziel eines maximal reduktionistischen Weltbildes dient, so betrüblich sind aber andererseits doch einige Eigenschaften dieser Elementarfäden, ohne die deren Eigenschwingungen nicht zu der erkannten Eigenschaftswelt der Nanomaterie passen würden. Dazu nämlich, daß sie in gewünschter Weise schwingen können, müssen diese Elementarringe selbst bestimmte Grundeigenschaften wie eine geeignete Eigenmasse, Eigenlänge und Eigenspannung mitbringen. Die Eigenmasse dieser Ringe muß nämlich gleich der allein aus Naturkonstanten gebildeten, immensen Planckmasse  $M_P$  sein, oder gleich deren Energieäquivalent:  $E_P = M_P c^2 = \sqrt{hc/2\pi G} = 10^{19} GeV$  sein. Die Eigenlänge sollte zudem gleich der Minimallänge der Natur, der kleinsten Längendimension, die überhaupt mit Sinn definiert werden kann, der sogenannten Plancklänge  $L_P = hc/E_P = 10^{-33} cm$  sein, und schließlich die Zugspannung auf dem Elementarfaden sollte so immens groß sein, daß sie dem Gewicht einer Masse von  $10^{39}$  Tonnen im Erdschwerefeld das Gleichgewicht halten könnte (siehe Greene, 2000). Nur dann sähe man also eine Chance, die bekannten Elementarteilcheneigenschaften durch die Schwingungsformen solcher Fäden zu erklären.

 Bundesnachrichtendienst

einzigartige **Ideen**  
einzigartige **Vielfalt**

**Sie sind einzigartig? Wir auch!**

einzigartige **Lösungen**  
einzigartiger **Auftrag**  
einzigartiger **Arbeitgeber**

**Wir suchen**  
**Ingenieure/innen der Elektro- und Informationstechnik**  
**Informatiker/innen**  
mit den Abschlüssen **FH/Bachelor**

Mehr Informationen zum Thema Karriere beim BND unter  
[\*\*www.bundesnachrichtendienst.de \(Karriere\)\*\*](http://www.bundesnachrichtendienst.de (Karriere))



Das zeigt, welche utopisch erscheinenden Extremforderungen mit einem solchen, maximal reduktionistischen Stringkonzept der Natur verbunden sind, so daß die gebotene Erklärungsleistung dadurch auch wieder ein wenig fragwürdig erscheint. Natürlich hat dies auch die kleine Schar von theoretischen Physikern erkannt, die an diesem revolutionär vereinheitlichenden Weltbild beteiligt waren. Inzwischen hat man sich einen Ausweg aus dem primären Stringkonzept überlegt mit weniger abstoßenden Eigenschaftsforderungen. Es war schon in den Jahren zwischen 1990 und 1995 als ein beklemmendes Problem der neuesten 4-dimensionalen Superstringtheorien aufgefallen, daß es offensichtlich fünf verschiedene, jeweils in sich konsistente Möglichkeiten gibt, diese Superstrings zu quantisieren, um die Teilcheneigenschaften als quantisierte Eigenzustände daraus hervortreten zu lassen. Warum, so mußte man sich angesichts dieses betrüblichen Umstandes also fragen, gibt es für diese fundamentalste Realitätsebene nicht nur eine, einzigartige Theorie, sondern konkurrierend zueinander, gleich deren fünf? Diese Frage glaubte man in den Jahren nach 1995 ahnungsweise beantworten zu können, weil sich abzeichnete, daß die gesuchte fundamental einzigartige Theorie erst wirklich vollgültig aus einer elf-dimensionalen Membranphysik hervorgeht, während die miteinander konkurrierenden vierdimensionalen Superstringtheorien nur niedrigdimensionale Manifestationen dieser übergeordneten gemeinsamen Theorie darstellen. Um ein solches Stringkonzept in elfdimensionalen Welten durchführen zu können, müssen die Strings jedoch als 11-dimensionale Fäden in der Raumzeit gedacht werden. Erst dann gewinnt man genügend Freiheiten, die es einem erlauben, die dann auf solchen, 11-dimensionalen Strings möglichen Eigenschwingungen mit den in der Normalwelt bekannten Teilcheneigenschaften vollkongruent zur Deckung bringen zu können. Man muß sich allerdings danach fragen, wie man mit 11-dimensionalen Gebilden als Erklärung einer materiellen Welt von nur drei Raumdimensionen und einer Zeitdimension leben soll.

### 3.12 Re-homogenisierte Welten erscheinen beschleunigt

Ein weiterer, sehr bemerkenswerter Punkt, der auch mit der Strukturhaftigkeit der kosmischen Materieverteilung zu tun hat, soll hier außerdem noch angesprochen werden. Auch durch diesen jetzt zu besprechenden, auffälligen Befund drückt sich nämlich aus, daß zumindest ein wesentlicher Teil dessen, was heute als die Wirkung der kosmischen Vakuumenergie angesprochen wird, im Grunde wohl eher eine Erscheinungsform kosmischer Bindungsenergie ist. Dieser Punkt hängt zusammen mit der Tatsache, daß die heutige Kosmologie, so wie sie von ihrer Konzeption her angelegt ist, eigentlich eine „Weltverfehlung“ darstellt, denn sie beschreibt ja die Welt als eine homogene Energie- und Massenerscheinung, während die wahre Welt vor den Augen der Astronomen aber doch gerade alles andere als homogen, vielmehr hoch strukturiert, vielleicht sogar fraktal strukturiert, ist.

Diesem Umstand versucht man nun interessanterweise neuerdings, nach langer Vergessenheit, wieder stärker gerecht zu werden. Einige Kosmologen (siehe etwa Zalaletdinov, 1992, Buchert, 2000, 2005, 2006, Wiltshire, 2007) haben sich nunmehr Gedanken dazu gemacht, wie eine strukturierte Welt im Vergleich zu einer bei gleichem Materieinhalt homogenen Welt expandieren sollte. Wiltshire (2007) versucht so zum Beispiel zu diesem Zwecke ein Zwei-Phasen Universum zu beschreiben, in dem die kosmische Materie nur in einer von zwei unterschiedlichen Dichtephase auftritt, entweder nämlich in Form von Leerräumen (Voids) oder in Form von Wänden (Walls). Ein solches Universum versucht er sodann durch Füllfaktoren zu beschreiben, die den Volumenproporz angeben, in dem Wände bzw. Leerräume im Kosmos auftreten. Es stellt sich dann in einer auf solche Materiedomänen angelegten, gemittelten Allgemeinen Relativitätstheorie heraus, daß diese materiell und eigengravitatorisch unterschiedlichen Bereiche nicht homolog, sondern interessanterweise un-homolog, das heißt Wände und Leerräume differenziell zueinander, expandieren. Und zwar expandieren die Leerräume schneller als die Wände. Das hat zur Folge, daß der Füllfaktor  $f_v$  der Leerräume gegenüber demjenigen  $f_w$  der Wände ständig mit der Zeit anwächst (siehe auch Abbildung...).

Überraschenderweise mitteln sich diese unterschiedlichen Expansionen über entsprechend großen Skalen nicht zu einer mittleren Expansion weg, die dann einfach die Expansion des homogenisierten Kosmos beschreiben würde. Der strukturierte Kosmos expandiert, auch gemittelt über alle Bereiche von kosmischen Wänden und Leerräumen qualitativ und quantitativ anders als der daraus zurückgewonnene, re-homogenisierte Kosmos. Räumliche und zeitliche Mittelungen können nämlich in der Allgemeinen Relativitätstheorie nicht miteinander vertauscht werden, sondern bei der Homogenisierung ergeben sich aus nicht-kommutierenden, aufeinanderfolgenden Zeit- und Raummittelungen sog. Rückreaktionsterme  $Q$  der kosmischen Strukturiertheit. Wesentlichstes Ergebnis dieser Untersuchungen ist es, erkennbar zu machen, daß diese für das Zwei-Phasen Universum ermittelten Rückreaktionsterme  $Q_{II}$  in einem homogenisierten Kosmos eine zur kosmischen Vakuumenergie analoge Wirkung beschreiben, indem sie nämlich unter entsprechenden Füllfaktorproporzen, die sich zwangsläufig im Fortgang der Entwicklung einstellen, so etwas wie eine kosmische Inflation beschreiben, wie sie nach heute üblichem Verständnis nur von positivwertiger Vakuumenergiedichte ausgelöst wird.

In dem von Wiltshire (2007) behandelten Universum gibt es aber überhaupt keine Vakuumenergie, das heißt, sie kommt in den verwendeten Gleichungen nirgendwo explizit vor, und dennoch ergibt sich über die metrisch-gravitative Wirkung der Strukturiertheit der Materie in diesem Universum eine zeitweise beschleunigte Expansion, dann nämlich, wenn der Dezelerationsparameter "q", der durch den Füllfaktor  $f_v$  bestimmt wird, positiv wird. Das aber ist hier der Fall nach Erreichen eines kritischen Wertes des Füllfaktors von  $f_v \geq 0.67$ . Wieder erkennt man an diessen Ergebnissen, daß bei Verringerung der gravitativen Gebundenheit der strukturierten Materie in einem solchen Kosmos, also bei Verschwinden der Massierung von Massen in den Wänden, so etwas wie die Wirkung einer Vakuumenergiedichte ins Spiel kommt.

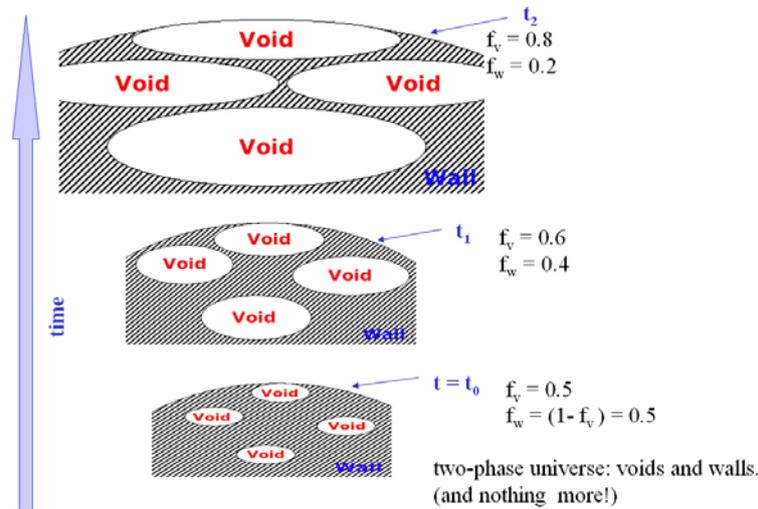


Abbildung 12: Kosmische Expansion des Zwei-Phasen Universums.



**CAREER Venture**  
eine Marke von MSW & Partner

facebook.com/CareerVenture  
google.com/+Career-VentureDe  
twitter.com/CareerVenture



## Haben Sie Potenzial?



**women fall**  
in Kooperation mit Jobguide  
30. November/01. Dezember 2015 Seeheim  
Bewerbungsschluss: 01.11.2015

Auszug unserer Referenzen:



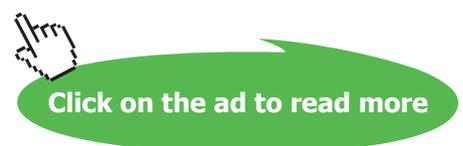








career-venture.de



Überraschend ist hierbei allerdings, daß bei Erreichen eines reinen Void-Universums (das heißt: es gibt praktisch nur noch Leerräume!; wenn also  $f_v \rightarrow 1!$ ) der Dezelerationsparameter sowie die Wirkung der „Pseudovakuumenergie“ wieder völlig verschwinden ( $q(f_v \rightarrow 1) \rightarrow 0$ ), der Kosmos sollte also hiernach asymptotisch in eine gleichförmige, nicht beschleunigte Expansion übergehen. Ein solcher Kosmos würde sich demnach gründlich von einem mit konstanter Vakuumenergie unterscheiden, denn letzterer sollte schließlich in jedem Falle in alle Ewigkeit hin beschleunigt expandieren. Für die kosmologische Platzierung der entferntesten Supernovae anbelangt, die ja bisher eines der stärksten Indizien für die Existenz eines derzeit durch die Wirkung von Vakuumenergie beschleunigt expandierenden Universums war (siehe Perlmutter et al., 2003), so kann festgestellt werden, daß Wiltshire's Universum diesbezüglich eine völlig ebenbürtige Erklärung liefern kann – jedoch ganz ohne irgendeine Form von Vakuumenergie bemühen zu müssen!

### 3.13 Wie unterscheiden sich das leere und das materieerfüllte Vakuum?

Langezeit hat man sich gefragt, warum das Vakuum eigentlich überhaupt gravitiert. Warum übt es Schwere aus? Wenn man allerdings dem Vakuum, wie in neuerer Zeit üblich, eine Energiedichte zubilligt, so sollte dieses Vakuum, wie alle anderen Energiedepositionen im All auch, auch zum Gravitationsfeld, d.h. zur Raumzeitgeometrie, beitragen.

Ganz und gar nicht-trivial ist allerdings jetzt die Frage, wie die Wirkung des Vakuums im Falle eines materiehaltigen Universums beschrieben werden soll, wenn von keinerlei Aprioriforderungen an den Raumzustand des Systems ausgegangen werden kann und auch nicht einfach angenommen werden darf, daß die Vakuumenergiedichte des materieerfüllten Universums genauso groß ist wie die des leeren Raumes. Materie polarisiert das Vakuum und die durch diese Polarisierung realisierte Vakuumenergiedichte mag durchaus von der des leeren Raumes verschieden sein.

Hier mag man sich nur einmal vor Augen halten, wozu es in der Vergangenheit und Zukunft unseres Kosmos geführt haben muß oder führen wird, wenn die für die Jetztzeit gefundenen Werte für Vakuumenergiedichte und Materieenergiedichte mit  $\Omega_\Lambda = 0.75$  und  $\Omega_M = 0.23$  markiert sind. In naher Zukunft herrschen dann nämlich, wenn man von einer konstanten Vakuumenergiedichte ausgeht, die Werte  $\Omega_\Lambda = 1.0$  und  $\Omega_M = 0$  vor, während in der zurückliegenden Vergangenheit die Werte  $\Omega_\Lambda = 0$  und  $\Omega_M = 1$  Gültigkeit gehabt haben müssen. In der Vergangenheit hätte es danach praktisch überhaupt keine Vakuumenergie gegeben, während in naher Zukunft dann überhaupt nur noch Vakuumenergie den Kosmos beherrschen würde. Das heißt, es erschiene als ein absolut „anthropischer Zufall“, daß wir gerade in „unseren kosmischen Zeiten“ beide Energieformen in etwa gleichteilig am Geschehen des Kosmos beteiligt sehen. Und mit solchen anthropischen Zufällen gerade mag man in der sonst so rational angelegten Naturwissenschaft ja nur ungerne zu tun bekommen.

Der einzige Weg, diesen anthropischen Zufall auf eine rational vorgegebene strenge Vorgegebenheit im Kosmos zurückzuführen, bestünde darin zu beweisen, daß Vakuumenergiedichte und Materieenergiedichte einen über alle kosmischen Zeiten hinweg konstanten Proporz unterhalten. Die Gründe dafür müßten allerdings erst gefunden werden. Und sie können in der Tat vielleicht gefunden werden, wie im Folgenden noch gezeigt werden soll.

Fragen wir uns aber nun weiterhin, wie Vakuumenergie eigentlich formuliert werden sollte, wenn sie ein gültiges Analogon zur effektiven Materieerzeugung im Kosmos und zur gravitativen kosmischen Bindungsenergie darstellen können soll. Langezeit hat man sich gefragt, warum das Vakuum eigentlich überhaupt gravitiert. Warum übt es Schwere aus? Wenn man allerdings dem Vakuum, wie in neuerer Zeit üblich, eine Energiedichte zubilligt, so sollte dieses Vakuum, wie alle anderen Energiedepositionen im All auch, im Prinzip auch zum Gravitationsfeld, d.h. zur Raumzeitgeometrie, beitragen. Die Frage ist aber: Wie?

Die allgemein-relativistische Wirkung des Vakuums wird heute üblicherweise über einen geeignet formulierten Energie-Impuls Tensor  $T_{\mu\nu}^{Vac}$  des Vakuums in die Feldgleichungen eingebracht. Für letzteren dienen als Tensoreinträge die Vakuumenergiedichte  $\rho_{Vac}c^2$  und der Vakuumdruck  $p_{vac}$ , die sich im Falle konstanter Vakuumenergiedichte zu einem einfachen, dem Metriktensor  $g_{\mu\nu}$  proportionalen Tensor in Form von

$$T_{\mu\nu}^{Vac} = \rho_{Vac}c^2 g_{\mu\nu} \quad (68)$$

schreiben lassen.

Die Frage, die sich hiernach stellt, lautet: Wie reimt sich Einstein's kosmologische Konstante  $\Lambda$  (Einstein, 1917) mit der eben abgeleiteten Form der kosmologischen Wirkung der Vakuumenergie? Ist etwa beides dasselbe, – und wir müssen nur entweder das eine oder das andere berücksichtigen? Oder müssen beide separat berücksichtigt werden?

Es zeigt sich dann, daß der vollkommen leere Raum, also das „pure Vakuum“, von einer effektiven kosmologischen Konstante

$$\Lambda_{Eff} \equiv \Lambda + \frac{8\pi G \rho_{Vac}}{c^2} \quad (69)$$

beschrieben werden sollte, wobei zunächst zwei Größen in ihren Werten unbekannt sind, nämlich die kosmologische Konstante  $\Lambda$  und die Vakuumenergiedichte des „leeren Raumes“,  $\rho_{Vac}c^2$ . Es gibt jedoch einen interessanten Weg, dieses Problem auf einen Schlag zu lösen: Man beantworte sich lediglich die Frage, was man physikalisch vom absolut leeren Raum erwarten will (siehe Fahr, 1989, 2004).

Rein logisch sollte zum Beispiel das Vakuum die Selbstparallelität eines Vierervektors beim Paralleltransport dieses Vektors über einer geschlossenen Weltlinie gewährleisten. Physikalisch könnte das heißen, daß der Polarisationsvektor linear polarisierter elektromagnetischer Strahlung bei der Propagation über einen geschlossenen Weg im Vakuum wieder in sich selbst zurückgeführt wird. Dazu muß der Kommutator der kovarianten Ableitungen nach Koordinaten  $\mu$  und  $\nu$  angewandt auf irgendeinen transportierten Vierervektor  $A_\lambda$  verschwinden. Das bedeutet dann aber in der mathematischen Konsequenz, daß ein Vakuum, das diese Eigenschaft hat, mit einer kosmologischen Konstanten beschrieben werden muß, die den folgenden Wert zugeordnet bekommt (siehe Overduin and Fahr, 2001):

$$\Lambda = -\frac{8\pi G\rho_{Vac}}{c^2} \quad (70)$$

derart nämlich, daß die effektive kosmologische Konstante verschwindet, also daß  $\Lambda_{Eff} \equiv 0$  gilt und damit die geometrische Vakuumwirkung des leeren Raumes gänzlich aufgehoben wird.

Weiterhin würde man vernünftig finden, wenn ein Vakuum so beschaffen ist, daß es ein Photon, welches sich durch dieses Vakuum bewegt, in seiner Eigenschaft nicht verändert. Es zeigt sich aber, daß der leere Raum expandiert und somit ein darin propagierendes Photon permanent kosmologisch rötlen würde. Dieses konzeptbrüchige Phänomen tritt nur dann nicht auf, wenn wiederum die effektive kosmologische Konstante für dieses Vakuum verschwindet, wenn also wieder gilt:

$$\Lambda_{Eff} \equiv \Lambda + \frac{8\pi G\rho_{Vac}}{c^2} \equiv 0! \quad (71)$$

### 3.14 Das „Null-Energie“-Universum

Vielen erschiene als schön zu wissen, daß die Welt aus Nichts besteht. Denn dann ließe sich auch verstehen, daß sie aus Nichts entstanden ist, und die ewig plagende Frage, wie die Weltschöpfung in physikalischer Hinsicht überhaupt geschehen konnte, hätte eine ganz triviale Antwort erfahren: Die Welt ist Nichts, sie entsteht aus Nichts und wird immer Nichts bleiben! Wie aber soll sich denn ein solcher Ansatz physikalisch reimen lassen? „Nichts“ heißt, physikalischer gesprochen, „verschwindende Energie“. Läßt sich aber ein Weltall mit insgesamt verschwindender Energie vorstellen, obwohl doch die Energien von Sternen und Sternsystemen, aufaddiert im Universum, eine immens große kosmische Energiemenge  $E$  darzustellen scheinen? Die Antwort heißt: JA! Und zwar dann nämlich, wenn die vielen positivwertigen Energien  $E$  im All durch entsprechend viel negativwertige Energien  $U$ , so wie eben Bindungsenergien im All, zu Null kompensiert werden, wenn also gelten würde, daß:  $E + U = 0!$ . Ob – und wie dies möglich ist, läßt sich genauer untersuchen, führt jedoch sogleich zu einem vom Standardmodell sehr verschiedenen Kosmos.

Bilden wir zunächst zu diesem Zwecke einen Ausdruck für die Gesamtenergie. Hierbei müssen nicht nur die Energien über das kosmische Gesamtvolumen aufsummiert werden, welche als Energieäquivalent der im Kosmos deponierten Massen mit Dichten  $\rho$  auftreten, vielmehr müssen auch die thermischen und kinetischen Energien der Massenträger berücksichtigt werden, was durch deren Druck  $p$  geschieht. Um eine komplette Bilanz zu erstellen, werden unter der Massendichte alle beitragenden Anteile berücksichtigt, also die baryonische Massendichte  $\rho_b$ , die Massendichte der dunklen Materie  $\rho_d$ , und die Massenäquivalentdichte des Vakuums  $\rho_{vac}$ . Ebenso muß mit den Drucken verfahren werden. Auch hier wird als Druck der Gesamtdruck der Baryonen, der Dunklen Materie, und des Vakuums bilanziert, also  $p = p_b + p_d + p_{vac}$ . Der sich dann ergebende Ausdruck für die Gesamtenergie  $E$  ergibt sich als proportional zur dritten Potenz der Skala  $S$  des Universums.

Auf ähnliche Weise errechnet sich die gravitative Bindungsenergie des Masse- und Energie-tragenden kosmischen Substrates, indem man Schicht für Schicht der gravitierenden Massen und Drucke in ihrer Gravitationsbindungsstärke zum Rest der Welt aufaddiert. Hierbei ergibt sich für die Gesamtbindungsenergie  $U$  ein Ausdruck, der proportional zur fünften Potenz der Weltskala  $R$  ist. Wenn man nun verlangt, daß  $E$  und  $U$  sich in ihrer Summe aufheben zu Null, so ergibt sich daraus als Forderung

$$\frac{3c^2}{2\pi GR^2} = (\rho_b + \rho_d + (n - 2)\rho_{vac}) \quad (72)$$



SEW-EURODRIVE—Driving the world



## Gestalten Sie die Technologien der Zukunft!

**Clevere Köpfe mit Lust auf Neues gesucht.**  
Wir sind einer der Innovationsführer weltweit im Bereich Antriebstechnologie und bieten Studierenden der Fachrichtungen Elektrotechnik, Maschinenbau, Mechatronik, (Wirtschafts-) Informatik oder auch Wirtschaftsingenieurwesen zahlreiche attraktive Einsatzgebiete. Sie möchten uns zeigen, was in Ihnen steckt? Dann herzlich willkommen bei SEW-EURODRIVE!

**Jährlich 120 Praktika und Abschlussarbeiten**

[www.karriere.sew-eurodrive.de](http://www.karriere.sew-eurodrive.de)



wobei  $n$  die Polytropenkonstante in der Beziehung zwischen Vakuumdruck und Vakuummassendichte in der Form

$$p_{vac} = -\frac{(3-n)}{3}\rho_{vac}c^2 \quad (73)$$

darstellt. Wie erkennbar aus obigen Relationen ist die Forderung  $E + U = 0$  nur dann erfüllbar, wenn alle Massendichten im Universum sich umgekehrt proportional zum Quadrat der Weltskala  $R$  verhalten. Das bedeutet zum einen, daß die Massendichten  $\rho_b$  und  $\rho_d$  schwächer als  $\rho \sim R^{-3}$ , nämlich wie  $R^{-2}$  abfallen müssen, und folglich eine Materieerzeugung im Kosmos mit der Rate

$$\dot{\rho} = \frac{\rho}{R}\dot{R} = \rho H \quad (74)$$

stattfinden muß, einer Rate übrigens, die exakt gleich derjenigen ist, die wir zuvor als Massenzuwachsrates für gebundene Massensysteme im Kosmos als Ausdruck der Arbeitsleistung der Vakuumenergie bei der Expansion des Universums gefordert hatten.

Die verständliche Frage nun, wie denn energetisch diese Massenerzeugung erklärt werden soll bzw. aus welchem Energiereservoir sie gespeist werden soll, ist dabei jetzt leicht zu beantworten: Denn jetzt ist die Vakuumenergiedichte ja nicht mehr, wie in der Standardkosmologie angenommen, konstant!, sondern sie verringert sich bei expandierendem Universum gemäß  $\rho_{vac} \sim R^{-2}$ , woraus sich als evidente Lösung ergibt  $\dot{\rho}_{vac} = -\dot{\rho}$ . Das heißt aber, daß sich in einem Null-Energie-Universum bei der Expansion Vakuumenergie in Materieenergie verwandeln muß, mit der aufregenden Konsequenz, daß bei sehr kleinen Werten der Weltskala, also in Richtung Urknall gesehen, die Energie des Universums immer mehr zu reiner Vakuumenergie wird, während die kosmische Materie in Richtung Urknall verschwindet. Wenn die Weltskala schließlich dabei gleich der Planckskala  $R \simeq R_{Planck} = 1.6 \cdot 10^{-33} \text{ cm}$  geworden ist, so stellt sich dann tatsächlich heraus, daß dann auch die kosmische Vakuumenergiedichte ein absolutes Maximum annimmt, nämlich genau jenen immensen Wert, den die Quantenfeldtheorien ausrechnen: 122 Größenordnungen größer als der heutige Wert der Vakuumenergiedichte im Kosmos (Fahr and Heyl, 2007).

Das muß aber nicht so gedeutet werden, als ob unsere Welt tatsächlich und notwendigerweise aus dieser Planck'schen Vakuumblase hervorgegangen ist; – der Urknall wäre ja dann einfach die Urexplosion des absoluten Vakuums gewesen –, es kann vielmehr einfach auch besagen, daß diese Welt einen energetisch ausgewogenen Zustand aus Vakuumenergie und Materieenergie darstellt, der in seiner Ausdehnung  $R$  um ein stabiles Gleichgewicht herum schwingen kann. Diese Welt läßt sich verstehen als ein ausgewogenes System von positivwertigen und negativwertigen oszillierenden Energieverteilungen, die jedoch in ihrem derzeitigen Zustand kein erkennbares Anzeichen dafür geben, daß diese Welt jemals aus einem Urknall hervorgegangen ist – ein völlig neues, von der Standardkosmologie krass abweichendes Weltmodell, das aber deswegen immer noch nicht unsere Welt in ihrem transzendenten Sein ersetzen kann. Gott läßt es also offenbar zu, daß wir uns gelenkt durch das Licht unseres Verstandes an die Ontologie seiner Welt herantasten, wie nahe wir dieser transzendenten Welt aber auch immer durch unser Verstehen kommen mögen, wir werden dennoch dadurch niemals zum Schöpfer dieser Welt werden.

Immer werden die Kosmologen sich einer Weltverfehlung in einem von ihnen schlecht erdachten Kosmos überführt sehen. Keine dieser schlecht erdachten Welten, auf die die Kosmologen jeweils im Laufe der Zeiten bauen wollen, ist eine solche, die wir ersatzweise für Gottes Schöpfung selbst nehmen könnten. Immer geht der Weg der Kosmologie über Tatsachenerwartungen, zu Tatsachenvergewaltigungen bis zu Tatsachenerfindungen. Und immer wieder werden sich die Kosmologen auf das schiere, uninterpretierte Sein der Welt zurückverwiesen sehen. Mit der Erkenntnis des Kosmos erwächst uns niemals das unverbrüchliche, dogmatische Sein desselben!

# 4 Der Kosmos: Ein deterministisches System?

## 4.1 Das Ende des erkannten Kosmos

So wie viele Kosmologen es sehen und es anderen auch verkünden, gibt der Urknallkosmos uns ein zum Ende bestimmtes Weltsystem vor. Lassen wir uns aber so einfach von einem schlecht erdachten Kosmos unser Ende definieren? Das sollten wir wohl eher nicht tun. Denn wenn man genauer nachsieht, wird man schnell herausfinden, daß selbst im Rahmen der Urknallkosmologie das entropische Ende des Kosmos gar nicht so geradewegs absehbar ist. Für das Gesamtsystem des Kosmos läßt sich zunächst einmal die klassische Thermodynamik gar nicht erst heranziehen, denn der „Gesamtkosmos“ ist kein wohl definiertes, abgeschlossenes thermodynamisches System. Hier kann also die Gültigkeit des zweiten Hauptsatzes der Thermodynamik gar nicht eingefordert werden. Alle schon eher thermodynamisch definierten Subsysteme des Kosmos, sowie Galaxien und Galaxiensysteme, sind jedoch sämtlich Nichtgleichgewichtssysteme, die im energetischen Austausch mit ihrer kosmischen Umwelt stehen und in denen die Entropieuhren je nach Beschaffenheit des Systems vorwärts oder rückwärts läuft, je nach dem, ob diese bilanzmäßig Energie aus ihrer Umwelt aufnehmen oder dahin abgeben. Das größte denkbare kosmische System ist der sichtbare Sternenkosmos eingeschlossen vom Horizont der kosmischen Hintergrundstrahlung. Da die von diesem Horizont eingeschlossenen Sterne des Universums heiße Strahler im Vergleich zu der Hintergrundstrahlung mit der Temperatur von nur 2.735 Kelvin sind, so können sie alle Energie an den Horizont abgeben, was ihnen erlaubt ihre Entropie zu reduzieren (Fahr, 2008).

Der aller wesentlichste Punkt aber, warum im Weltall die Entropiebildung unter anderen als klassisch thermodynamischen Gesichtspunkten abläuft, ergibt sich aus der Tatsache, daß im Universum Sterne, Galaxien und Galaxiensysteme diejenigen Mikrobestandteile des Systems darstellen, denen in der klassischen Boltzmann'schen Thermodynamik die Atome bzw. Moleküle entsprechen. Zwischen letzteren und ersteren gibt es aber gravierende Unterschiede, die zur Folge haben, daß die Boltzmann'sche Entropiebilanzierung durch die sog. Boltzmann'sche H-Funktion  $H(t) = \int f(\vec{v}, t) \cdot \ln(f(\vec{v}, t)) d^3v$ , die in einem thermodynamisch abgeschlossenen System immer nur abfallen muß, nicht mehr anwendbar ist.

Dafür sind die folgenden Gründe maßgebend: Boltzmann's Mikroteilchen erfahren im Zuge von Stößen in kürzester Zeit, im Vergleich zur Zeit zwischen den Stößen, über kurzreichweitige Kräfte stochastische Impulsveränderungen, von denen die nicht stoß beteiligten Teilchen überhaupt nichts merken. Das nennt man das Phänomen des „molekularen Chaos“. Von gravierender kosmisch-thermodynamischer Bedeutung ist nun, daß dieses Phänomen im Kosmos gerade nicht gegeben ist, weil hier zwischen den Mikrobestandteilen des Systems langreichweitige Kräfte, nämlich sich nicht absättigende Gravitationskräfte wirken. Die Folge ist dann, daß es kein Mikroteilchenchaos gibt: Im Prinzip merken alle Mikroteilchen des System über gravitative Wechselwirkung die Konstellation aller anderen Mikroteilchen. Es kommt zu keiner Gleichgewichtsannäherung wie im Falle des molekularen Gases im Boltzmann'schen Kasten, sondern lediglich zu einer Annäherung an einen systembedingten Strukturattraktor, bei dem die einzelnen Substrukturen des Systems sich zwar jeweils in ein temporär energetisches Gleichgewicht mit ihrer Umwelt, nicht jedoch in ein entropisches Gleichgewicht begeben haben. Der thermodynamisch vorgegebene Strukturattraktor wird dabei bestimmt durch die thermodynamische Beschaffenheit des Systemhorizontes und ist demnach bei gegebener Horizontveränderung in der Zeit zwangsläufig auch zeitabhängig (Fahr, 2008). Bei einem thermodynamisch offenen Horizont, solange also die bei negentropischen Strukturierungsprozessen auftretenden Entropieträger in Form von bindungsäquivalenten Photonen über den Horizont entsorgt werden können, wird es in diesem Weltall kein endzeitliches Entropiechaos geben. Das Ende ist also längst nicht so nahe und absehbar, wie die Standardkosmologie sich dies gedacht hatte. Man wird also lernen müssen, daß die in Zukunft anstehenden Revisionen unserer kosmologischen Einsichten uns die Zukunft des Kosmos immer wieder neu zu erkennen geben werden. Dabei führt Gott unseren Verstand beim Nachdenken über den Kosmos und leitet uns zu immer neuem Verständnis des Weltganzen an.

## 4.2 Ist das Weltgeschehen offen?

Wenn der Kosmos auf den zwangsgesteuerten Wegen des naturgesetzlich vorgeschriebenen wandelt, so fragt man sich, wie es unter solchen Umständen überhaupt zu Leben in diesem Kosmos kommen konnte. Oder will das Naturgesetz ausdrücklich das Leben? Ist der Kosmos velleicht so beschaffen, daß sich Leben in ihm nicht nur entwickeln konnte, sondern daß es sich darin sogar entwickeln mußte. Wenn der Kosmos sich vom Urknall her sozusagen autonom bis zum heutigen Zeitpunkt nach festgelegten Naturgesetzen weiterentwickelt hat, wie konnten dann die lebensermöglichenden Parameter oder Naturkonstanten bereits im Urknall festgelegt sein? Eine eher physikalische Antwort auf eine solch anthropische Frage lautet hier: Durch diffuse Kausalität, die nachfolgend noch erläutert werden soll! Eine eher theologische Antwort würde dagegen lauten: Durch nachmalige Einflußnahme von außerhalb des Naturgeschehens! – Eine weder physikalische, noch theologische Antwort schließlich würde lauten: Durch „intelligent design“, also durch eine Art besonderer Behutsamkeit bei der Festlegung jeder Einzelheit unseres Universums. Welche dieser Antworten soll man nun auswählen?

Diffuse Kausalität benennt sich ein Phänomen der diffusen Geschehenssteuerung, das damit zusammenhängen könnte, daß unser Leben, – als bewußtes, intelligentes und beobachtendes Leben –, für das Geschehen im Kosmos so etwas wie einen Zustandsattraktor im hochdimensionalen physikalischen Parameterraum darstellt. Das kosmische Geschehen orientiert sich irgendwie auf die Hervorbringung von Leben hin, derart daß die kosmische Entwicklung sozusagen durch schrittweise und tastende Variationen der jeweiligen Steuerparameter schließlich zu den endgültigen „biophilen Parametern“ zwangsläufig hinfinden muß, sofern diese eine Rufqualität besitzen. Die große Frage steht aber zur Beantwortung aus, wie es zu einem solchen „kosmischen Bioattraktor“ kommen sollte (Fahr, 2004).

Bei der Zuflucht auf eine Einflußnahme von außen, muß man sich erstlich fragen, ob man dabei eher an Wunder oder vielleicht nur an ein unbemerktes, außernatürliches Lenken in die nicht fest bestimmte Richtung bei chaotischen Entwicklungsprozessen denken sollte. Es ist ja bekannt, daß bei nichtlinearen Prozeßabläufen schon winzige Änderungen an den Anfangsbedingungen oder den aktuellen Bedingungen ein völlig anderes Systemverhalten in der ferneren Zukunft zur Folge haben. Wenn solche Änderungen also „geplant“ vorgenommen werden könnten, so ließe sich dem natürlichen Kausalgeschehen dadurch eine auß erkausale Finalität auferlegen. In diese Richtung scheinen die Überlegungen von John Polkinghorne zu gehen, eines anglikanischen Priesters, und theoretischen Physikers zugleich, aus Cambridge (UK). Für Polkinghorne (1998, 2000) stellt diese Welt keine vollkommen beschlossene Instantanschöpfung im Urknall dar, sondern statt einer „creatio ex nihilo“ vielmehr eine „creatio continua“. Gott lenkt die Welt durch eine Weltgeschichte hindurch, und in dieser Weltgeschichte wandeln sich die Konditionierungen für das jeweilige Weltgeschehen. Das jeweilige Verhalten der Welt hängt dabei entscheidend von den aus der Weltgeschichte überkommenden vernetzten Kausalströmungen ab. Die Art und Weise, wie Ursachen zu Wirkungen gewandelt werden, könnte von der Vorgeschichte des schon Geschehenen abhängig sein und damit die Reaktivität des Gesamtsystems permanent verändern. Dadurch entsteht ein geschichtsabhängiges Systemverhalten, was Polkinghorne als eine Kausalität „von oben nach unten“ bezeichnen will, die im Gegensatz, vielleicht auch in Ergänzung, zu der von Physikern gesehenen Kausalität von unten nach oben steht. Eine unter solchen ontogenetischen Vorgaben stehende Welt richtet eine Weltsubstanz ein, die diesen einzigartigen Treffpunkt von Gottes Leben mit dem Leben seiner Kreaturen ermöglicht.

Wer die Naturwissenschaftler kennt, weiß natürlich, daß von ihnen die Meinung vertreten wird, die Natur befolge streng ihre Gesetze bei all dem, was sie geschehen läßt. Und auch außerhalb naturwissenschaftlicher Kreise wird ja allenthalben geglaubt, daß alles, was da vor unseren Augen passiert, streng nach einer Ursachenvorgabe und nicht durch eine Zufallsbestimmung geschieht. Diese Ursachenvorgabe jedoch ist offensichtlich nicht frei wählbar, sondern sie arrangiert sich anscheinend je aus dem Laufe des Geschehens selbst wie eine zwangsläufige Konstellation. So scheint das jeweils unmittelbar vor dem Jetzt Geschehene zur Verursachung des nachfolgend Geschehenden zu werden. Würde dies dann aber nicht heißen, daß überhaupt nichts geschehen kann, das nicht im Lauf des bereits Geschehenden zurücklaufend bis zu einem Anfang schon als unabdingbar beschlossen wäre?

Wiewohl dies prinzipiell im Rahmen der Standardphysik als richtig gelten kann, so zog schon der französische Mathematiker und Physiker, Pierre Simon Laplace (1749–1827), daraus den falschen Schluß, indem er behauptete, eine ausreichend große Intelligenz, die zu einem bestimmten Zeitpunkt alle Kräfte und alle momentanen Bewegungszustände der von diesen Kräften beeinflussten Planetenkörper kennt, müßte in einer einzigen Formel die Bewegungen aller Planetenkörper und gleichermaßen diejenigen aller Körper im Universum für alle Zeiten erfassen und danach vorausberechnen können. Zukunft und Vergangenheit würden sozusagen in einer einzigen algebraischen Formel vor ihm liegen. Diese Erwartung wird heute trotz aller Weiterentwicklungen in Mathematik und Computertechnik als irrig angesehen. Nur in den aller einfachsten Ausnahmefällen nämlich, durch die sich die Realität garnicht wiedergeben läßt, erhält man als Lösung der Bewegungsgleichungen eine algebraisch geschlossene Formel, in der Vergangenheit und Zukunft gleichermaßen enthalten sind. In allen anderen Fällen aber, nur durch die die astronomische Wirklichkeit aber angemessen dargestellt wird, ist dies jedoch nicht möglich. Obwohl man den zugrundeliegenden Bewegungsgleichungen auch in diesen Fällen die Existenz und Eindeutigkeit einer Lösung ansehen kann, so kann man dennoch eben die Lösung für die resultierende Bewegung nicht geschlossen angeben, man kann sie sozusagen nicht „zeitfrei“ machen, sondern muß sie Zeitschritt nach Zeitschritt stückweise mathematisch erstellen. Die Zukunft des Systems läßt sich eben nur schrittweise erschließen, denn nur die „unmittelbare Zukunft“ ist vorhersagbar (Prigogine, 1991, 1993, Fahr, 1994, 1995).



**> Apply now**

REDEFINE YOUR FUTURE  
**AXA GLOBAL GRADUATE  
PROGRAM 2015**

redefining / standards 

agence c4g - © Photonistop



In diesem Lichte besehen, läßt sich aber überhaupt bezweifeln, ob es denn die Zukunft im eigentlichen Sinne, auf die wir ja immer hoffen und vorausblicken wollen, als eine nicht vorbeschlossene, freie Zukunft überhaupt gibt. Wenn alles sich eigentlich als Geschehensvollzug, wenn auch nur schrittweise, innerhalb eines fest vorgegebenen Geschehenskorridors darstellt, wo soll dann die Chance für eine Offenheit der Zukunft herkommen? Hier hilft es vielleicht, sich einmal versuchsweise vorzustellen, daß ein solcher Geschehenskorridor nicht einfach einen geraden, einsträngigen Weg von einem Vorläuferzustand zu einem zugeordneten Nachfolgezustand vorgibt, vielmehr eher einen kompliziert vernetzten, vielfach sich mit anderen Kausalsträngen kreuzenden Wirkweg vorgibt, so daß die Ankunft des Geschehens an einem solchen „Kausalsynapsenpunkt“ nicht nur eine einzige Wirkung, sondern über eine Verzweigung der lokalen Wirkursache von dort aus hin zu vielen kausal assoziierten anderen Punkten Wirkungen schickt. Die Natur funktioniert wundersamer Weise vielleicht in gewisser Weise wohl ähnlich wie unser Gehirn selbst, in welchem durch das immens komplexe Synapsengeflecht monokausale äußere Reize über eine daraus entstehende Multikausalität von Konstellierungen die Befindlichkeit unseres Bewußtseins einrichtet. In dem Sinne ist auch die Natur eher ein synergetisch angelegtes Wirkgeflecht, vergleichbar einem kompliziert gewobenen aktionistisch feuernden Netzwerk, auf dem von einer Ursache durch Verzweigung viele Wirkungen und somit noch viel mehr weiterwirkende und konstellierende Ursachen ausgehen. Das einfältige Schema einer linear-kausalen Verursachung wird dagegen in der Natur des Großen und Ganzen vollkommen unbrauchbar (Fahr, 2000).

Es geht vielmehr darum zu verstehen, wie eine diffuse Kausalität ein kompliziert vernetztes Wirkgebilde zum Weitergang des Weltgeschehens konditioniert. Um das besser zu verstehen, mag man sich vielleicht an das berühmte „Schmetterlingssyndrom“ in nichtlinear chaotischen Systemen wie dem Wettergeschehen auf unserem Erdglobus erinnern. Wie uns Wettertheoretiker sagen, kann schon der Flügelschlag eines in Hongkong aufsteigenden Schmetterlinges in einer vernetzten Folge von Kausalimpakten über dem Wetterglobus letztlich einen Hurrikan im Bermudadreieck auslösen. Das hebt natürlich nicht die Unscheinbarkeit eines Schmetterlinges auf oder versetzt letzteren in die Rolle des „großen Bewegers“, es soll eigentlich nur bedeuten, daß man unzählige, initialisierende und vermeintliche Kausalirrelevanzen als konditionierende Multikausalität eines chaotischen Systemgeschehens zusammensehen muß, um zu einer gültigen Vorhersage kommen zu können. Erst die Konstellierung all dieser latent kausalen Irrelevanzen mag schließlich das Geschehen vorbestimmen. Gerade aus dieser vorauslaufenden Konstellierung ergibt sich die Offenheit im Systemgeschehen. Denn die Naturgesetze sagen immer nur voraus, was im Prinzip geschehen kann, niemals jedoch, was davon auch de-facto wirklich wird. Nicht alles, was geschehen kann, geschieht deswegen auch tatsächlich und wirklich, denn das Mögliche ist nicht zugleich das Wirkliche.

Dennoch bleibt als Frage, wie am Gängelband der Naturgesetze jemals etwas Neues passieren können soll? Selbst als ein solches kausales Netzwerk gesehen wäre ja das ganze Weltgeschehen immer noch nichts anderes als ein Kanon von systemgemäß vorbeschlossenen, wenn auch synergetisch erwirkten Notwendigkeiten. Das bedeutet nicht, daß sich deswegen das Erleben der Welt in der Zeit einfach wie das Abreihen von festplazierten Kugeln auf einer Gebetskette vollziehen würde. Wenn aber andererseits nur das Kismet über uns herrschen würde, wie sollten wir dann den Zufall, das sogenannte Wunder, die Offenbarung, das Ereignis, die Fulguration, und die vielen Unabsehbarkeiten in der Weltentwicklung einordnen?

Nach Meinung der Naturwissenschaftler verhält sich die Natur in ihrem Verlauf vollkommen gesetzeskonform. Und tatsächlich möchte man vielleicht insofern dieser naturwissenschaftlichen Hypothese zustimmen, als in unserer unmittelbaren räumlichen und zeitlichen Nachbarschaft tatsächlich weitgehend bestätigbar alles absehbar und determiniert verläuft. Das will heißen, daß das Geschehen linear extrapolierbar aus vorgegebenen, aus der Vergangenheit überkommenen Tendenzen festgelegt ist. Wie aber steht es mit Vorhersagen für räumlich und zeitlich entlegenere Bereiche des Naturgeschehens, deren Ausläufer nichtsdestoweniger aus der Ferne der Zeit und des Raumes auf uns zukommen und uns unweigerlich aktuell betreffen? Wie steht es mit derjenigen Natur, die uns selbst ganz eklatant leiblich und schicksalhaft betrifft? Unwettereinbrüche, Orkanschicksale auf den Meeren, Hungersnöte und Seuchen, Erdbeben, Flugzeugkatastrophen, Kriege, zum Beispiel? Soll man denn glauben, daß hierfür überhaupt klar extrapolierbare Tendenzen angelegt sind? Muß das Künftige auch dann von Verursachungen bestimmt angenommen werden, wenn wir selbst letztere nicht zu erkennen vermögen? Oder vollzieht sich in der Natur parallel zu Gesetz und Ordnung auch noch so etwas wie ein Willkürgeschehen neben dem unterstellten naturgesetzmäßigen Geschehen? Gibt es in der Natur eine Willkür, die den monotonen Gesetzesvollzug gelegentlich empfindlich stört? Wenn tatsächlich solch eine Willkür in der Natur einen Platz hätte, wie soll dann die Natur beides, Gesetz und Willkür, als duale Antreiber ihres Waltens miteinander vereinigen und respektieren können? Wann also geschieht etwas nach Willkür, wann vollzieht sich ein Geschehen streng nach einem Gesetz? Läßt sich hier dem Geschehen etwas von außen ansehen, was eine Entscheidungshilfe zwischen Gesetz und Wille geben könnte?

Wo steckt einerseits dieser Wille, andererseits das Gesetz im kosmischen Geschehen? Irgendwo zwischen den ganz einfachen und den ganz komplexen Vorgängen in der Natur beginnt die sogenannte „nichtlineare Dynamik“ zu ihrem Recht zu kommen. Hier beginnt so etwas wie die chaotische Willkür der Natur ihr Recht zu fordern und eine langfristige Geschehensvorhersage de facto unmöglich zu machen (Kanitscheider, 1993, Fahr, 2000). Auch hier aber gilt weiterhin, daß sich sowohl lineares als auch nichtlineares Geschehen in seinen einzelnen Etappen mit Hilfe zugrundeliegender Gesetze erfassen läßt. Man versteht „vom Prinzip“ her, wie sich auf der Basis verstandener, aber inkohärent scheinender Einzelprozesse, genannt Mikroprozesse, aber eben durch die Konzertierung und Kollektivierung derselben, die makrophysikalischen, äußeren Strukturen mit qualitätsverbesserten Funktionen ausbilden können. Die Trägheit des Geschehens drückt sich dabei in ihrer stückweisen Vorhersagbarkeit aus und läßt normalerweise nicht den schroffen Sprung in das Unabsehbare zu, ähnlich wie die Trägheit der Masse eines Körpers es nicht zuläßt, daß dieser Körper jäh und unvermittelt seine Bewegung ändert.

Wie wollen wir verstehen, was die Natur in ihren Geschehnisabläufen eigentlich will? Vollbringt sie dabei nur, was ihr durch Gesetze befohlen ist? Mit einer Antwort wird man zögern. Kennen wir doch einfach die dynamische Seele der Natur nicht so, wie sie Schelling vielleicht zu kennen glaubte, zumindest nicht so, wie wir unsere eigene Natur kennen oder zu kennen glauben. Um zu einem besseren Verständnis der Natur zu gelangen, könnten wir einmal zunächst von unserer eigenen, uns vertrauten Natur als Subjekt und Mensch ausgehen. Wir könnten uns fragen, wie denn in dieser Natur des Subjektes, und verallgemeinert in der Natur des Menschen überhaupt, der Gang der Dinge auf dem Weg aus der Vergangenheit in die Zukunft geregelt ist. Schließlich kann ein solches heuristisches Unterfangen schon insofern gar nicht so unvernünftig sein, als ja der Mensch ein Teil der Natur ist. Alles, was sich mit ihm und durch ihn abspielt, ist auch ein Spiel der Natur selbst. Er ist letzten Endes von denselben Gesetzen oder Zufällen regiert wie das physikalische Naturwalten eben auch. Es heißt zwar immer, der Mensch zerstöre die Natur; jedoch als integrierter Bestandteil der Natur gesehen, ist er doch in seinem Tun nur ein Werkzeug der Natur selbst. Auch durch den Menschen vollstreckt die Natur ihren Willen zum Geschehen.

Kann es überhaupt sein, daß die Welt, wie sie nun einmal auftritt und vor unseren Augen Ereignisse eintreten läßt, schon in ihrem gesamten Realitätsreichtum fertig ist, bevor sie der Mensch noch erkannt hat, und ohne daß die sie erkennenden Menschen jemals darüber befragt worden wären? Wenn diese Welt denn zu einem Ende hin bestimmt wäre, also, wenn man es so ausdrücken will, dem Untergang geweiht wäre, wer hätte ihr diese Bestimmung dann wohl gegeben haben können? Hängt diese Welt nicht auch sehr wesentlich mit der Sinnggebung durch den sie anschauenden Menschen und seinen Verstand zusammen? Letzteres muß man doch wohl bejahen (Dürr, 1991)! Denn die Formen der Welt kommen nicht ohne die Weltauslegung zustande, die sich aber ganz in der Sprache und im Denken des Menschen vollzieht. Jedes Buch, in dem Gesprochenes und Gedachtes geschrieben steht, will so eine eigene Weltstiftung sein, indem es uns die Welt anliefert, wie sie eben unter anderem auch sein kann. Erst das Denken über die Welt, in menschlicher Sprache geführt, liefert der Welt ihre Sinnggebung. Wenn Gott also der Sinnggeber dieser Welt ist, so deshalb, weil er uns eine Sprache für die Welt gegeben hat! So zumindest drückt es Martin Walser in einem seiner Essays aus. Aber was ist dann mit der ungesprochenen, ungedachten Welt? Ist sie denn eigentlich überhaupt existent? Und, da sie keinem höheren Sinn gewidmet ist, kann sie eigentlich untergehen? Und wenn schon, wohin denn dann?

Streng gläubige Christen mögen bei solchen Überlegungen von dem Argwohn befallen werden, daß die Wissenschaften inzwischen bei Fragen angekommen sind, die innerhalb der Wissenschaften selbst nicht mehr zu beantworten sind, so daß Zuflucht bei übernatürlichen Erklärungen gesucht werden muß. Diese These vertritt auch der englische Kosmologe George F. Ellis in seinem, 1993 erschienenen Buch „Before the Beginning“, in dem er sagt, das Universum existiere nur deswegen, damit die Menschheit, oder auch andere der Ethik und sich selbst verantwortliche Wesen existieren können. Nachdem er diese Forderung nach der Existenz eines Universums mit biogener Qualität als die gewollte Bühne für selbstverantwortliche Wesen gestellt hat, argumentiert er, daß man sogar annehmen muß, das Universum sei auf einem grundlegenden Niveau speziell so konstruiert, daß es moralisches Verhalten, insbesondere selbstlose Aufopferung von empfindenden Wesen mit freiem Willen, unterhalten und unterstützen kann. Man kann nach Ellis sogar sagen, daß genau dies der Zweck dieses Universums ist. Zur weiteren Unterstützung seiner These vom „moralischen Zweck“ des Universums führt Ellis all jene Tatsachen an, die gemäß dem schwachen anthropischen Prinzip unbedingt einer Erklärung bedürften. Ein Universum nach der Form des starken anthropischen Prinzips (SAP) hat bei der Frage nach den eingestellten Weltparametern jedoch keinen Erklärungsbedarf, denn es muß den empfindenden Menschen ja hervorbringen und dazu muß es genau die anthropophilen, oder anthropogenen Konstanten haben.

Wenn die berühmte Feinstrukturkonstante zum Beispiel einen nur geringfügig von  $(1/137)$  abweichenden Wert hätte, so könnte dieses Universum eben seinen eigentlichen Zweck nicht erfüllen. Ein Gottesglaube, der dieses Denken anerkennt, wird die kosmischen Parameterwerte nicht für zufällig halten, sondern sie so interpretieren, daß Gott durch sie, und nur durch sie, und die Naturgesetze einen Ablauf vom Urknall her in Gang gesetzt hat, der auf uns Menschen als intelligente Beobachter hinführen mußte. So rät schon der niederländische Philosoph Baruch de Spinoza (1632–1677) in seiner Ethik, daß wir Gott nicht aus seinen Wundern – die es nicht gibt – sondern aus den Naturgesetzen erkennen sollten, die gerade sein Wesen und seine Weisheit ausmachen.



» Ich habe den Weg zur KfW-Förderung verkürzt: von drei Wochen auf fünf Minuten.

Wir suchen kluge Köpfe, die nachhaltig etwas bewegen und verändern wollen. So wie Kerstin Kronenberger: Als IT-Projektmanagerin bei der KfW hat sie in einem interdisziplinären Team erreicht, dass Bauherren schon während des Beratungsgesprächs erfahren, ob die Wäremdämmung ihres Eigenheims gefördert werden kann. Damit leistet sie täglich einen innovativen Beitrag für mehr Kundennähe und den Klimaschutz. Und wann fangen Sie an?

Jetzt informieren auf [www.kfw.de/karriere](http://www.kfw.de/karriere)

Bank aus Verantwortung **KfW**



Wissenschaftlicher gesehen, kommen wir bei solchen eschatologischen Weltperspektiven letztlich immer wieder auf das Problem aller Probleme, das Welthorizontproblem, zurück. Über die Geschehnisse und Beschaffenheiten an diesem Welthorizont, über den die Botschaft der kosmischen Hintergrundstrahlung zu uns dringt, wird der Welt stets vorbestimmt, wie es um ihre Ordnung in der Zukunft bestellt sein wird. Es wird solchermassen festgelegt, was sich strukturmäßig in dieser Welt in der Zukunft abspielen kann. Da dieser Welthorizont thermodynamisch gesprochen offen ist, leben wir in dieser Welt in einem Nichtgleichgewichtssystem, denn es wird über ihn der Welt neue Information zugeführt und es geht alte Unordnung aus der Welt über ihn verloren (Fahr, 2004). So kann uns folglich immer über diesen Horizont ein stets neues Signal für unsere kosmische Zukunft zugeführt werden. Diese Welt ist demnach nicht mechanistisch fest eingeschlossen in das Zahnräderwerk ihrer physikalischen Gesetzmäßigkeit und ihrer Kausalketten, vielmehr ist sie in ihrem Schicksal immer offen gegenüber den äußeren Randbedingungen, die uns durch das Geschehen am Welthorizont vorgegeben werden. So könnte man also sogar wissenschaftlich fundiert mit Fug und Recht gleichsam sagen, „Gott“ greife über diese Randbedingungen zu jeder Zeit und immerdar in unsere Welt ein und determiniere und reguliere das makrokosmische und mikrokosmische Wachstumsgeschehen solchermassen aus seiner Allmacht her. Denn diese Welt, an der wir teilhaben, ist ein thermodynamisches Subsystem mit offenen Grenzen, über die die Botschaft des Außerweltlichen dieser Welt infiltriert wird.

Schauen wir hier zum Schluß noch einmal auf das Anthropomorphe in unserer kosmischen Sicht: Ist es nicht vielleicht so, daß Naturwissenschaftler sich der Natur gegenüber in der Situation eines Theaterpublikums dem Schauspiel gegenüber befinden. Das Naturschauspiel vor unseren beliebig weit geöffneten Augen mag tatsächlich dem Schauspiel auf einer Theaterbühne in gewissem Grade vergleichbar sein. Den Wissenschaftler und Apolliniker finden wir dabei im Theaterpublikum wieder. Er analysiert das Bühnengeschehen unter den Aspekten des Kunstgenusses sowie des logisch zwingenden Spielvollzuges. Den Dionysiker treffen wir dagegen mitten im Bühnengeschehen unter den Schauspielern an. Er ist einer der Rollenträger des Geschehens, ob dies nun tragischer oder komischer Natur sein mag. Er als Akteur ist Tragöde oder Komödiant, einfach weil er Vollzugselement eines fest beschlossenen Schicksalslaufes ist. Was aber entscheidet, ob das Spiel der Natur tragisch oder komisch ist? Ist es das Publikum? Oder das Bühnenspiel? Oder sind es die in das Spiel involvierten Akteure?

Wenn dem so wäre, wie wir sagen, warum gibt der menschliche Geist sich dann nicht mit der Bewunderung des Naturschauspiels allein zufrieden? Warum will er vielmehr dieses Naturschauspiel zusätzlich auch noch verstehen, es förmlich seinem Verstande einverleiben? Droht uns doch dabei vielleicht das Schicksal, durch zu große Perfektion der gesuchten Welterklärung der Faszination des reinen Anblickes verlustig zu gehen. Wenn wir etwas benennen oder verstehen, so ist das Benannte schon nicht mehr, was es vorher war. Wie doch jeder von uns weiß: Niemals ersetzen die Gesetze der Lichtbrechung in atmosphärischen Dielektrika, selbst in den schönsten Mawellschen Gleichungen formuliert, uns das bewegende Erlebnis eines Sonnenunterganges am Pazifik. Das Ereignis der Begegnung mit der unverstandenen Realität der Welt stellt so doch immer wieder unser menschliches Grunderlebnis dar, wobei Praktiken des Yoga, der Meditation, der mystischen Versenkung oder der kognitiv apollinischen Kontemplation helfen mögen, dieses Erlebnis in Gestalt zu bringen. Müssen wir also fürchten, es gäbe keinen Zusammenhang zwischen dem eigentlichen Wesen der Dinge und dem, was wir davon erleben oder wissen? Wenn wenigstens nur ein nicht willkürlicher Zusammenhang besteht, so sollte sich die Wahrheit der Welt zumindest dann aber doch übersetzen lassen. Es gäbe dann nur vielleicht ein hermeneutisches Problem für uns. Wenn aber nicht, was droht dann? Die Realität an sich ist für unseren Verstand doch unerträglich und unerquicklich, solange diese sich nicht denken, beschreiben, vorhersagen oder nachahmen läßt. Die gedachte Realität setzt sich jedoch aus unseren Vorhersagehorizonten ab ins Unabsehbare. Nichtlinearitäten und chaotische Geschehnisverläufe verlangen geradezu die Festlegung solcher Horizonte der Absehbarkeit. Diesseits solcher Horizonte herrscht Vorhersagbarkeit, jenseits ist dagegen alles möglich, was nicht grundsätzlich ausgeschlossen ist.

So bleibt uns schließlich nichts anderes übrig, als die Offenheit der Natur gegenüber Neuerungen zu akzeptieren. Immer wieder tauchen neue Formen der Realität an den Weggabelungen natürlicher Prozeabläufe auf, ohne daß solche Formen von vornherein aus der Vergangenheit des Geschehens her beschlossen gewesen wären. Die Natur betreibt Innovation unter dem Anschub durch morphogenetische Felder, die das Formungsgeschehen führen oder anziehen. Dabei bewährt sich als Heurismus heute am besten die Idee des Attraktors, der eher ein Ziehen aus der Zukunft her als ein Schieben aus der Vergangenheit impliziert. Das Naturgeschehen ertastet sich stabile Aufenthaltsbereiche in immer wieder neuen Erscheinungsformen. Jedes Jetzt will in diesem Ertasteten seine Zukunft haben, ein Ende gibt es hierbei nicht, zumindest kein aus dem Wesen der Natur her begreifliches!

Fragt sich zum Schluß, ob es denn eine friedvolle Koexistenz von christlichem Schöpferglauben und den atheistischen Naturwissenschaften geben kann, die die Existenz und Evolution der Welt auf dem Urknallmodell aufbauen wollen. Man sollte dazu nicht vergessen, daß zu der Zeit, als 1951 Papst Pius XII in einer Ansprache an die Mitglieder der Päpstlichen Akademie der Wissenschaften den Schöpfer der Welt einforderte, weil auch im Urknallmodell die Welt einen Anfang in der Zeit hat, der Urknall unter den Astrophysikern gerade zum Weltparadigma geworden war. Dieses heutige Urknallmodell steht aber im Widerspruch zu dem sogenannten „steady state“-Modell von Fred Hoyle, welches keinen Anfang in der Zeit kennt und auch keinen Schöpfungsakt verlangt. Ein solcher, derzeit wie beigelegt erscheinender Konflikt zwischen christlicher Religion und Wissenschaft könnte jedoch leicht wieder entstehen, wenn das heutige Urknallmodell schließlich der Theorie eines ewigen Multiversums, von Ewigkeit zu Ewigkeit sich in seinen fundamentalen Parametern wandelnd, aus wissenschaftlichen Gründen weichen müßte.

### 4.3 Das Göttliche und der Kosmos

Man wird sich wohl immer als Physiker, Philosoph oder Theologe im Klaren darüber sein müssen, daß das naturwissenschaftlich erstellte Bild der Natur eine reduktionistisch konzipierte Natur wiedergibt, die der „wahren“ transzendentalen Qualität der Natur in klar definierbaren Punkten nicht gerecht zu werden vermag. Reduktionistisch heißt dabei, daß in gekonnter, aber auch riskanter Weise von bestimmten, in erster Näherung als irrelevant eingestuften ontischen Qualitäten des zu beschreibenden Naturgeschehens im Interesse der Konzentrierung auf die relevanten, essentiellen Qualitäten bei der Erstellung eines wissenschaftlichen Naturbildes abgesehen wird. Die Auswahl der solchermaßen heuristisch ausgewählten Essentialitäten der Natur wird dabei so getroffen, daß damit in Form von determinierten Observablen unsere vorhandenen Naturgesetze umgehen können und daran eine Vorhersagepotenz entwickeln können. Da wir allerdings in der Natur auf kleinsten wie auf größten Skalen stets nichtlinear chaotisches Verhalten vorgestellt bekommen, müssen wir darauf gefaßt sein, daß das reduktionistische Bild dieser Natur nur ein auf kurzer Zeitextrapolation gültiges Bild der Natur selbst darstellen kann. Im Rahmen größerer Zeitverläufe wird sich dagegen immer zeigen, daß die reduktionistische Vorhersage aufgrund der vernachlässigten irrelevanten Qualitäten bei der Naturbeschreibung unser Bild der Natur immer stärker vom wahren Transzendenzcharakter der Natur wegdriften lassen. Die trotz nichtlinearem Natursystem leichtfertig als vernachlässigbar eingestuften, irrelevanten Naturqualitäten werden sich bei zeitlichem Fortgang der Naturdinge immer stärker als Defizite der gelieferten Naturbeschreibung bemerkbar machen und unser Bild der Natur somit immer realitätsferner werden lassen. Unsere immer reduktionistisch aufgebaute Naturerklärung wird somit niemals Ersatz für die Natur selbst sein können und deswegen auch niemals Gott ersetzen können, der diese multikausale, nichtlineare Natur unserem Verstand immer wieder neu zur Ertastung und Vermessung mit unseren Verstandeskategorien vor Augen stellt.

Zusätzlich zu diesen obigen Bemerkungen sollte man auch sehen, daß der Versuch einer physikalischen Naturerklärung überhaupt nur dann sinnvoll sein kann, wenn die Natur auch tatsächlich verständlich ist und wenn sie nicht nur kurzzeitig beschreibungskompatible Verhaltensmuster zeigt, die selbst sich zwar in physikalischer Terminologie begreifen lassen, die aber in Wirklichkeit gar nicht die wahren Verhaltensmuster der Natur selbst sind. Warum sollte die Naturrealität denn so beschaffen sein, daß unser Verstand sie erkennen kann? Darauf kann es nur die Antwort geben, daß unser Verstand in seiner Art etwas von der Art der Natur in sich tragen muß. Wie aber steht es dann unter solchen Umständen mit der transzendenten Realität der Natur, die doch in eigener Seinsdignität auftreten sollte, da sie sich ansonsten doch zu einer Verstandesimmanenz reduzieren würde? Das Geistige oder Spirituelle ist somit wohl einfach als die Erscheinungsform der Naturrealität selbst zu fordern.



**Karriere als IT-Experte.  
Hier ist Ihre Chance.**

**Karriere gestalten als Praktikant, Trainee m/w oder per Direkteinstieg.**  
Ohne Jungheinrich bliebe Ihr Einkaufswagen vermutlich leer. Und nicht nur der. Täglich bewegen unsere Geräte Millionen von Waren in Logistikzentren auf der ganzen Welt.

Unter den Flurförderzeugherstellern zählen wir zu den Top 3 weltweit, sind in über 30 Ländern mit Direktvertrieb vertreten – und sehr neugierig auf Ihre Bewerbung.



[www.jungheinrich.de/karriere](http://www.jungheinrich.de/karriere)

**JUNGHEINRICH**  
Machines. Ideas. Solutions.



Die Mathematik entfaltet in ihren Aussagen aus sich heraus einen unverbrüchlichen und dogmatischen Realitätsstatus, obwohl die Realität des Mathematischen eine rein geistige ist (siehe Pickover, 1999). Ist also ebenso auch der in der Kosmologie mathematisierte Kosmos nichts als das Erscheinungsbild des Geistigen in der Welt? In diese Richtung gehen viele Bemerkungen berühmter Physiker. So sagt Hermann Weyl (Weyl, 1918, 1921): „Die mathematische Suche nach den Dingen hebt den Menschen an das Göttliche heran“. Clifford Pickover (1999) drückt es so aus: „Die Mathematik ist der Webstuhl, auf dem Gott den Stoff des Universums webt“. Solchermaßen geraten Physiker förmlich in eine religiös-mystische Verehrung, wie etwa Richard Powers (1970), der sich so äußert: „Eine gute Kosmologie besteht in der Verehrung, nicht in der Beherrschung, der Materie und des Alls“, oder Paul Davies (1996), der fast resignierend bekennt: „Selbst Atheisten empfinden zuweilen Ehrfurcht und Faszination vor der Tiefe und Schönheit der Realität, die einer religiösen Demut gleichkommt“. Das alles scheint sich in der uralten Einsicht des Pythagoras (510 v.Chr.) schon niedergeschlagen zu haben, der hervorhob: „Die Realität ist nicht materiell, sie ist spirituell!

Kosmologie stellt demnach nichts anderes als ein Gleichnis der Schöpfung dar, gesehen und gedeutet mit dem Lichte des menschlichen Verstandes. Dieses Licht wird unserem Verstande aber von Gott gegeben in Form von verantwortbarer Ratio und Logik. Die Welt, die wir im Lichte dieser Ratio sehen, ist also nichts anderes als das weltliche Licht Gottes selbst. Ratio, Welt und Gott bleiben, so gesehen, eines. Und damit sollte klar sein: Physiker machen niemals die Natur! Sie deuten sie nur! Gott aber macht, daß diese Natur tatsächlich für unseren Verstand da ist, mit uns und ohne uns.

#### 4.4 Führt kosmische Evolution zu Innovation?

Den meisten Kosmologen erscheint die aus dem Urknall entstehende Welt als Produkt eines deterministisch festgelegten Naturgeschehens. Seit ihrem Anfang, wie auch immer dieser beschaffen war, entwickelt sie sich genau so, wie es die Naturgesetze eben vorgesehen haben. Damit sollte dann eigentlich kein Platz für Neues bleiben, das als kosmische Innovation beim Fortlauf des Weltgeschehens erst später hervorgebracht wird, ohne daß es den kosmischen Anfängen bereits innewohnte. Alles kosmische Geschehen wäre demnach nur eine schlichte Umsetzung einer bereits anfänglich in das Weltsubstrat hineingesenkten Ur-Information.

So gesehen, stellte sich dann aber der Lauf der kosmischen Geschichte aus ihrer Vergangenheit in ihre Zukunft lediglich als Vollzug eines generellen, monoton verlaufenden kosmischen Informationsverschleißes dar. Das allerdings widerspricht der Erfahrung, die der Mensch in seinem geschichtsbildenden Bewußtsein beim Erleben der Welt macht. Für das menschliche Bewußtsein, das das Weltgeschehen denkerisch wahrnimmt, bringt doch jeder positive Zeitschritt in der Welt einen Schritt hin zu höherer Informationsbildung und Geformtheit mit sich.

Ein rein konstatierendes Bewußtsein könnte dagegen vielleicht im Vollzug des Weltenwandels ein schieres und wertfreies Wirken auf Veränderung hin sehen. Ganz gleich wie die Welt jeweils ist, sie bewirkt eben einfach nur immer ihre Veränderung. Immer aufs Neue wird sie, aber sie vergeht auch zugleich dabei. Oder wie schon Nietzsche eben gesagt hat: Sie hat nie angefangen zu werden und wird auch nie aufhören zu vergehen! Wenn dem aber so wäre, so sollte es dann aber auch keine Entropievergiftung der evolvierenden Welt hin zu einer nekrotischen Wüste der uniformen Unordnung und des damit einhergehenden totalen Stillstandes geben, wie etwa in einem Buch von Davies (1993) dargestellt.

Das die Welt bewertende Menschheitsbewußtsein glaubt allerdings eine Qualitätsbildung und Formenbildung im Zuge der Evolution zu erkennen. Der Fundus des Weltwissens, wie etwa zweifelsfrei dokumentiert durch die in ihren Inhalten förmlich explodierenden Weltbibliotheken, wird schließlich immer größer. Ist dieses Bewußtsein nun von einer menscheigenen Blindheit geschlagen, oder kann die moderne, naturwissenschaftlich basierte Kosmologie einem solchen Bewußtsein irgendwie rechtfertigend zur Seite stehen? Sicherlich wird Kosmologie heutzutage als klare Domäne der Naturwissenschaften, und hier speziell der Physik und Astrophysik, angesehen. Die Evolutionsgeschichte des Kosmos erscheint deswegen vorrangig als Thema, mit dem sich speziell die Physiker auskennen sollten, denn wer schon, wenn nicht sie, sollte doch inzwischen am genauesten über die Ereignisse bescheidwissen, die in ihrer Aneinanderreihung aus der Vergangenheit zum heutigen Universum geführt haben (siehe z.B. Davies, 1993, Weinberg, 1988, Guth, 1999, Peacock, 2002, Hawking, 1989). Folglich sollte es gerade der Physik leichtfallen, die evolutionären Züge im kosmischen Geschehen im einzelnen aufzuzeigen und zu benennen!

Letztere Vermutung erweist sich dennoch auch als ein trügerischer, wennauch zunächst fast selbstverständlichscheinender Schluß. Überlegt man einmal, wo sich denn eigentlich in der deterministisch physikalischen Naturbeschreibung des kosmischen Geschehens der genuin „*evolutionäre*“ Aspekt aufzeigen läßt, so meldet sich ein Problem an: Werden denn nicht alle Vorgänge in der Natur von der Physik wie kausal zwangsgesteuerte Geschehnisabläufe beschrieben? Es herrscht nach Sicht der Physik doch überall strenger Determinismus. In einer Wissenschaft, in der selbst das Chaos noch determiniert erscheinen, kann es keinen Platz für Zufall geben. Dies gilt selbst für das Chaos, insofern auch hier die nicht analytisch direkt vorhersagbaren Systemzustände dennoch aus nichtlinearen, nichtsdestoweniger aber immer noch zukunfts determinierenden Verursachungen hervorgehen?

Also drängt sich doch die Frage auf, ob es denn in der Physik, – und konkret auf das hier gestellte Thema bezogen – in dem physikalischen Geschehen im Universum – überhaupt so etwas wie **Evolution** im eigentlichen Sinne geben kann. In der Physik gibt es Kausalität und Determiniertheit, daneben die quantenmechanische Unschärfe im mikrokosmischen Bereich und das determinierte Chaos bei den nichtlinearen Prozessen im medio- und makrokosmischen Bereich. Selbst der Zufall scheint noch sein Gesetz zu haben – oder zumindest in probabilistischer Form mechanistisch determiniert zu sein. – Niemand würde hinter dem radioaktiven Zerfall eines Kilogramms Uran zu Blei einen evolutionären Prozeß erkennen wollen, nur weil man auf der Basis bisheriger Gesetze nicht von jedem einzelnen Uranatom individuell die genaue Zerfallszeit vorhersagen kann. Wo also spielt sich in der physikalischen Welt tatsächlich so etwas wie Evolution ab, ein Geschehen nämlich, das auf neue und unabsehbare Systemzustände hinführt? Oder vielleicht anders gefragt: Wie müßte die physikalische Natur solchen Geschehens denn beschaffen sein, wenn es selbigem innewohnend so etwas wie Evolution geben können sollte?

Die Antwort ist 42.  
Oder Baden-Württemberg.



BW-jetzt.de



facebook.com/BWjetzt



@BWjetzt



Baden-Württemberg

Wir können alles. Außer Hochdeutsch.



Für den Naturphilosophen und Evolutionstheoretiker Erwin Chargaff stellt sich diese bewegende Frage in der Form (siehe Chargaff, 1980): „Was könnte in der Physik überhaupt eine Evolution ermöglichen?“. Bei dieser Fragestellung kommt er zu folgender für ihn unausweichlichen Antwort: „Evolution – , falls es sie überhaupt gibt, ist nur daraus abzuleiten, daß die Naturgesetze, falls es diese denn gibt, alle nicht *g – e – n – a – u* gültig sind.“ Die nachfolgenden Überlegungen sollen dieser Chargaff’schen These noch eine etwas andere Bedeutungsnuancierung geben und dabei dennoch in dem Sinne eine Bestätigung erfahren, daß sich aus ihnen der Schluß ergibt, die von der Physik als „klonal“ beschriebene Natur erfahre genau in dem Maße eine nicht zureichende Beschreibung, in dem letztere gerade eben nicht wirklich klonal angelegt ist. Das soll heißen, daß der Zustand der Natur sich nicht einerbig tradiert, der „genetische Code“ der auseinander hervorgehenden Naturzustände wandelt sich hingegen in dem Geschehen, das er hervorbringt, selbst ab! – Die Naturgesetze spiegeln ihrerseits in der Tat die gesetzesmäßige Wandlung der Naturzustände in einer Wandlung ihrer selbst wider! Gerade aber diese Nichtklonalität der Natur erlaubt erst ein Auftauchen von Evolutionarität in der physikalischen Darstellung.

Wenn die Realität unserer Welt nichts anderes als Wasser wäre, so könnten wir mit den Mitteln der Hydrodynamik, also den Eulerschen und den Navier-Stokes’schen Differentialgleichungen, alles an dieser Welt angemessen beschreiben. Nicht jedoch könnten wir solches, wenn das Wasser dieser Welt seinen Aggregatzustand wechselt und zu Eis gefriert. – Dies Phänomen des Zustandswechsels ist in den hydrodynamischen Gesetzen nicht enthalten. Hier bedarf es vielmehr der Mittel der Festkörperphysik. Ein solcher Zustand bedarf also neuer, das heißt, anderer Gesetze zu seiner angemessenen Beschreibung. Die Natur funktioniert eben nicht nach Baukastenmanier, weil sich die Eigenschaften des Zusammengesetzten nicht als Summe der Eigenschaften der Teile darstellen lassen. In allen höheren Hierarchiestrukturen treten dagegen immer neue, unerwartete Eigenschaften und Funktionalitäten auf, die auf der jeweils hierarchisch niedrigeren Stufe noch nicht vertreten waren. Es bilden sich längerlebige Substrukturen mit immer wieder neuer Funktionalität und Dauerhaftigkeit heraus. Es handelt sich deshalb, wie Jonas (1991) feststellt, um die niedrigsten Stufen prä-Darwinistischer Entitätenbildung unter der „biologischen“ Maxime von „survival of the fittest“. Die Ordnung in der Natur erweist sich als erfolgreicher denn die Unordnung, das Regellose wird vom Regelmäßigen überdauert, das schließlich in immer komplexer werdenden Ordnungsformen aus dem Chaos hervortritt und übrig bleibt. Die Natur weiß sozusagen mit der Konstitution und Chemodynamik der einfachsten Moleküle noch lange nicht, was aus dem Biopolymerismus und der Clusterbildung solcher Moleküle auf höherer Strukturebene werden kann; sie muß dies alles erst entstehen lassen, um mehr oder weniger tastend herauszufinden, welche neuen, biometrischen und biologischen Erscheinungsformen damit verbunden möglich sind.

## 4.5 Evolution als ein Heurismus

Das zuvor Gesagte zwingt zu einigen grundlegenden, Physikern gemeinhin wenig vertrauten Gedanken darüber, was eigentlich der Begriff „Evolution“ impliziert. Man frage sich einmal: Wenn man den Biologen das terrestrische Anfangsszenario und die sich daran anschließende Umweltentwicklung auf dem Planeten Erde vorgegeben hätte, wären sie dann wohl in der Lage gewesen, die biologische Evolution auf der Erde vorherzusagen? Die heutigen Astrophysiker glauben zwar die Kosmogonie der Planeten weitgehend verstanden zu haben und sagen uns, daß die Erde sich im Zuge eines Strukturierungsgeschehens in der protoplanetaren Massenscheibe, in dessen Zentrum die Sonne steht, als magmatischer, heißer Urplanet gebildet hat und hernach durch Abkaltung und Atmosphärenbildung letztendlich zum heutigen blauen Planeten geworden ist (siehe auch Fahr und Willerding, 1999). Hätte allein die Vorgabe einer solchen Kosmogonie die Biologen aber in die Lage versetzt vorherzusagen, in welchen Formen sich das Leben auf diesem Planeten entwickeln würde? Hätten sie sagen können, welche Tier- und Pflanzenarten sich im Laufe der Zeiten aus Einzellern entwickeln würden und welche davon später wieder untergehen werden? Die Antwort darauf müßte wohl eindeutig lauten: **Nein!**

Denn man muß einsehen, was für Biologen mit Benutzung des Konzeptes „Evolution“ möglich wird, das ist allenfalls so etwas wie ein Verständnis für das schon Geschehene anzubieten, soweit es sich als entdeckt vor unserem Verstand darbietet, - nicht jedoch, eine Vorhersage für das noch Geschehende zu machen. Kein Biologe kann die Fauna und Flora der Zukunft voraussagen! Es handelt sich hier also um eine Prophetie nach hinten, nicht um eine Vorhersage des Kommenden. Wie sich die Arten in Zukunft entwickeln werden, ob und wann es neue Artenbildung geben wird, bleibt auch im Geleitschutz durch den Evolutionsgedanken unbestimmbar. Wie sieht es im Vergleich dazu bei den Physikern aus? Wenn man ihnen die Anfangssituation des Big-Bang (Urknall) im Detail vorgegeben hätte (siehe z.B. Weinberg, 1988), wären sie dann in der Lage gewesen, die Entwicklung des Universums bis hin zu seinen heutigen Strukturen vorauszusagen? Eine Antwort hierauf ist in jeder Hinsicht problematisch, dennoch würden immerhin wohl die meisten Physiker spontan geneigt sein zu sagen: –*Ja!* – Man stellt sich hierbei gerne auf den Standpunkt, es gäbe die „Weltformel“. Dann müßte ja doch alles klar sein! Nach dieser Formel wird jedoch bis heute in der Physik gesucht, doch man hat sie nicht finden können. Wenn wir sie denn hätten, so wäre sie etwas wie eine in einem allumfassenden, mathematischen Algorithmus niedergeschriebene Geschehensanweisung, ein genetischer Code für das kosmische Wirken überhaupt, also so etwas wie eine „kosmogenetische Matrix“, die das Gesamtgeschehen im Kosmos festschreibt, so wie etwa die DNA-fixierte Information im genetischen Code des Menschen den menschlichen Phänotyp festlegt, der sich aus der befruchteten Eizelle herausbildet.

Doch es sollte vor einem allzu großen Wissenschaftsoptimismus gewarnt werden, zumindest was die Erkenntnis unseres Universums anbetrifft. Es sollte bedacht werden, daß das generelle kosmische Wechselwirkungssystem „Raumzeitgeometrie und Materie“ durch Einstein's Feldgleichungen der Allgemeinen Relativitätstheorie bekanntlich eine hochgradig nichtlineare Beschreibung erfährt, die sich in der Tatsache der Nicht-Überlagerbarkeit der Gravitations- und Geometrisierungswirkungen von in der Raumzeit verteilter Materie bedeutet. Das hat aber zur Folge, daß ein anfänglich inhomogenes und anisotrop expandierendes Universum kein im mathematischen Sinne integrables System darstellt und demnach auch keine geschlossene Zustandsvorhersage zuläßt. Die Zustände eines solchen Universums lassen sich allenfalls sukzessive über alle Zwischenstadien hinweg errechnen, und auch das nur, wenn alle Symmetriebrüche, die sich im Laufe der Zustandsveränderungen der kosmischen Materie vollziehen müssen, im Zustandsraum genau lokalisierbar und im Vorhinein bereits bekannt wären.

## MASTER OF SCIENCE IN MANAGEMENT

**BUSINESS GAME**

23 & 24 May 2014

- Work on a business case
- Interact with students & alumni
- Stay a night at our campus

[www.nyenrode.nl/businessgame](http://www.nyenrode.nl/businessgame)

**BEST MASTER**

**NYENRODE**  
BUSINESS UNIVERSITEIT

The Master of Science in Management has been voted the Best Master 2014 in the Netherlands for the fifth time running. This could only be achieved because of our remarkable students. Our students distinguish themselves by having the courage to take on challenges and through the development of the leadership, entrepreneurship and stewardship skills. This makes the

Master program at Nyenrode an achievement, from which you can benefit for the rest of your life. During this program you will not only learn in class, you will also develop your soft skills by living on campus and by working together in the student association. Do you think this program is something for you? Then it is our pleasure to invite you to Nyenrode. Go to [www.nyenrode.nl/msc](http://www.nyenrode.nl/msc) or call +31 346 291 291.

NYENRODE. A REWARD FOR LIFE

Auch der Physiker, wie der Biologe, versteht sich im Grunde nur auf eine Erklärung des Gewordenen, denn hier glaubt er sich dem Naturpfad der jeweils momentan maximalen Entropie entlang zurückhangeln zu können, unter dem hierbei dienlichen Heurismus, der wahrscheinlichste Naturablauf sei derjenige, der bei kleinstem Informationsverschleiß (kleinster Entropiezuwachs) und kleinster Wirkungsentfaltung (minimum action principle) letztendlich den heutigen Zustand herbeiführt (siehe auch Fahr, 1996, 2004). Zu einem gegebenen Jetztzustand läßt sich bei Zugrundelegung einer unverletzten Gesetzmäßigkeit dann immer gerade ein passender Anfangszustand definieren, so daß beide wie kausal kommunizierende Zustände erscheinen. Das Universum muß sich jedoch mitnichten aus seinem allerwahrscheinlichsten assoziierten Vergangenheitszustand unter möglichst langsamer Unordnungsbildung entwickelt haben, es kann vielmehr ebensogut herrühren aus einem unwahrscheinlichen, jedoch hoch informativen Zustand bei entsprechend größer als minimalem Informationsverschleiß auf dem Zwischenwege.

In jedweder Form des Evolutionsgedankens soll vor allem eine sinnstiftende, heuristische Aspektierung der Geschehensabläufe erreicht werden, ganz gleich, ob eine solche Aspektierung dabei auf die biologische, die geistige, die soziologische, oder vielleicht auch auf die physikalische Welt gerichtet ist. Immer geht es dabei um Trenderkenntnisse an einem vorgegebenen Geschehenshergang, der als Ganzheitskomplex überschaut werden soll. Die Frage bleibt jedoch, ob man hier, wenn schon überhaupt, eine finale oder kausale Evolution unterstellen will. Muß die Entwicklung, - oder **soll** sie so verlaufen, wie es offensichtlich der Fall war? Zur Beantwortung dieser Fragen bedarf es mehr als einer physikalischen, vielmehr eher geradezu einer metaphysischen Position in der Bewertung des Weltstoffes. Abgesehen von den äußerlich kontrollierbaren Fakten, die den Außenaspekt der Realität vermitteln, muß man diesem Weltstoff so etwas wie ein Innenleben zutrauen und ihm einen Binnenaspekt widmen. Wenn der Weltstoff aber eine Begabung zu Innerlichkeit und Selbstabgeschlossenheit in sich trägt, so muß er mehr sein, als die Physiker ihm zuschreiben wollen. Die Materie ist nicht ausschließlich nur passiver Stoff, sondern ihr inhärent ist auch ein Wille zu stofflicher Form. Das klingt wie ein Plädoyer für den biologischen Materialismus. Die Materie, oder allgemeiner die Natur, so könnte man im Ansatz sagen wollen, „haßt“ das Amorphe, sie ist, wennauch in einer gewissen Verborgenheit, vielmehr Form und Subjektivität von Anfang an.

Mehr im Sinne eines **Solls** ist der Darwinistische Evolutionsgedanke. In ihm steckt sichtlich doch der Gedanke der Orthogenese, nach dem als Folge des Evolutionsverlaufes die jeweils die best angepaßte biologische oder materielle Subspezies sich herausbildet: Weil das Endprodukt einer Entwicklung angesichts der gegebenen Umwelt nützlich und angepaßt erscheint, *sollte* es unter „Evolutionendruck“, von außen angetrieben, entstehen. Selektionsvorteile müssen demnach für das in der Tat Entstandene sprechen. Hierbei versteht man den Evolutionsdruck als den Vorgang, der über Mutation, Speziation und Selektion bei gegebener Umwelt die Anpassung der Spezies erreicht. Bei materiellen Substrukturen geschieht dies durch Entwicklung auf den jeweils thermodynamisch angebotenen Strukturattraktor hin unter dem Diktat der auf den verschiedenen Skalen vorherrschenden Elementarkräfte.

Mehr im Sinne eines Muß ist der entelechistische Entwicklungsgedanke, der besagt, daß das Ziel der Entwicklung eines Objektes oder einer Spezies bereits inhärent in seinem Anfangszustand verborgen ist. Alles entfaltet sich demnach nur und geht dabei von latenten in aktualisierte Seinszustände über, – von „esse in potentia“ zu „esse in actu“-, so wie am Beispiel des Samens paradigmatisierbar, der die Blume hervorbringt, an der die Blüten aufknospen, die wieder den Samen liefern. In diesem Entwicklungszyklus ist kein Glied der Kette vom anderen verschieden, denn es trägt die anderen Kettenglieder als Ziel seiner eigenen Entwicklung bereits voll in sich. Oder physikalischer gesagt: Einem jedweden Zustand eines Systems sind alle anderen möglichen kommunizierenden Systemzustände bereits inhärent. In dem Sinne könnte man versucht sein, das kosmische Evolutionsgeschehen ebenfalls als einen entelechistischen Entwicklungsprozeß zu verstehen, wo doch nach heutiger Vorstellung aus einem primären Urknall der Kosmos mit all seinen Galaxien und Galaxienhaufen durch Expansion hervorgeht und sich danach in einem generellen Kollaps ein erneuter Urknall herabildet. In dem Sinne würde sich das ganze kosmische Geschehen einfach reduzieren auf die Entfaltung der eigentlichen aus den uneigentlichen Zuständen des Universums. Im Ablauf der Entwicklung würde daher nichts ontologisch neues hinzugewonnen, es würde sich lediglich das Verborgene Zug um Zug entbergen.

**Think Umeå. Get a Master's degree!**

- modern campus • world class research • international atmosphere
- 36 000 students • top class teachers • no tuition fees

**Master's programmes:**

- Architecture • Industrial Design • Science • Engineering

**Umeå University**  
Sweden  
[www.umu.se](http://www.umu.se)

**APPLY NOW!**



## 4.6 Determinismus contra Evolution

Fragen wir hier noch einmal, ob der Evolutionsgedanke, auf die Physik angewandt, nicht dem Grundansatz der physikalischen Naturbeschreibung grundsätzlich widerspricht. Freilich läßt sich erkennen, daß jedes physikalische System, weil nicht genügend gut abschließbar und isolierbar, deswegen immer nichtlinear, abseits vom thermodynamischen Gleichgewicht und nicht durch endlich viele Integrationskonstanten beschreibbar ist. Eine langfristige Vorhersage kann demnach nicht geleistet werden, weil sich die bewährten Bewegungskonstanten des Systems nur während endlicher Zeitabschnitte ungefähr wie Systemkonstante verhalten. Ihre Veränderungen ergeben sich über sehr viel größeren Zeitperioden, als sie für die Änderungen der Orts- und Impulskoordinaten der Systemelemente typisch sind. Die physikalischen Gesetze geben dem momentanen Geschehen nur einen Flankenschutz und liefern somit ein Ad-hoc-Trendverständnis mit Hilfe von ersten und zweiten Ableitungen bestimmter Zustandfunktionen nach den dynamischen Variablen. Dies kann jedoch zwangsläufig keine zureichende Naturbeschreibung auf lange Sicht ermöglichen, weil, wie jeder Mathematiker weiß, ein Nachbarzustand in Raum und Zeit nach dem Satz von Taylor nur **exakt** zu definieren ist aus allen höheren Ableitungen des Zustandes nach Zeit oder Raum, während aber in praktisch allen in der Physik verwendeten Gesetzen nur erste und zweite Ableitungen vorkommen.

Liegt aber nun in der Tatsache des langfristig unvorhersagbaren Verhaltens eines nichtlinearen, physikalischen Systems schon seine Evolutionspotenz angedeutet? Anders gefragt, kann ein physikalisches System gerade wegen seiner Nichtlinearität evolvieren? Oder heißt dies eigentlich nur, daß das System **nicht-integrabel** ist, indem es einen nicht geschlossen integrierbaren Weg einschlägt, der nichtsdestoweniger aber als solcher in allen Teilschritten streng determiniert erscheint? Der Zustand eines Systems zu einem in der Zukunft liegenden Zeitpunkt  $t$  ist allerdings nur physikalisch bestimmbar, wenn das System über alle physikalisch dazwischenliegenden Systemzustände bei Zeiten  $t' \leq t$  hinwegintegriert wird. Die jeweils das System bei seiner Veränderung dirigierende Gesetzlichkeit bleibt dabei stets dieselbe. – Was evolutioniert dann aber überhaupt? Oder anders gefragt: Wo stößt man wirklich auf „evolutionsverdächtige“ Phänomene in der Physik?

## 4.7 Evolutionäre Ereignisse in der Physik

Was spielt sich in einem flachen Gefäß im Gravitationsfeld ab, das an Ober- und Unterseite von zwei Glasplatten abgeschlossen ist und in dem sich eine viskose Flüssigkeit befindet? Wenn zwischen Ober- und Unterseite ein Temperaturunterschied in der Flüssigkeit herrscht, so kommt die bekannte Rayleigh-Bénard-Konvektion in Gang. Hierbei ist interessant, daß die zunächst aufkommende, sehr geordnet und periodisch aufgebaute Konvektionszellenstruktur bei überschreiten eines kritischen Temperaturunterschiedes  $\Delta T \geq \Delta T_c$ , fast kann man sagen, wie von neuen Gesetzen befohlen, in ein turbulentes, aperiodisch chaotisches Konvektionsmuster umschlägt. Da stellt sich die Frage: Macht das System hierbei eine Evolution oder eine echte Qualitätsänderung durch? Wird es mit neuen Freiheitsgraden des Verhaltens ausgestattet? Anhand des nachweisbaren Umstandes, daß bei Zurücknahme des herrschenden Temperaturunterschiedes auf unterkritische Werte aus dem chaotischen Konvektionsverhalten wieder ein periodisch geordnetes hervorgeht, scheint sich zu zeigen, daß es hier offensichtlich kein typisches Hystereseverhalten nach dem erstmaligen Überschlag in den chaotisch-turbulenten Bereich gibt, also keine irreversible Qualitätsänderung des System. Das System hat scheinbar zwar eine Entwicklung durchgemacht, jedoch eine thermodynamisch reversible!

Ganz ähnlich sieht die Situation überall in der Physik aus: Wenn man Wolken mit übersättigtem Wasserdampf abkühlt, bilden sich in ihnen Wassertropfen und Eiskristalle als neue Zustandsformen des Wassers. Bei entsprechender Aufheizung der Wolken kann jedoch der alte Dampfzustand wieder hergestellt werden. Analog können sich Wolken aus interstellarer Materie, also im wesentlichen aus Wasserstoff mit geringen Beimischungen schwererer Elemente, unter den kalten, thermodynamischen Bedingungen des interstellaren Raumes unter der Wirkung ihrer Eigengravitation zusammenziehen und sozusagen „stellare Kondensattropfen“ bilden, also letztlich Sterne. Unter heißen Umgebungsbedingungen, wenn also etwa der kosmische Strahlungshintergrund von gleicher Temperatur wie die Temperatur der Sternoberflächen wäre, würden sich diese stellaren Tropfen dagegen wieder *zu* diffusen Gasen auflösen und die Sterne verschwinden lassen. Es lag also auch hier eine thermodynamisch reversible Strukturbildung vor. Diese Erkenntnis wiederholt sich gleichermaßen auch bei größeren kosmischen Strukturen wie Kugelsternhaufen, Galaxien und Galaxienhaufen. Überhaupt scheint Evolution in der Physik überall etwas mit dem generellen Phänomen des Herausbaues von langlebigen Strukturen unter gegebenen thermodynamischen Randbedingungen zu tun zu haben, wobei Langlebigkeit, wie später noch erörtert werden wird, in den verschiedenen Bereichen des thermodynamischen Parameterraumes sich allerdings sehr unterschiedlich definiert.

## 4.8 Evolution und kosmologische Entropiegeschichte

Warum ist die kosmologische Evolution, die sich seit dem sogenannten Urknall im Universum vollzieht, nicht einfach ein Weg in den Entropietod? Und warum ist dieser Weg nicht schon längst am Ende angekommen? Alles kosmische Geschehen soll doch von einem extrem heißen, auf kleinsten Raum konzentrierten Ursubstrat ausgegangen sein. Wenn die kosmische Expansion danach gemäß den Gesetzen der Thermodynamik abläuft, so muß jeder Fortschritt in der Zeit mit dem Wachstum kosmischer Unordnung oder kosmischer Entropie einhergehen. Die kosmische Entropie muß demnach im Urknall am niedrigsten gewesen sein, bzw. die kosmische Information am größten. Wenn die gleichförmig verteilte kosmische Materie der kosmischen Expansion unterworfen ist, so stellt sich die Frage, wie sich die kosmische Entropie bei dieser Expansion verhält.

Abbildung 13 zeigt verschiedene, mit Einstein's Feldgleichungen vereinbare Verläufe der Ausdehnung des Kosmos als Funktion der Zeit, dennoch stellt sich heraus, daß die kosmische Entropie bei diesen unterschiedlichen Verläufen sich auch sehr unterschiedlich entwickeln würde. Wenn der Welthorizont nämlich überschallschnell (steiler Anstieg der Weltlinie!) expandiert, so vergrößert sich der kosmische Phasenraum (Kombination von Ortsraum und Geschwindigkeitsraum der kosmischen Materie) und die Weltentropie nimmt zu. Wenn der Welthorizont dagegen unterschallschnell (schwacher Anstieg der Weltkurve) expandiert, so bleibt der kosmische Phasenraum und die kosmische Entropie konstant.

**Capgemini**  
CONSULTING. TECHNOLOGY. OUTSOURCING

Jetzt **bewerben** und jederzeit einsteigen!

**FastTrack**  
IT-Einsteigerprogramm für Bachelor- und Masterabsolventen

**Durchstarten in Ihre IT-Karriere**

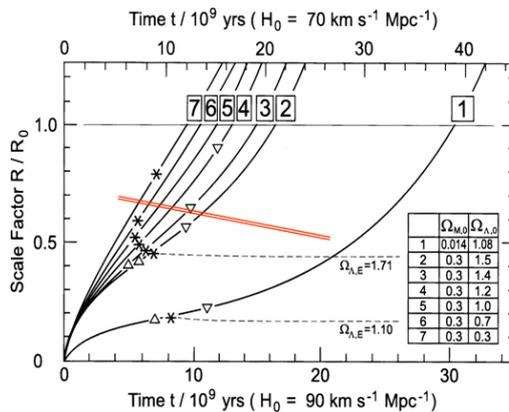
Unser 18-monatiges Programm bildet die perfekte Grundlage für Ihren beruflichen Erfolg: Arbeit in Top-Projekten, Ausbildung in fachlichen und Soft-Skill-Trainings, Betreuung durch einen persönlichen Mentor und Austausch mit Kollegen aus aller Welt. Ihren Schwerpunkt wählen Sie selbst:

- **Business Technology Consulting**
- **Individuelle Softwarelösungen**
- **Lösungen auf Basis von Standardsoftware**
- **Business Information Management**
- **Application Lifecycle Services**

Mehr Informationen auf [www.capgemini.de/karriere](http://www.capgemini.de/karriere)

**f** **XING**

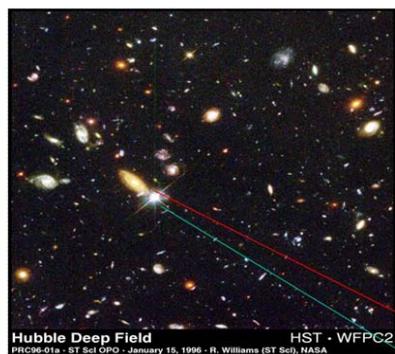
People matter, results count.



- Wie verhält sich die Materie bei kosmischer Expansion?
- Wenn der Welthorizont supersonisch expandiert:
- Phasenraum und Entropie werden größer!
- -----
- Wenn der Welthorizont subsonisch expandiert:
- Phasenraum und Entropie bleiben konstant!

Abbildung 13: Entropieverhalten des expandierenden Kosmos

Komplizierter wird dieses Verhalten dann, wenn sich im Kosmos bereits Inhomogenitäten entwickelt haben, wie in Abbildung 14 gezeigt, die im thermodynamischen Sinne als kosmische Nichtgleichgewichtssysteme anzusprechen sind. Hier gilt, daß die heißeren Systeme mit den kühleren Energie austauschen. Bei diesem Energieaustausch reduziert sich die Entropie in den heißeren, und sie vergrößert sich dagegen in den kühleren Systemen. Die Entropieuhren laufen also in ersteren rückwärts, in letzteren dagegen vorwärts. Entropiemäßig gesehen altern also die kühleren Systeme stärker! Wenn man sich unter diesen Vorgaben die Welt zur Zeit der Bildung der Hintergrundstrahlung anschaut, als Strahlung und Materie sich physikalisch entkoppelten (genannt: Rekombinationszeitpunkt!), so sieht man eine Welt, wie sie derzeit von den Satelliten COBE und WMAP gesehen wird: eine Welt nämlich im Zustand extremster Gleichgewichtsnähe, ausgezeichnet von extremer Gleichförmigkeit (mit Temperatur-Fluktuationen im Bereich von Hunderttausendsteln!) und einer Temperatur von etwa 3 Grad Kelvin. In dieser Phase sollte der Kosmos also eigentlich bereits in seinem Entropiemaximum angekommen sein! Warum entwickelt sich danach dann überhaupt noch etwas danach? Warum tritt hier nicht bereits der totale Weltenstillstand ein?



- Die kosmische Entropieuhr läuft vorwärts in kalten Teilbereichen, sie läuft aber rückwärts in heißen Teilbereichen:
- $t = t_0 \times \text{Exp}(S/S_0)$
- $ds(1) = -dQ/T(1)$
- $ds(2) = +dQ/T(2)$

Abbildung 14: Der Kosmos: ein geschlossenes thermodynamisches System?

Das liegt daran, daß sich in der thermodynamischen Geschichte des Universums immer wieder typische Symmetriebrüche abspielen, bei denen plötzlich ein Verhaltensunterschied zwischen bestimmten Spezies hervortritt, der vorher nicht in Erscheinung getreten war. Im Falle des Rekombinationszeitpunktes hängt dies mit der Entkopplung von Photonen und Elektronen zusammen, die sich hernach dann unterschiedlich bei der weiteren Expansion des Kosmos verhalten. Während sich die Temperatur der Materie, also der Baryonen und Elektronen, proportional zum reziproken Quadrat des Weltdurchmessers verringert, fällt die Temperatur der kosmischen Hintergrundstrahlung nur mit dem reziproken Weltdurchmesser. Die Photonen bleiben also bei der weiteren Ausdehnung des Universums heißer als die Baryonen, und damit bildet sich nun ein neues thermodynamisches Ungleichgewicht heraus, das weitere Entropieerzeugungsprozesse durch Energieübertragung möglich macht.

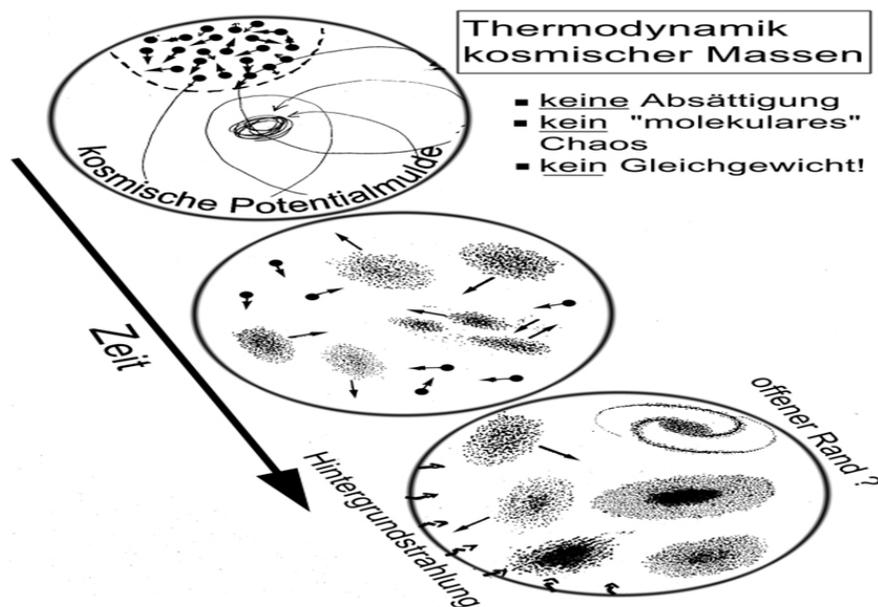


Abbildung 15: Warum ist der Kosmos kein Boltzmann'scher Kasten?

Für die Entropiegeschichte des Universums ist es also von größter Wichtigkeit, daß es im Laufe dieser Geschichte zu Symmetriebrüchen kommt. Wenn wir es im Weltall nur mit einer einzigen unveränderlichen Gasteilchensorte und nur einem auf kürzesten Distanzen wirkenden Kraftfeld zu tun hätten, so wäre die Geschichte des Weltalls schnell erzählt: Sie würde verlaufen wie diejenige vieler, auf kleinem Raum eingesperrter Moleküle, denen zu einem bestimmten Zeitpunkt oder fortdauernd ein größerer Raum zur Verfügung gestellt wird. Die Gasmoleküle verteilen sich durch Stöße mit sich selber und mit den Kastenwänden immer gleichmäßiger auf den ihnen zur Verfügung gestellten Raum und sorgen dafür, daß die von Boltzmann eingeführte, berühmte Neg-Entropiefunktion  $H(t)$  (siehe z.B. Fahr, 1996, 2003) ständig mit fortschreitender Zeit kleiner wird.

Wenn es jedoch zu Symmetriebrüchen in der Materie kommt, indem also plötzlich beispielsweise Photonen, Elektronen und Baryonen sich unterschiedlich voneinander zu verhalten beginnen, und es zudem auch zu Symmetriebrüchen in den Kräften kommt, indem schwache, starke, elektromagnetische und gravitative Kräfte in ihrem Verhalten auf Materie voneinander abweichen, dann kann weitergehende Strukturbildung auch bei fortschreitender Entropieerzeugung im Gesamtkosmos ablaufen. Stellen wir uns kosmische Materie, statt in einem Boltzmann'schen Kasten, in einer kosmischen Schwerepotentialmulde eingesperrt vor. Selbst wenn zu Anfang alle Materie auf einem Teilvolumen dieser Potentialmulde verteilt ist, um danach dann in die Freiheit des Gesamtvolumens entlassen zu werden, so kommt es dennoch hierbei **nicht** zu der Boltzmann'sch erwarteten Gleichverteilung, sondern zu wachsender gravitativer Strukturbildung der Materie. Das liegt daran, daß hier langreichweitige, gravitative Kräfte zwischen den Materieverteilungen ins Spiel kommen, die sich nicht auf kurzen Distanzen aufheben und das geforderte „molekulare Chaos“ etablieren, sondern daß es zur Bildung von gravitativ gebundenen Massensystemen kommt, höheren Ordnungshierarchien, solange das äquivalent der dabei etablierten gravitativen Bindungsenergien in Form elektromagnetischer Strahlung über den Rand der Potentialmulde in den weiteren Kosmos abgestrahlt werden kann (siehe Abbildung 15).

Deutsche Bank  
[db.com/careers](https://www.db.com/careers)

## Können Banktechnologien die Welt verändern?

Ein wacher Verstand weiß, dass dies längst Alltag ist

### Ihr Weg zu Group Technology & Operations (GTO)

Technologie ist der Motor der Finanzindustrie. Sie ermöglicht Geschäfte über Zeitzonen hinweg, liefert wichtige Entscheidungshilfen und schafft die Verbindung zu anderen Banken und unseren Kunden. Ohne Technologie – und damit bald ohne Sie – wäre die Welt eine andere. Ob als Praktikant oder Trainee: Sie erschließen mit uns neue technische Einsatzfelder, lösen komplexe Aufgaben und überschreiten die Grenzen des technisch Möglichen: ob Sie Ihre Zukunft in der Entwicklung, Analyse oder im Management sehen.

Entdecken Sie den Unterschied auf [db.com/careers/jobs](https://www.db.com/careers/jobs)

*Leistung aus Leidenschaft*



Während in einem abgeschlossenen System der klassischen Thermodynamik das sogenannte Gibbs'sche Potential, gegeben durch  $G = U + P * V - T * S$ , als Attraktor des Systemzustandes fungiert, wobei  $U$  die innere Energie,  $P$  der Gasdruck,  $V$  das Volumen des Systems,  $T$  die Gastemperatur, und  $S$  die Gasentropie bezeichnen, übernimmt in kosmischen Dimensionen, in der Zeit nach dem Rekombinationszeitpunkt, ein erweitertes Potential, man könnte es das „Kosmische Gibbs Potential“ nennen, daß wie folgt aufgebaut ist:  $G_c = U + (P + P_\nu) * V - T * (S + S_\nu) - E_G$  und jetzt die entsprechende Rolle eines kosmischen Attraktors annimmt, wobei die gravitative Bindungsenergie  $E_G$ , der Photonendruck  $P_\nu$ , und die Photonenentropie  $S_\nu$  hier als zusätzliche Terme auftreten (siehe Fahr, 2004). Dieser Attraktor fungiert sozusagen als Fingerzeig für das kosmische System, in welche kosmisch-thermodynamische Richtung es sich zustandsmäßig entwickeln und wie es sich hierarchisch strukturieren soll. Und zwar findet die Entwicklung des kosmischen Systems immer in Richtung auf Verkleinerung und letztlich auf Minimierung der Funktion  $G_c$  statt. Wenn also gewisse Mengen kosmischer Gasmassen in gravitativ gebundene Systeme aufgenommen werden, so erhöht sich dadurch die kosmische Bindungsenergie  $E_G$ , zusätzlich aber erhöht sich auch der kosmische Photonendruck und die Photonenentropie. In einem zeitunabhängigen kosmischen System würde der Attraktor  $G_c$  also dafür sorgen, daß das System letztendlich in einer stabilen Form von Strukturiertheit ankommt und dort verharret.

Im Einzelfall sind die numerischen Berechnungen der einzelnen Terme der kosmischen Gibbsfunktion  $G_c$  allerdings hoch nichttrivial, sondern sie verlangen die Kenntnis des inneren Materiezustandes von Gasmassen auf jeder Strukturskala  $L$ , was zum Beispiel auch die Kenntnis der Photonproduktion bei der Kernfusion in den Sternen auf der Strukturstufe  $L$  verlangt. Wenn man aber dieses Entropiebild der Strukturierung ernstnimmt und an der kosmischen Häufigkeit von Helium-zu-Wasserstoff von 1- zu -10 abliest, wieviel Fusion im bisherigen Weltall abgelaufen sein muß, so errechnet sich überraschender Weise genau das ansonsten völlig „magische“ Zahlenverhältnis von 1- zu -10<sup>9</sup> = 10<sup>-9</sup> von Baryonen-zu-Photonen einfach als das Entropiebild des heutigen Universums (siehe auch Fahr, 2004).

## 4.9 Innovative Ereignisse im frühen Universum

Evolution, so wie wir zusammenfassend hervorheben möchten, ist also nur aufgrund von innovativen Ereignissen in der sich einrichtenden physikalischen Weltenbühne möglich. Bei solchen Ereignissen ändert die Natur sozusagen wie bei einer DNA-Mutation ihre genetische Matrixstruktur, oder, vielleicht anders gesagt, sie läßt eine genetisch-physikalische Komponente in Erscheinung treten, die bis zu diesem Zeitpunkt nicht manifest war, sondern im Verborgenen ruhte. Während im heißesten Ur-Universum Teilchen, Antiteilchen und Photonen alle einander gleich waren, sich beliebig ineinander umwandeln konnten und sich gleichartig unter der Wirkung der einzigvorhandenen, vereinheitlichten Kraft verhielten, begannen bei später im Zuge rein physikalischer Systementwicklung hervortretenden, geänderten thermodynamischen Rahmenbedingungen, alle diese Teilchen und die zwischen ihnen wirkenden Kräfte sich voneinander zu unterscheiden. Mit solchen Ereignissen eröffnet sich der physikalische Kosmos neue Freiheitsgrade und neue Entwicklungswege. Die Physik des frühesten Kosmos war vergleichsweise zur Physik des heutigen Kosmos sehr einfach und hätte die spätere Strukturentwicklung in gar keinem Falle auf der Basis der bis dahin relevanten Physik absehen lassen. Evolution geschieht also durch Aktivierung oder Inkrafttreten neuer Freiheitsgrade und neuer Vielfältigkeiten. Man kann dies mit einem kurzen Blick auf die frühesten kosmischen Geschehnisse noch ein wenig mehr im Detail klar machen.

Nach heutigen Vorstellungen sollte sich im frühen, sehr dichten und heißen Universum folgendes abspielen: Bei Temperaturen von über  $10^{30}K$  ist das sog. „skalare Higgsfeld“ bei einem Wert der Higgs-Feldfunktion von  $\Phi = 0$  zunächst in einem „falschen“ Vakuumzustand eingefangen. In diesem Zustand kommt dem Vakuum eine bestimmte Energiedichte  $\epsilon_o = \epsilon(\Phi = 0)$  zu, welche einen „falschen“ Vakuumzustand charakterisiert, weil es einen anderen Nachbarbereich der skalaren Higgsfeldfunktion  $\Phi_1 \geq 0$  gibt, bei der das Vakuum eine kleinere Energiedichte  $\epsilon_1 = \epsilon(\Phi_1) \leq \epsilon_o$  besitzen würde. Ein spontaner Übergang vom falschen in den energieärmeren, wahren Vakuumzustand ist jedoch bei Temperaturen von  $T_h \geq 10^{30}K$  nicht möglich, weil der Zustand  $\Phi = 0$  bei solchen Temperaturen ein lokales Minimum repräsentiert (siehe Guth, 1995).

Bei fallender Welttemperatur verändert sich jedoch der Funktionsverlauf der Vakuumenergiedichte  $\epsilon = \epsilon(\Phi)$  derart, daß schließlich bei  $T = T_{hc}$ , also bei Unterschreiten einer kritischen Temperatur, der vorherige Vakuumzustand  $\phi = 0$  nunmehr ein lokales Maximum der Energiekurve darstellt. Von diesem Moment an kann der spontane Übergang in den „wahren“ Vakuumzustand erfolgen. Dieser Zerfallsprozeß wird auch als ein Zerfall des masselosen in ein massgeladenes Vakuum beschrieben, weil alle vorhandenen Elementarteilchen im Zustand des falschen Higgsvakuums weder Masse noch Ruheenergie besitzen, jedoch beim Umschlag in den Zustand des wahren Vakuums plötzlich durch ihre Kopplung an die skalaren Higgsfeldbosonen, die quantenhaften Träger des Higgsfeldes, Masse und damit Ruheenergie vermittelt bekommen.

Es ist genau dieser Moment, in dem sich ein drastischer Symmetriebruch vollzieht; plötzlich treten alle Teilchen, nachdem sie jetzt mit Masse und Energie behaftet wurden, als voneinander unterscheidbar hervor, während sie vorher ununterscheidbar waren. In ihnen schlummerte jedoch ein bei überkritischen Temperaturen unaktiviertes und daher unentdeckbares „Gen“, das jetzt für die unterschiedliche Massenbildung verantwortlich wird. Da man annehmen muß, daß die Stärke der Higgsbosonenkopplung an die verschiedenen Elementarteilchen „gen-bedingt“ unterschiedlich ist, dann wird klar, daß nach dieser Ankopplung die verschiedenen Teilchen sehr unterschiedliche Massen besitzen. Elementarteilchen, die bis dahin alle wegen verschwindender Ruhemasse einander gleich waren, unterscheiden sich auf einmal und, wenn nicht die hohen überkritischen Temperaturen von ehemals zurückkehren, auch auf Dauer durch ihren spezifischen Massenwert drastisch.

In der Anfangsphase des kosmischen Geschehens bei überkritischen Temperaturen sollte also ein Zustand eines energiegeladenen Vakuums vorliegen. Mit diesem Zustand eines „energiegeladenen Vakuums“ ist jedoch die Besonderheit verbunden, daß der Energieinhalt des Universums sich vermehrt, wenn immer der Weltraum sich ausdehnt. Dies Verhalten ist entgegen der Thermodynamik eines normalphysikalischen Systems, bei dem Energie aufgewendet werden muß, wenn es sich bei gegebenem Druck ausdehnen soll. Im Falle dieses falschen Vakuums liegt offensichtlich so etwas wie ein „negativer Druck“ des Weltalls vor, der antithermodynamisch wirkt und das Weltall aufbläst, d.h. zu beschleunigter Expansion antreibt. Hiernach läßt sich die Anfangsphase des Universums als eine inflationäre Expansion eines falschen Vakuums, nur angefüllt mit absolut masselosen Teilchen, vorstellen.

Mit einer solchen Anfangsexpansion ist dann allerdings eine Abnahme der Temperatur unter den Wert  $T_{hc}$  der kritischen Temperatur verbunden, also ein Übergang in immer neue thermodynamische Zustände des Kosmos, bei denen sich der Umschlag in den wahren Vakuumzustand vollzieht, der energielos ist. Mit diesem Übergang sind aber gleichzeitig eine ganze Reihe von Symmetriebrüchen verbunden; während die inflationäre Expansion aufgrund des energielos gewordenen Vakuums endet, treten gleichzeitig masse-geladene Teilchen unterschiedlicher Art und unterschiedliche zwischen ihnen wirkende Kräfte hervor. Bei jedem solchen Symmetriebruch ändert die Natur ersichtlich interessanterweise ihre Gesetzmäßigkeiten,- oder wenn man so will, ihren Verhaltenskodex. Ein Symmetriebruch liegt hier darin, daß alle Teilchen, die bisher hinsichtlich ihrer Massen einander gleich waren, nunmehr sich bezüglich Masse voneinander unterscheiden. Ein weiterer, für den bis bisherigen Kosmos unbekannter Umstand tritt noch hinzu; die im Kosmos plötzlich massengeladenen Teilchen stehen nicht mehr nur über eine vereinheitlichte Kraft in Wechselwirkung, vielmehr wirken sie plötzlich aufgrund ihrer Massen auch erstmalig gravitativ aufeinander ein und beginnen die bis dahin aufgekommene Expansionsbewegung des Kosmos zu bremsen. Ein neues Zeitalter eines seine Expansion dezelerierenden Kosmos bricht somit an, die man aus der Physik des davorliegenden Kosmos nicht hätte herleiten können!

Eine ganze Reihe weiterer Symmetriebrüche ergeben sich danach im Zuge der weitergehenden Abkühlung im Universum, und jedesmal geht dies einher mit der grundlegenden Veränderung gewisser Naturgesetze bzw dem Hinzutreten neuer Gesetzmäßigkeiten. Die heutigen uns vertrauten Asymmetrien unter den Teilchen und Kräften der Natur ist somit nichts anderes als eine Erscheinungsform eines kosmischen Systems geringer Temperatur. Die Baryonen, Leptonen, Mesonen, Hyperonen unterscheiden sich deswegen in ihren Massen und ihrer Art, wie sie an bestimmte Kraftfelder koppeln, weil sie eine spezifische elektrische Ladung, Farbladung, „schwache Ladung“ und Masseladung tragen. In der Gegenrichtung läßt sich logischerweise andererseits auch feststellen: Einer Vereinheitlichung von Kräften und Teilchen, sowie Kräften mit Teilchen, strebt das kosmische System dann entgegen, wenn seine Energiedichte immer höher wird. Wenn wir also die heutige Expansionsbewegung des Kosmos in die Vergangenheit umkehren, so werden wir in Zustände immer höherer Temperaturen zurückgeführt, bei der immer mehr Symmetrien in Kraft treten, bei der sich zunächst die elektromagnetischen mit den schwachen Wechselwirkungskräften vereinheitlichen ( $kT \simeq 10^{15} eV$ ) und bei der sich schließlich dann auch die elektroschwachen Kräfte mit den starken Wechselwirkungskräften vereinheitlichen. Danach sind alle Teilchen hinsichtlich ihrer Ladungen völlig gleich, bzw. es gibt keinen Prozeß mehr, der sie hinsichtlich ihrer Ladungen voneinander zu unterscheiden gestatten würde. Oberhalb der kritischen Temperatur  $T_{hc}$  gibt es dann auch keinen Prozeß mehr, mit dem es möglich wäre, die Teilchen bezüglich ihrer Massen zu differenzieren. Die große Vereinheitlichung tritt also automatisch im Hochenergieuniversum in Kraft. Die Strukturen, Vielfältigkeiten und materiellen Hierarchien, die wir heute in unserer Welt vorfinden, sind demnach einfach ein Phänomen der niederen Temperaturen in unserem heutigen Kosmos. Andererseits erkennt man aber auch, daß es Unterschiede bereits im Anfang der Welt, als genetische Matrix der Urmaterie angelegt, gegeben haben muß, da ansonsten auch durch Symmetriebruch kein Unterschied zum Vorschein kommen könnte.

# Stichwortverzeichnis

## Zu Spezialbegriffen dieses Buches:

### Gleichzeitigkeitsraum:

Der Raum des Kosmos, der zu einem festen Welt-Zeitpunkt  $t=t_i$  gehört und gegeben ist. Das heißt: Also nicht der Raum, den die Sterne durch das Licht aufspannen, das sie zu uns schicken, denn das Licht braucht Zeit, bis es zu uns gelangt. Gemeint ist vielmehr der Raum, der zu einem bestimmten Zeitmoment existiert und für den nach dem kosmologischen Prinzip eine Gleicherfüllung mit Materie zu fordern ist.

### raumartig-homogen:

Gemeint ist die homogene Massenerfüllung des Gleichzeitigkeitsraums, die unter dem kosmologischen Prinzip zu fordern ist. Der Raum, den wir von den Sternen erfüllt sehen, ist kein Gleichzeitigkeitsraum und in ihm finden wir auch keine Homogenität vor, denn wir sehen in größeren Fernen Raumdichten, die bei expandierendem Kosmos größer sind als Dichten in der lokalen Umgebung.

### Gleichzeitigkeitsmasse:

Dies bezeichnet die Masse im Gleichzeitigkeitsraum. Wenn wir die ganze Welt zu einem festen Weltzeitpunkt erfassen könnten, so könnte die darin erfaßte Gesamtmasse als die Gleichzeitigkeitsmasse des Universums bezeichnet werden. Sie könnte auch mit gewissem Sinn als die Gesamtmasse des Universums bezeichnet werden.

### Massenhorizont:

Wenn wir davon ausgehen, dass die Welt raumartig homogen ist, so sind wir in einem Gleichzeitigkeitsraum von einer konstanten, kosmischen Massendichte umgeben. Unseren, sowie jeden anderen Weltzeitpunkt, können wir deshalb von einer Weltmasse umgeben sehen, ähnlich wie auch das Zentrum eines Sternes von seiner stellaren Masse umgeben ist. Bei Verwendung einer „inneren Schwarzschild“-Metrik zur Beschreibung dieser Situation ist die Massenumgebung allerdings von einem Horizont umgeben, weil dort das Weltlinienelement unendlich wird. In dieser Gleichzeitigkeitswelt sehen wir demnach nur bis zu einem bestimmten Massenhorizont.

### raum-zeitliche Massensumme:

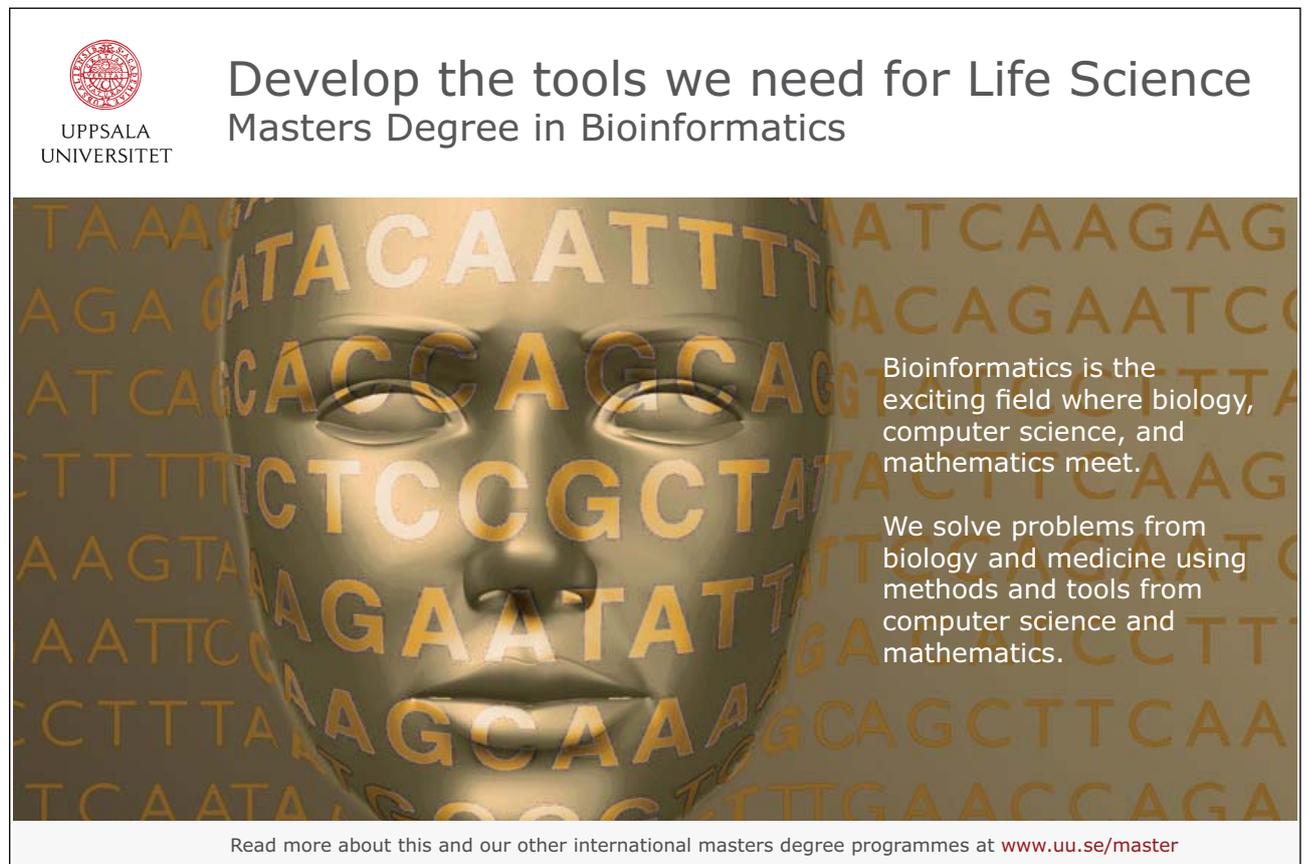
Wenn wir eine raum-zeitliche Massensumme bilden würden, so addierten wir dabei Massenschale zu Massenschale mit wachsendem Schalenradius  $\mathbf{r}$ , wobei die ferneren Massenschalen jedoch einen um  $\tau = \mathbf{r}/c$  früheren Zustand des Universums repräsentieren, in dem die Dichten  $\rho = \rho(t - \tau)$  bei expandierendem Universum größer waren. Wir würden sozusagen nicht zeitgleiche Zustände des Universums schalenweise aufaddieren. Eine solche Summe macht physikalisch keinen Sinn.

### Mach'sches Massenphänomen:

Nach Ernst Mach ist die Trägheit eines jeden Körpers keine genuine, körpereigene Größe. Vielmehr muß diese Trägheit eine Reaktion auf die Anwesenheit und Verteilung anderer Körper im Weltall sein. Dies ließ schon zu Mach's Zeiten (1889) den Schluß zu, daß träge Massen und die Ausdehnung des Universums etwas miteinander zu tun haben sollten, in dem Sinne, dass Massen mit der Ausdehnung des Universums wachsen sollten.

### Eigendichte:

Als Eigendichte bezeichnen wir die Dichte, wie sie in einem freifliegenden, vom Gravitationsfeld bewegten Bezugssystem als Masse pro ff-Volumen, also proVolumen gebildet im freifliegenden Inertialsystem, formuliert würde. In gekrümmten Räumen ist jedoch die Raumeinheit  $dx^i dx^j dx^k$  selbst bei  $dx^{i,j,k} = 1cm$  nicht ein Kubikzentimeter, sondern gegeben durch  $d^3V = \sqrt{-g^3} dx^i dx^j dx^k \geq 1cm^3$ . Hierbei ist  $g^3$  die Determinante der Raummetrik  $g_{lm}$ .



  
UPPSALA  
UNIVERSITET

## Develop the tools we need for Life Science Masters Degree in Bioinformatics

Bioinformatics is the exciting field where biology, computer science, and mathematics meet.

We solve problems from biology and medicine using methods and tools from computer science and mathematics.

Read more about this and our other international masters degree programmes at [www.uu.se/master](http://www.uu.se/master)



### Dunkle Energie:

Von „dunkler“ Energie spricht man, seit man glaubt, dem leeren Raum eine Energie zusprechen zu müssen, wie es eventuell die Theorie des Quantenvakuums nahelegt. Es ist interessanterweise von dieser Konzeption her eine Energie, die dem Volumen aufgrund seiner Größe zukommt. Vielfach wird heute in der modernen Kosmologie davon ausgegangen, dass der dunklen Energie eine „konstante“ Energiedichte zukommt, eine Vorstellung, der wir in unserem Buch jedoch mit großer Skepsis begegnen.

### Vakuumenergie:

Dahinter verbirgt sich das gleiche Phänomen wie oben schon erläutert unter dem Begriff „dunkle Energie“, denn die Energie, die hier gemeint ist, ergibt sich aus Betrachtungen der Quantenfeldtheorie, wonach kein Quantenfeld auf den Energiewert „Null“ reduziert werden kann, vielmehr verbleibt jedem Quantenfeld die Grundzustandsenergie seines Eigenoszillators  $E_0 = h \cdot \omega$ . Dies sollte allerdings grundsätzlich zu großen positivwertigen Vakuumenergiedichten führen, wie sie allerdings in der Kosmologie nicht verkraftet werden können, was ein großes Problem der heutigen Zeit darstellt.

### Kosmologische Konstante:

1917 hat Albert Einstein eine sog. „kosmologische Konstante  $\Lambda$ “ in seine ART Feldgleichungen eingeführt, mit der eine Möglichkeit eines statischen Universums geschaffen werden sollte. Wie sich inzwischen zeigte, verkörpert diese Konstante formal so etwas wie eine konstante Vakuumenergiedichte, die Einstein jedoch bei Einführung dieser Größe nicht vorschwebte.

### Volumenenergie:

Wenn immer der Raum energiegeladen ist, wie etwa im Falle der „dunklen Energie“, so läßt sich von Raumenergie reden, denn dem Raum kommt in diesem Falle Energie gemäß seiner Größe zu.

### Fermionisches Quantenvakuum.

Wenn man unter den Quantenfelder nur die Felder der fermionischen Teilchen (also der Spin= $\frac{1}{2}$  Teilchen wie Elektron, Proton, Neutron etc.) verstehen will, so spricht man in diesem Falle vom fermionischen Quantenvakuum. Es gibt allerdings auch ein „bosonisches“ Quantenvakuum, also das Vakuum bosonischer Spin=1 Teilchen, wie zum Beispiel das Vakuum elektromagnetischer Photonen, dessen Energie jedoch negativ ist.

### Dunkle Materie:

Seit etlichen Jahren ist vermehrt die Rede von einer exotischen Materieform, die man „dunkel Materie“ nennt, weil sie mit Licht, also elektromagnetischer Strahlung, nicht wechselwirken kann. Man sieht diese Materie also nicht, weder in Emission noch in Absorption, das Weltall spürt lediglich die Gravitationswirkung dieser Materie, und genau aus diesem Grunde ist sie für die Kosmologie wichtig. Im Gegensatz zur dunkelen energie führt diese Form der Materie jedoch nicht zu einer Volumenenergie, vielmehr hängt die Energie dieser Materie mit der Energie der „Dunkelmaterieteilchen“ zusammen, ist also Teilchen-bezogen.

### Krümmungsisotropie:

Isotrope Krümmung im Weltall bezeichnet das Phänomen, dass kein Punkt im Weltall vor einem anderen aufgrund seiner Raumkrümmung ausgezeichnet ist; das heißt: überall herrscht die gleiche Krümmung. Dies kann nur gehen, wenn die Krümmung auch richtungsisotrop ist, das heißt, wenn von jedem Weltpunkt ein Lichtstrahl die gleiche geometrische Bahn durch läuft, ganz gleich in welche Richtung man ihn aussendet. Bei Gegenheit dieser Krümmungsisotropie lassen sich die Feldgleichungen so vereinfachen, dass die überhaupt möglichen Krümmungen vom sog. Krümmungsparameter  $k$  in Form drei verschiedener Werte reduzieren, nämlich  $k = +1$  (positiv gekrümmter Raum),  $k = 0$  (ungekrümmter Raum), und  $k = -1$  (negativ gekrümmter Raum).

### Robertson-Walker Metrik:

Bei Gegebenheit von Krümmungsisotropie ist die von Robertson und Walker eingeführte Form des Metrikensors die höchstsymmetrische und angemessenste Metrikform. In dieser verbleibt als Unbekannte nur der Weltradius  $R$  als unbekannte Funktion der Weltzeit.

### Hubble Konstante:

Die Hubble-Konstante stellt in der Kosmologie eigentlich durchaus keine Konstante, sondern eher eine variable Größe definiert durch  $H = \dot{R}/R$  dar. Nur wenn man diese Größe auf die Galaxien in unserer unmittelbaren kosmischen Nachbarschaft anwendet und damit auf unsere heutige Zeit  $t = t_0$  bezieht, dann hat man mit der Hubble-Größe  $H_0 = \dot{R}_0/R_0$  zu tun, welche eine konstante Zahl ist. Sie wurde von Edwin Hubble ursprünglich 1929 mit einem Wert von 500 km/s/Mpc festgestellt, beträgt aber nach neuesten Feststellungen in unserer Zeit eher 73 km/s/Mpc.

### Die kritische Dichte:

Als kritische Dichte bezeichnet man in der Kosmologie diejenige Dichte  $\rho_c$ , bei der das „klassische“ Friedman-Lemaitre Universum auf ewig weiter expandieren würde. Diese Dichte errechnet sich zu  $\rho_c = 3H_0^2/8\pi G$  und dient als geeignete Normierung für alle anderen Formen von Massendichten, die man in der Kosmologie diskutieren muß.

### Kosmologisches Konsensmodell:

Als Konsensmodell bezeichnet man in der modernen Kosmologie dasjenige Modell, das auf der Basis der Friedman-Lemaitre-Robertson-Walker Kosmologie gewonnen wird und die beste Entsprechung zu neuesten Supernovadaten (Perlmutter et al., 1998) sowie WMAP-Daten (Bennet et al., 2003) liefert. Hierin werden fünf kosmologisch relevante Größen festgelegt wie:  $k = 0$ ;  $H_0 = 73 \text{ km/s/Mpc}$ ;  $\Omega_b = 0.04$ ;  $\Omega_d = 0.23$ ;  $\Omega_\Lambda = 0.73$ , mit denen der aktuelle Kosmos beschrieben werden soll.

### Kosmische Hintergrundstrahlung:

Aus der Frühzeit des Kosmos zur Zeit der Rekombination der Materie zu neutralen Atomen verbleibt eine Strahlung, die vom Welthorizont in fast gleichmäßiger Intensität zu uns dringt. Ihr Intensitätsschwerpunkt liegt im Bereich der Mikrowellen und ihr Spektrum ist das eines Schwarzschrählers mit der Temperatur von 2.735 K.

### WMAP-Daten:

Mit dem Satelliten *Wilkinson Microwave Anisotropy Probe* (WMAP) ist die bisher beste Strukturvermessung der kosmischen Hintergrundstrahlung durchgeführt worden. Hierin zeigt sich, dass es am Horizont insgesamt nur Temperaturschwankungen dieser Strahlung in der Größenordnung von  $\Delta T/T \simeq 10^{-5}$  zu erkennen gibt.



A NEW FUTURE  
IS WAITING FOR  
YOU AT ERICSSON.

Look up for our continuous offers of graduate positions at our various locations within Germany (Backnang, Duesseldorf, Frankfurt, Herzogenrath/Aachen). We are looking forward to getting to know you! Apply via the internet: [www.ericsson.com/careers](http://www.ericsson.com/careers)



# Literatur

Anderson, J.D., Laing, P.A., Lau, E.L. et al.: Indication from Pioneer 10/11, Galileo and Ulysses data of an apparent anomalous, weak, long-range acceleration, *Phys.Rev.Letters*, 81 (14) 2858–2861, 1998

Barrow, J.D.: „The book of Nothing: Vacuum, voids and the latest ideas about the origin of the universe“, Pantheon Press, New York, 2000

Bennet, C.I., Halpern, M., Hinshaw, G. et al.: First year of Wilkinson Anisotropy Probe (WMAP) observations, *Astrophys.Journal Supplements*, 148, 1–27, 2003

Blome, H.J., Hoell, J., and Priester, W.: „Kosmologie“, in Bergmann-Schäfer, *Lehrbuch der Experimentalphysik*, Bd.8: Sterne und Weltraum, Walter de Gruyter GmbH & Co.KG, Berlin, 2002, 439–582

Bondi, H. and Gold, T.: The steady state theory of the expanding universe, *Monthly Notices Royal Astron. Soc.*, 108, 252–270, 1948

Buchert, T.: On average properties of inhomogeneous fluids in general relativity: Dust cosmologies, *Gen. Rel. and Gravitation*, 32(1), 105–125, 2000

Buchert, T.: On average properties of inhomogeneous fluids in general relativity: Perfect fluid cosmologies, *Gen. Rel. and Gravitation*, 33, 1381–1393, 2001

Buchert, T.: A cosmic equation of state for the inhomogeneous universe; can a global far-from-equilibrium state explain dark energy?, *Class, Quant.Grav.*, 23, 817–828, 2006

Buchert, T.: „Dark energy from structure: A status report“, *General Rel. and Gravitation*, 40, 467–527, 2008

Buchmüller, W. and Philipsen, O.: *Nuclear Physics*, B443, 47, 1995

Buchmüller, W.: Die Struktur des Vakuums, *Physik in unserer Zeit*, 29(5), 211–217, 1998

Davis, T.M., and Lineweaver, C.H.: Expanding confusion: common misconceptions of cosmological horizons and superluminal expansion of the universe, *arXiv: astro-ph/0310808*, v2, 2003

Dutta Choudhury, S.B. and Sil, A.:  $\Lambda$ - variable cosmological models with viscous fluids, *Astrophys. Space Sci.*, 301, 61–64, 2006

Einstein, A. and Straus, E.G.: The influence of the expansion of space on the gravitation fields surrounding individual stars, *Reviews of Modern Phys.*, 17(2), 120–124, 1945

Einstein, A.: Kosmologische Betrachtungen zur Allgemeinen Relativitätstheorie, *Sitzungsberichte der K.P.Akademie der Wissenschaften, Phys.Math. Klasse*, 142–152, 1917

Einstein, A.: „Über die Spezielle und Allgemeine Relativitätstheorie“, 5th Edition, Vieweg Verlag, Braunschweig 1973, pp. 77–82

Einstein, A. and de Sitter, W.: *Proc.Nat.Acad.Sci.*, 18, 213–219, 1932

Ellis, G.F.R.: Relativistic cosmology – its nature, aims, and problems, In: *General Relativity and Gravitation*, D.Reidel Publ.Comp., Dordrecht 1984, ed.by B.Bertotti, F.de Felice, and A. Pascolini, pp. 215–288, 1984

Fahr, H.J.: The cosmology of empty space: How heavy is the vacuum?, in :*Philosophy of Natural Sciences*, Volume 33, *Proc. of 26.th Wittgenstein Symposium on „Knowledge and Belief“*, Kirchberg/Wechsel, Eds. W. Löffler and P. Weingartner, öbv&hpt Verlag, Wien 2004, pp. 339–353

Fahr, H.J.: Cosmological consequences of scale-related comoving masses for cosmic pressure, matter and vacuum energy densities, *Found.Phys.Lett.*, 19(5), 423–440, 2006

Fahr, H.J. and Heyl, M.: Concerning the instantaneous mass and extent of an expanding universe, *Astron. Notes*, AN 327(7), 733–736, 2006

Fahr, H.J. and Heyl, M.: About universes with scale-related total masses and their abolition of present outstanding cosmological problems, *Astron. Notes*, AN 328(2), 192–199, 2007a

Fahr, H.J. and Heyl, M.: Cosmic vacuum energy decay and creation of cosmic matter, *NATURWISSENSCHAFTEN*, 94, 709–724, 2007b

Fahr, H.J. and Siewert, M.: Imprints from the global cosmological expansion to the local spacetime dynamics, 95, 413–427, 2008

Fahr, H.J.: The modern concept of vacuum and its relevance for the cosmological models of the universe, In: *Philosophy of Natural Sciences*, Volume 17, *Proc. of 17.th Wittgenstein Symposium*, Kirchberg/Wechsel, Eds. P. Weingartner and G. Schurz, Hölder-Pichler-Tempsky, Wien 1989, pp. 48–60

Fahr, H.J. and Sokaliwska, M.: „Revised concepts of cosmic vacuum energy and binding energy: Innovative Cosmology“, in „*Aspects of Today’s Cosmology*“, InTECH, Rijeka 2011, Ed. A. Alfonso-Faus. pp. 95–121

Fahr, H.J. and Sokaliwska, M: „The influence of gravitational binding energy on cosmic expansion dynamics: New perspectives for cosmology“, *Astrophys. Space Sci.*, 2012, in press

Fischer, E.: A cosmological model without singularity, *Astrophys. Space Sci.*, 207, 203–219, 1993

Geller, M.J. and Huchra, J.P.: Mapping the universe, *SCIENCE*, 246, 897–903, 1989 (1989)

Genz, H.: „Etwas und Nichts“. *Mannheimer Forum 1993/94*, pp. 127–198, Boehringer Mannheim, Ed. E.P. Fischer

Genz, H.: „Die Entdeckung des Nichts: Leere und Fülle im Universum“, Hanser Verlag, München 1994

Goenner, H.F.M.: Mach's principle and theories of gravitation, In: „Mach's Principle: From Newton's bucket to quantum gravity“, Eds. Barbour, J., and Pfister. H., Birkhäuser Verlag, Berlin 1995

Goenner, H.F.M.: „Einführung in die Kosmologie“, Spektrum Akademischer Verlag Heidelberg, pp. 411–452, 1997

Hönl, H. and Dehnen, H.: Zur Frage derv Relativität von Rotationsbewegungen, *Zeitschr. f. Physik*, 1666, 544, 1962

**STUDY.**  
The stuff you'll need to make a good living

**PLAY.**  
The stuff that makes life worth living

**NORWAY.**  
**YOUR IDEAL STUDY DESTINATION.**

**WWW.STUDYINNORWAY.NO**  
**FACEBOOK.COM/STUDYINNORWAY**

LOOK UP  
STUDY IN  
NORWAY.

Download free eBooks at [bookboon.com](http://bookboon.com)



Click on the ad to read more

Holton, G.J.: Einstein and the search for reality, In: „Boston studies in the philosophy of Science; Vol. VI“, Eds. Cohen R.S. and Seeger, R.J., Reidel Publ Comp. Dordrecht, pp. 165–199, 1970

Hoyle, F., Burbidge, G., and Narlikar, J.V.: On the Hubble constant and the cosmological constant, *Mon. Not.Roy.Astron. Soc.*, 286, 173–182, 1997

Hoyle, F., Burbidge, G., and Narlikar, J.V.: A quasi-steady-state cosmological model with creation of matter, *Astrophys. J.*, 410, 437–457, 1993

Hoyle, F., Burbidge, G., and Narlikar, J.V.: *MNRAS*, 267, 1007–1014, 1994

Hoyle, F., Burbidge, G., and Narlikar, J.V.: *Astron & Astrophys.*, 289, 729–733, 1994

Hoyle, F., Burbidge, G., and Narlikar, J.V.: *Proc.Roy. Soc. London, Ser.A*, 448, 191–199, 1995

Hoyle, F.: Mathematical theory of the origin of matter, *Astrophysics Space Sci.*, 198, 195–230, 1992

Jammer, M.: In „Concepts of space: The history of Theories of Space in Physics,“ Cambridge/Mass., Harvard Univ. Press, pp. 141–155, 1954

Jammer, M.: In „Concepts of mass in classical and modern physics“, Cambridge/Mass., Harvard Univ. Press, 1954

Jammer, M.: „Concepts of mass in contemporary physics and philosophy“, Princeton University Press, Princeton, 2000

Kolb, A.W.: A coasting cosmology, *Astrophys. J.*, 344, 543–550, 1989

Lamoreaux, S.K.: Demonstration of the Casimir effect in the 0.6-to-6.0 micrometer range, *Phys. Rev. Lett.* 78, 5–9, 1997

Mannheim, P.D.: Conformal gravity and the flatness problem, *Astrophys. J.*, 391, 429–432, 1991

Mannheim, P.D.: *Found.Phys.*, 30, 709–717, 2000

Mannheim, P.D.: *Astrophys.J.*: 561, 1, 2001

Mannheim, P.D.: *Int.J. Mod. Phys, D* 12, 893, 2003

Mannheim, P.D.: Alternatives to dark matter and dark energy, *arXiv:astro-ph/0505266v2*, 2005

Mashhoon, B., Hehl, F.H., and Theiss, D.S.: On the gravitational effects of rotating masses – the Thirring Lense papers, *Gen.Rel.Grav.*, 16, 711–750, 1984

Massa, C.: Implications of a cosmological term coupled to matter, *Astrophys.Space Sci.*, 215, 59–72, 1994

Overduin, J.M. and Cooperstock, F.I.: Evolution of the scale factor with a variable cosmological term, *Physical Review D*, 58, 043506; astro-ph/9805260, 1998

Overduin, J.M. and Fahr, H.J.: Vacuum energy and the economical universe, *Found. Physics Letters*, 16(2), 119–125, 2003

Peebles, P.J.E. and Ratra, B.: The cosmological constant and dark energy, *Rev.Modern Physics*, 75(4), 559–605, 2003

Pfister, H.: Dragging effects near rotating bodies and in cosmological models, In: „Mach’s Principle: From Newton’s bucket to quantum gravity“, Eds. Barbour, J., and Pfister, H., Birkhäuser Verlag, Berlin 1995

Räsänen, S.: *Journal Cosmology Astropart. Physics*, JACP, 11, 3, 2006

Reissner, H.: On the relativity of accelerations, in: Barbour, J. and Pfister, H. (eds.): *Mach’s principle; From Newton’s bucket to quantum gravity*, Einstein Studies, Birkhäuser Verlag, Boston, pp. 134–141, 1995

Rosen, N.: The energy of the universe, *Gen. Relativity and Gravitation*, 26(3), 319–322, 1994

Sachs, R., Narlikar, J.V., and Hoyle, F.: *Astron. & Astrophys.*, 313, 703–712, 1996

Stephani, H.: „Allgemeine Relativitätstheorie“, pp. 247–248, VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften, Berlin 1988

Streeruwitz, E.: Vacuum fluctuations of a quantized scalar field in a Robertson-Walker universe, *Phys. Rev.*, D11, 3378–3383, 1975

Vishwakarma, R.G.: Cosmology with a variable  $\Lambda$ -term, *Class.Quantum Grav.*, 19, 373–379, 2002

Weinberg, S.: The cosmological constant problem, *Rev.Modern Physics*, 61(1), 1–41, 1989

Wesson, P.S.: „Space, time and matter“, World Scientific Publications, Singapore, 1999

Wesson, P.S.: Vacuum instability, *Foundations Physics Lett.*, 19(3), 285–291, 2006

Wetterich, C.: An asymptotically vanishing time-dependent cosmological „constant“, *Astron.& Astrophys.*, 301, 321–328, 1995

Weyl, H.: Mathem. Zeitschrift, 2, 384–395, 1918

Weyl, H.: „Raum, Zeit, Materie“, Springer Verlag, Berlin 1921

Wiltshire, D.L.: Cosmic clocks, cosmic variance and cosmic averages, New Journal of Physics, 9, 377–389, 2007

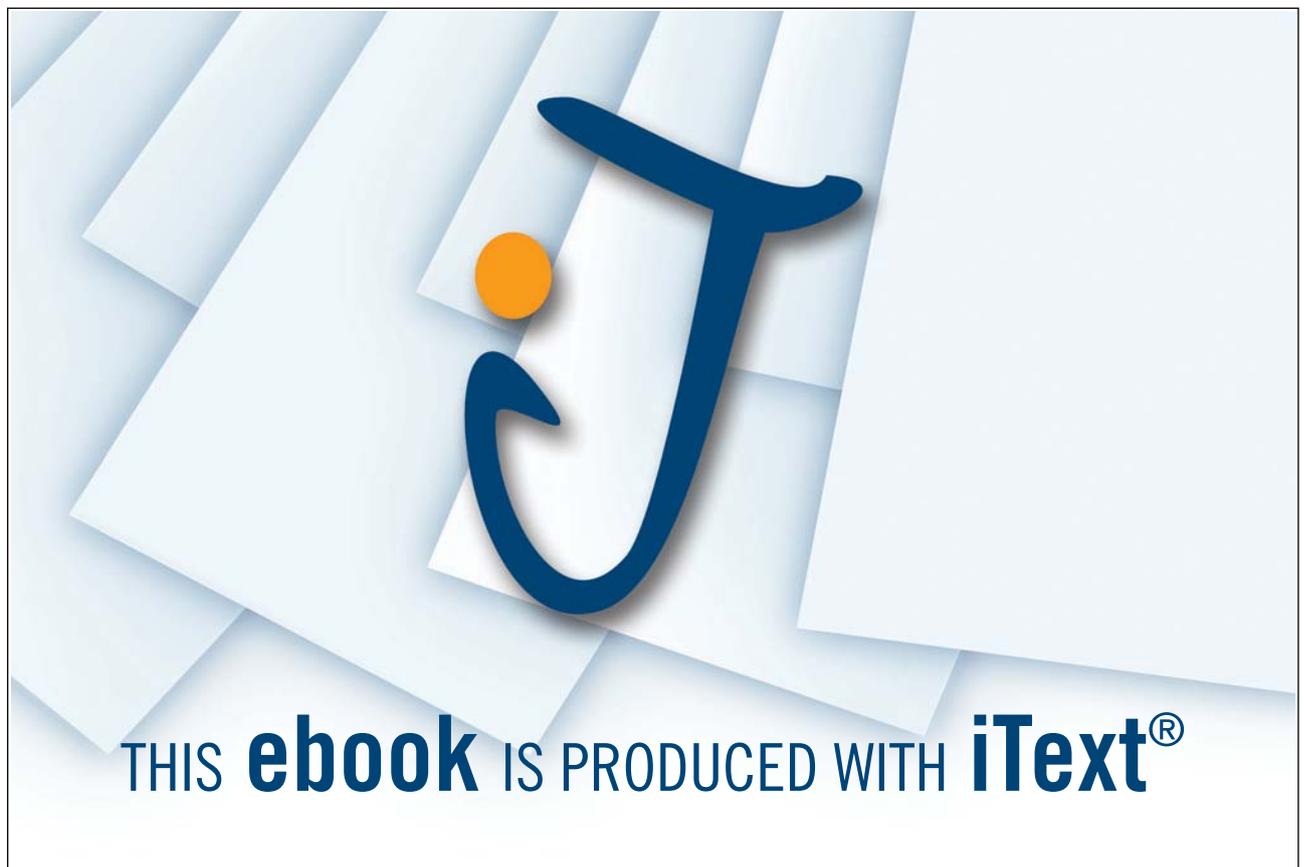
Whitrow, G.J.: The mass of the universe, Nature, 158, 165, 1946

Wolters, G.: Mach, Einstein und die Relativitätstheorie: Eine Fälschung und ihre Folgen, De Gruyter, Berlin 1987

Wu, K.K.S., Lahav, O., and Rees, M.J.: The large-scale smoothness of the universe, Nature, 397, 225, 1999

Zalaletdinov, R.M.: The averaging problem in general relativity; Macroscopic gravity and using Einstein's equations in cosmology, Gen.Relativ.Grav., 24, 1015, 1992

Zel'dovich, Y.B.: Vacuum theory , a possible solution of the singularity problem of cosmology, Sov.Phys. Usp., 24, 216–220, 1981



# Kurzbiographie: Prof.Dr.Hans J.Fahr

Hans Jörg Fahr wurde in Hannover geboren. Er studierte Physik, Mathematik und Philosophie an der Rheinischen Friedrich Wilhelm Universität Bonn, promovierte 1966 am Bonner Institut für Theoretische Physik und ist seit 1978 Universitätsprofessor für Astrophysik am Institut für Astrophysik und Extraterrestrische Forschung der Universität Bonn (Heute: Teil des Argelander Institutes für Astronomie). Er verweilte für längere Auslandsaufenthalte an den Universitäten von Boulder/Colorado, Berkeley/California, und Vancouver/B.C./Canada.

Seine Forschungsgebiete sind Planetenatmosphären, Sonnenwind, Heliosphärenphysik, Kosmogonie des Sonnensystems und Kosmologie, insbesondere Kosmologie energieerhaltender Universen. Er war Vorsitzender der Fachgruppe Extraterrestrik der Deutschen Physikalischen Gesellschaft, Präsident der Kommission 49 (Heliosphäre) der Internationalen Astronomischen Gesellschaft, und Mitglied des Deutschen COSPAR Ausschusses (Committee on Space Research). Am 25.11.2003 bekam er das Verdienstkreuz erster Klasse der Bundesrepublik Deutschland in Anerkennung seiner internationalen Wirkung in der Forschung verliehen. (weitere Informationen: siehe WEB page: <http://www.astro.uni-bonn.de/Institut/Mitarbeiter/H.J.Fahr>).

Er war Prime-Investigator bei mehreren DLR-geförderten Raketenmissionen, die die Aufgabe hatten, die UV/EUV- Resonanzstrahlungen des Wasserstoffs und des Heliums im Bereich der Heliosphäre zu registrieren und daraus auf die Physik des Vordringens des interstellaren Mediums gegen das Sonnensystem zu schließen. Außerdem war er Co-Investigator einer von White Sands/New Mexico gestarteten Raketenmission, die in Zusammenarbeit mit dem Space Science Institute der University of Southern California/Los Angeles (Prof.D.L.Judge) durchgeführt wurde und die der hochauflösenden Spektralanalyse der solaren Lyman-Alpha Emission diente. Derzeit fungiert er als Co-Investigator auf den beiden NASA-Satelliten TWINS (TWINS-LAD, DLR-gefördert) und dem SAMPEX Satelliten IBEX (PI: Dr.Dave McComas/San Antonio/Texas, Start 2008).

Letzterer diagnostiziert die Struktur und die Geometrie der Wechselwirkungsregionen zwischen Heliosphäre und interstellarem Medium über spektrale Intensitätsmessungen von energetischen Neutralteilchenflüssen, die über Ladungsaustausch mit interstellarem Wasserstoff entstehen.

Er ist Autor von über 300 wissenschaftlichen Originalpublikationen auf den Gebieten der kosmischen Plasmaphysik, der Teilchenbeschleunigung im Sonnensystem, der Magnetohydrodynamik heliosphärischer Plasmen, und der Kosmologie (siehe Publikationsliste). Er hat mehrere Bücher zu Themen der Kosmologie und Kosmogonie geschrieben, darunter:

- H.J.Fahr: "Universum ohne Urknall: Kosmologie in der Kontroverse", Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg, 1996

- H.J.Fahr: "Zeit und kosmische Ordnung: Die unendliche Geschichte von Werden und Wiederkehr", Carl Hanser Verlag, München 1998

- H.J.Fahr und E.Willerding: "Entstehung von Sonnensystemen: Theorien über Erde und Planeten", Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg, 1999

- H.J.Fahr: "Die Illusion von der Weltformel: Was weiß die Wissenschaft wirklich?", Verlag Haag & Herchen, Frankfurt, 2000

Bonn, 1. Oktober, 2012