



HARALD LESCH ist Professor für Theoretische Astrophysik am Institut für Astronomie und Astrophysik der Universität München, Fachgutachter für Astrophysik bei der DFG und Mitglied der Astronomischen Gesellschaft. Einer breiteren Öffentlichkeit ist er durch die Sendereihe *alpha-Centauri* bekannt geworden. Heute moderiert er u. a. *Leschs Kosmos* im ZDF. Er hat, allein oder mit Ko-Autoren, eine Vielzahl erfolgreicher Bücher veröffentlicht, zuletzt mit Klaus Kamphausen *Denkt mit! Wie uns Wissenschaft in Krisenzeiten helfen kann* (2021).

Was hat das Universum mit mir zu tun? in der Presse:
»Was hat das Universum mit mir zu tun?« stimmt nachdenklich
und passt gut in die aktuellen Diskussionen unserer Zeit,
weil es sehr verständlich Wissen vermittelt.«
Neue Zürcher Zeitung

Außerdem von Harald Lesch lieferbar:

*Wenn nicht jetzt, wann dann? Handeln für eine Welt,
in der wir leben wollen* (mit Klaus Kamphausen)

Besuchen Sie uns auf www.penguin-verlag.de
und Facebook.

HARALD LESCH

**Was hat
das Universum
mit mir zu tun?**

Nachrichten vom Rande
der erkennbaren Welt



PENGUIN VERLAG

Der Verlag behält sich die Verwertung der urheberrechtlich geschützten Inhalte dieses Werkes für Zwecke des Text- und Data-Minings nach § 44b UrhG ausdrücklich vor.
Jegliche unbefugte Nutzung ist hiermit ausgeschlossen.

4. Auflage

Copyright © 2019 by C. Bertelsmann Verlag in der
Penguin Random House GmbH Verlagsgruppe,
Neumarkter Straße 28, 81673 München
produksicherheit@penguinrandomhouse.de
(Vorstehende Angaben sind zugleich
Pflichtinformationen nach GPSR.)

Covergestaltung: bürosüd nach einem Entwurf von
Büro Jorge Schmidt, München
Umschlagmotive: piranka / Getty Images
Satz: Greiner & Reichel, Köln
Druck und Bindung: GGP Media GmbH, Pößneck
Printed in Germany
ISBN 978-3-328-10668-5
www.penguin-verlag.de

INHALT

Prolog	7
1. Eine viel zu kurze Geschichte der Astronomie	11
2. Stabilität im Kosmos	23
3. Von den Gesetzen der Natur	33
4. Unser Bild von der Natur	43
5. Der Stoff, aus dem nicht nur die Sterne sind	51
6. Unser kosmisches Zuhause wird geboren – von wandernden Riesenplaneten	69
7. Staub wird zu Fels	75
8. Der schönste Planet der Milchstraße	87
9. Die Bausteine des Lebendigen	97
10. Von möglichen Unfällen, Katastrophen und Zufällen	109
11. Das Netz der Kräfte im All	127
12. Der Raum des Ganzen	141
13. Die Zeit läuft und läuft	147
14. Die helle und die dunkle Seite der Materie	159
15. Die Grenze: die Schwarzen Löcher	179
16. Was können wir vom Universum lernen?	191
17. Mein Geburtstag mit den Helden	195
Epilog	201
Register	203

PROLOG

Das ist jetzt ein ganz besonderer Moment: Sie haben sich mein Buch vorgenommen und lesen die ersten Sätze. Hier entscheidet sich, ob Sie weiterlesen oder den Text wieder zur Seite legen. Ein konspirativer Moment ist das, ein Moment, in dem Sie sich möglicherweise darauf einlassen, mir in eine faszinierende Welt zu folgen, in die Welt der Astronomie, des gestirnten Himmels über uns, des Universums, des Kosmos oder, wie wir in Deutschland auch sagen: in die Welt des Weltraums.

Ich weiß von meinen Vorträgen, dass sich viele Menschen für dieses Wunderwerk Universum interessieren, für die beeindruckenden Vorgänge dort, die explodierenden Sterne, die Roten Riesen, die Weißen Zwerge und die Schwarzen Löcher, aber auch für die Planeten und Galaxien. Für mich besteht die große Faszination in der direkten Verbindung der Physik hier auf der Erde mit den Prozessen im Himmel. Dass wir überhaupt so etwas wie Astrophysik betreiben können, also der Natur der Himmelsvorgänge wissenschaftlich präzise nachgehen können, liegt in der Tatsache begründet, dass die Natur ein Ganzes darstellt. Es ist nämlich so, dass es eigentlich gar keine wirklichen Grenzen zwischen uns, unserer Umwelt hier auf unserem Planeten und dem Weltall gibt. Am Boden eines Luftmeeres leben wir am Ufer des kosmischen Ozeans, der sich über unseren Köpfen in riesige Entfernungen erstreckt.

Unser Leben auf der Erde ist heute geprägt von einer großen Distanz zwischen Alltag und Natur. In unserer unmittelbaren Umgebung hat sich Technologie in vielen Varianten ausgebreitet. Sie ersetzt unsere körperlichen und inzwischen auch viele unserer geistigen Fähigkeiten. Maschinen sind stärker, schneller und größer als Menschen, und Algorithmen und Computer können mehr Informationen speichern, als es je ein Mensch vermag. Diese Technik ist jedoch das Ergebnis wissenschaftlicher Grundlagenforschung. Die großartigen Erkenntnisse aus Theorie und Praxis der Physik über die fundamentalen Eigenschaften der Materie und ihrer Wechselwirkung mit elektromagnetischer Strahlung versetzen uns heute in die Lage, unsere Umwelt stärker denn je zu gestalten. Wobei Kontrolle und Steuerung natürlicher Prozesse unser wesentliches Ziel darstellen. Dass diese Kontrolle der Natur an ihre Grenzen kommt, mag ein einfaches Beispiel illustrieren: Drei Menschen in einem Raum voll hoch entwickelten technischen Geräts. Eine Person liegt ohne Bewusstsein im Bett. Mittels verschiedener Röhren und Kabel ist sie an blinkende Monitore und leise piepsende Sensoren angeschlossen. Die Besucher stehen vor dem Bett und schweigen. So etwa hätte Edward Hopper eine moderne Intensivstation dargestellt. Hier tun sich existenzielle Abgründe auf, die das Spannungsfeld von Mensch und Naturwissenschaften beispielhaft charakterisieren.

Einerseits leben wir also in einer Welt der Technik, der physikalischen Grundlagenforschung, in Form von digitaler Messelektronik, von Computern, Kernspintomografen, Röntgenapparaten und medizinischer Nanotechnologie. Die neuesten Erkenntnisse der Physik der Materie und der Quantenmechanik sind in die Konstruktion dieser Apparaturen eingeflossen, ohne welche die Medizin von heute gar nicht möglich wäre. Andererseits stehen hier die beiden Besucher. Ihnen liegt etwas an dem Schwerkranken, der da den Apparaten ausgeliefert zu sein scheint. Sie sind natürlich froh

über die hilfreichen Geräte, die offenbar dem Kranken helfen. Und doch: Hier stehen zwei Menschen, die vor allem eines tun: hoffen. Die Hoffnungen und die Ängste dieser beiden Besucher spiegeln sich förmlich in den Monitoren der Geräte. Da prallen zwei Welten aufeinander: Die Einzigartigkeit des Individuums stößt hier auf die reproduzierbare, zeitlose, immer gleich arbeitende Welt der Dinge.

Unsere moderne Wirklichkeit ist geprägt von dieser täglichen Auseinandersetzung zwischen dem Subjekt mit seinen Hoffnungen, Träumen und Ängsten einerseits und der emotionsfreien, rationalen, mathematisch-physikalisch formulierten Welt der Naturgesetze und vor allem deren technischen Anwendungen andererseits. Die Verbindung dieser beiden Aspekte von Wirklichkeit ist meiner Ansicht nach eine unerlässliche Voraussetzung für eine menschenfreundliche Zukunft, die beides berücksichtigt: die mathematische, objektive Gesetzmäßigkeit der Natur und die einmalige, unwiederholbare Würde des einzelnen Menschen.

Der Mensch jedoch ist immer noch gefangen im Widerspruch zwischen der nützlichen Wissenschaft in ihrer direkten, konkreten Bedeutung als Quelle für neue technische Möglichkeiten einerseits und der Natur andererseits, mit der man nicht kommunizieren kann und die auf Veränderungen durch veränderte Reaktionen reagiert, die uns oft genug nicht gefallen. Doch überheblich, wie wir Menschen sind, glauben wir eben nicht mehr an absolute Gegebenheiten, die einfach nur existieren, sprachlos und mächtig. Wir glauben, dass wir alles im Griff hätten, auch das, was sich nicht greifen lässt. Die Natur ist ein Ganzes, ein ganz altes Ganzes. Und am ältesten und von uns am wenigsten veränderbar und kontrollierbar ist diese Natur eben im Universum. Die Objekte dort sind übermenschlich groß und abartig weit entfernt, und fast ewig für unser Zeitverständnis dauern die Prozesse zwischen den Galaxien.

Gerade die moderne Astronomie mit ihrer Erweiterung über das sichtbare Licht hinaus hat in den letzten Jahren wichtige Erkenntnisse darüber gewonnen, welche kosmischen Netzwerke an Verbindungen und Wechselwirkungen existieren beziehungsweise Voraussetzung dafür sind, dass es überhaupt Leben im Universum geben kann. Ein ganz neues Weltbild ist da im Entstehen, in dem die Stellung des Menschen im Universum ganz neu verortet wird. Angesichts der aberwitzigen Distanzen, der dramatischen Leere des Kosmos und der absurden Geschwindigkeiten und Materiezustände bietet uns die Astronomie den womöglich tiefsten Einblick in die Natur, der Menschen überhaupt möglich ist. Und davon will ich berichten. Diese direkten Verbindungen zwischen uns und dem Universum aufzuzeigen ist mein zentrales Anliegen. Ich möchte davon berichten, was uns Menschen, unseren Planeten, einfach alles, was für unser Hiersein wichtig ist, mit dem ganzen Universum verbindet. Kurzum: was das Universum mit uns zu tun hat.



Auf dem YouTube-Kanal »Urknall, Weltall und das Leben« finden Sie in der Playlist »Harald Lesch Kosmologie« begleitende Videos zu den einzelnen Kapiteln. Mit Hilfe des nebenstehenden QR-Codes oder direkt über <https://link.videowissen.de/CBertelsmann-Lesch/o/> gelangen Sie bequem dorthin, oder Sie wählen die Videos kapitelweise anhand der QR-Codes unter den jeweiligen Überschriften.

EINE VIEL ZU KURZE GESCHICHTE DER ASTRONOMIE

*»Mit wachsender Entfernung nimmt unser Wissen ab, und es nimmt rasch ab, bis wir am letzten verschwommenen Horizont zwischen geisterhaften Beobachtungsfehlern nach Orientierungspunkten tasten, die kaum noch Substanz besitzen. Die Suche wird weitergehen. Der Trieb ist älter als die Geschichte, und solange er unbefriedigt bleibt, wird er sich nicht unterdrücken lassen.«
(Edwin Hubble)*

Der Trieb, das Universum zu erkunden und es zu verstehen, ist so alt wie die Menschheit. Nicht umsonst gilt die Astronomie als die älteste aller Naturwissenschaften. Der gestirnte Himmel über uns hat uns schon immer interessiert. Anfangs war er noch erfüllt von Göttern. Mit der Erkenntnis, dass der Mensch das Universum auch ohne göttlichen Beistand verstehen kann, gewann astronomische Forschung immer größere Bedeutung. Die Vorstellung, dass die ganze Welt zu erklären vermag, wer die Abläufe am Himmel erklären kann, hat von jeher die Faszination astronomischer Forschung ausgemacht. Deshalb hat sich mit jedem neuen »Heureka« das Weltbild nicht nur der Astronomie, sondern auch einer ganzen Kultur verändert. Allerdings kann jede Beschreibung des jeweils aktuellen astronomischen Weltbilds immer nur ein Zwischenbericht sein, was Niels Bohr sehr treffend folgendermaßen zusammengefasst hat: »Alles ist möglich im Universum, wenn es nur genügend unvernünftig zu sein scheint.«

Wo soll man beginnen bei einer Wissenschaft, die nach dem Ganzen fragt? Die Astronomie des 21. Jahrhunderts ist keine benennende Wissenschaft mehr, sondern eine fragende, eine, die versucht zu erkennen und zu verstehen, wie die Welt, wie das All als Ganzes entstanden sind. Sie fragt nach der Entwicklung des Universums und letztendlich nach den elementaren Grundgesetzen, die das All beherrschen. Es geht um Zusammenhänge, die Physik der Beziehungen, und nicht mehr um einzelne Sterne oder Galaxien. Begriffe wie »Evolution« und »Komplexität« tauchen heutzutage in fast jedem astronomischen Fachartikel auf. Was ist der Grund für diese Veränderung der ehemals nur schauenden Wissenschaft vom Himmel hin zur Astrophysik als angewandter Physik?

Diese Verwandlung der Astronomie begann mit dem Blick durch das Fernrohr. Hier bissen die Hunde nicht den Letzten, sondern den Ersten, der den Blick wagte, als nämlich Galileo Galilei 1610 den Inquisitoren des Vatikans anbot, doch selbst zu schauen, wenn sie ihm nicht glaubten. Diese lehnten es ab, weil ihrer Meinung nach dieses merkwürdige Rohr die Wirklichkeit nicht zeigt, ja nicht zeigen konnte – die theologische Wirklichkeit wohlgermerkt. Galilei widerrief, aber das nutzte nichts. Aus Sicht der Theologen war die Büchse der Pandora geöffnet, und sie war nicht mehr zu schließen. Was in den folgenden Jahrhunderten in der Astronomie passierte, war die konsequente und unmittelbare Anwendung ganz irdischer Physik auf die Vorgänge im Universum, immer unter Verwendung neuer und neuester Technologien. Das Fernrohr Galileis wurde in den folgenden 400 Jahren zum perfekten Lichtsammelapparat ausgebaut, der mit gewaltigen Spiegeln und Linsensystemen das sichtbare Licht der Sterne und Galaxien analysiert. Mithilfe höchst sensibler und empfindlicher Materialien wurde das menschliche Auge ersetzt durch Filme und heute eben durch digitale Chips. Niemand schaut heute noch so wie Galilei einfach so durchs Fernrohr. Heute ist die Astronomie Hightech auf aller-

höchstem Niveau. Computer steuern die Teleskope, analysieren die elektromagnetische Strahlung und entdecken selbst allerschwächste Quellen in fast nicht mehr zu beschreibenden Entfernungen. Und die Astronomie ist längst mehr als Lichtanalyse im Sichtbaren.

Jenseits der optischen Strahlung beginnt das Regime der reinen Weltraumastrophysik. Denn weder die Ultraviolettstrahlung noch die Röntgen- und Gammastrahlung erreichen die Erdoberfläche, Gott sei Dank! Wobei wir die Undurchlässigkeit der Atmosphäre gegenüber der UV-Strahlung gerade in einem planetaren Großexperiment stark verringern, indem wir die Ozonschicht, die diesen UV-Schutzschirm darstellt, einfach zerstören. Für die UV-Astronomie könnten also in Zukunft tolle Zeiten anbrechen.

Die hochenergetische Strahlung wird durch Satelliten aufgenommen. Diese Abteilung der kosmischen Boten bringt uns Neuigkeiten über Leichen – über Sternleichen. Die Überreste von großen Sternen – Pulsaren und Schwarzen Löchern – erscheinen am Himmel der Gamma- und Röntgenastronomen als besonders helle Quellen. Hier wird so viel Energie freigesetzt, dass diese Sternleichen sogar miteinander verschmelzen müssen, um solche Leuchtkräfte zu produzieren.

Nach dieser Tour de Force durch die beobachtende Astronomie nun zum Weltbild der Astrophysiker. Nein, zuerst ein paar Bemerkungen zu den Voraussetzungen naturwissenschaftlicher Weltbilder im Allgemeinen. Was macht Naturwissenschaftler eigentlich so sicher, dass die Daten, die sie aus Experimenten oder Beobachtungen erhalten, irgendetwas mit der Wirklichkeit, der Realität zu tun haben? Wenn es nicht wahr ist, ist es sehr gut erfunden, sagte schon Giordano Bruno. Sind die Naturgesetze tatsächlich nur sehr gut erfunden? Worauf begründet sich die Zuversicht der Naturwissenschaftler?

Das Vertrauen auf die naturwissenschaftliche Methode speist sich aus den unzähligen Erfolgen, die dieses Verfahren schon zu

verzeichnen hat. Beobachtungen und Experimente verlangen nach Erklärungen. Modelle und Theorien, die nicht nur die bereits vorhandenen Daten befriedigend erklären, sondern darüber hinaus auch Vorhersagen über bis dahin unbekannte Phänomene machen, die dann nach der Formulierung der Theorie gefunden werden, sind einfach sehr attraktiv. Und je häufiger sich dieses »Spiel« zwischen Theorie und Experiment erfolgreich wiederholt, desto mehr Vertrauen haben wir in die Spielregeln. Die Spielregeln, das sind die grundlegenden Naturgesetze.

Seit wir das »Spiel« begonnen haben, hat sich keiner der elementaren Grundbausteine als falsch erwiesen, immer nur als zu verallgemeinernd. Unser Weltbild ändert sich nicht sprunghaft, sondern neue Bausteine werden eingebaut und bis an die Grenzen ihrer Belastbarkeit getestet. Die Kohärenz (hier: die Stimmigkeit) des naturwissenschaftlichen Weltbilds beruht auf zwei sich ständig gegenseitig stützenden Säulen, die in ihrer jeweiligen Dynamik eng miteinander verbunden sind: Theorie und Experiment. Wir können sogar Experimente zur Frage durchführen, ob sich die Naturgesetze mit der Zeit ändern, ob also das frühe Universum von anderen Regeln regiert wurde als das heutige. Obschon also das naturwissenschaftliche Weltbild ein eminent dynamisches ist, in dem sich pausenlos etwas verändert, bleibt es doch im Großen und Ganzen gleich. Man könnte es mit einem lebendigen Organismus vergleichen, dessen äußere Schale unverändert bleibt, dessen Inneres aber in einem dynamischen Fließgleichgewicht die Stabilität erst garantiert. Erst wenn diese Dynamik fehlt, bricht der Organismus tot zusammen. Die Naturwissenschaften werden sterben, wenn ihre lebendige Dynamik, ihr immerwährender kritischer Dialog zwischen Experiment/Beobachtung und Theorie verstummt. Wenn unser naturwissenschaftliches Weltbild »einfriert«, weil wir der Meinung sind, wir haben die Wahrheit gefunden, dann wird es zerspringen. Allerdings ist momentan dieser Dialog

noch so laut und lebendig, dass wir einen »Phasensprung« im Weltbild, wie das von Ptolemäus zu Kopernikus der Fall war, zurzeit weitgehend ausschließen können.

Nun zum Anfang der Dinge, denn das Universum hatte einen Anfang. Es entwickelte sich aus einem sehr dichten und sehr heißen »Tag ohne Gestern« zu einem immer dünneren, immer kühleren Universum. Die physikalischen Kräfte (Schwerkraft, Kernkräfte und elektrische Kraft) »froren«, ähnlich wie Kristalle, aus dem heißen Ursprung aus. Es entstanden Atomkerne und Elektronen. Einige Minuten nach dem Anfang waren die Bestandteile alle vorhanden: Wasserstoff, Helium und Elektronen. Dazu kam jede Menge Licht, die Photonen – knapp 10 Milliarden Photonen auf ein Teilchen. Es gibt also im Universum viel mehr Licht als Schatten.

Diese Vorstellung von der Geburt des Alls ist in ihren Grundzügen heute durch Beobachtungen sehr gut abgestützt. Natürlich bleibt uns die *causa finalis* (endgültige Ursache) verborgen. Was vor dem Urknall war, ist kein Thema der modernen Astronomie, doch wir haben genügend klare Evidenzen für die Geburt des Ganzen. Wir schätzen, dass das Universum vor ca. 14 Milliarden Jahren entstanden ist, und wir wissen heute, abgesehen von den allgemeinen Eigenschaften des Universums, vor allem, dass mit seinem Beginn der Tanz der Materie begann.

Seit seiner Geburt expandiert das Universum. Der Big Bang ist das ganze expandierende All selbst. Raum und Zeit laufen seitdem gemeinsam. Durch die Expansion gibt es in unserem Universum einen Zeitpfeil, es gibt kein Zurück mehr, dieses unser Universum ist nicht reversibel, es wird sich nichts wiederholen. Mit jedem Tag wird es größer und kälter. Die Teleskope und Satelliten zeigen uns jeden Tag neue Entwicklungsphasen. Aus der elektromagnetischen Natur der Strahlung ergibt sich ihre Geschwindigkeit, nämlich Lichtgeschwindigkeit. Aber die ist nicht unendlich groß, sondern

Licht bewegt sich mit knapp 300 000 Kilometern pro Sekunde. Also braucht auch Licht Zeit, bis es zu uns gelangt. Und je tiefer wir ins All blicken, desto älter ist das Licht, das wir empfangen. Ein tieferer Blick ins All bedeutet also einen tieferen Blick zurück in die Vergangenheit. Heute können wir »sehen«, dass die Galaxien früher enger zusammenstanden und dass sie früher viel heller waren. Wir können die Temperatur des gesamten Universums in immer früheren Zeiten messen und stellen fest: Früher war es heißer. Wir sehen sogar den undurchdringlichen großen kosmischen Lichtvorhang, der es uns nicht erlaubt, in die Zeit kurz nach dem Urknall zu blicken. Zu dicht ist dieser Lichtnebel, zu stark werden die Lichtquanten gestreut. Sie, die kosmische Hintergrundstrahlung, ist der Beweis für den Anfang des Alls, denn sie ist der Überrest des Urknalls, der kalte Rest, mit einer Temperatur von -271°C .

Und wir, wo steht der Mensch in diesem sehr kalten, sehr alten und fast leeren Kosmos? Was bedeuten die Erkenntnisse der modernen Astronomie eigentlich für uns? Das Universum hat sich wirklich sehr viel Arbeit gemacht mit uns, und die Erde ist ein ganz besonderer Platz im Universum.

Wenn Sie dieses Buch lesen und sich vielleicht sogar Gedanken darüber machen, dann vollziehen sich in Ihnen biochemische Prozesse, an denen Elemente wie zum Beispiel Kohlenstoff, Sauerstoff, Kalzium, Natrium und Kalium beteiligt sind. Diese Elemente gab es nicht schon immer, sondern sie wurden in kosmischen Schmelzöfen erbrütet. Die Sterne sind sehr erfolgreiche Alchimisten; sie gewinnen Energie aus der Verschmelzung von Atomkernen. Ihnen gelingt es, aus Wasserstoff Helium zu erbrüten, aus Helium Sauerstoff – die Kette reicht schließlich bis zum Eisen, dann bricht die Energieversorgung ab. Die meisten Sterne verlöschen einfach, ihre Leuchtkraft wird schwächer, sie verglühen langsam und behalten die erbrüteten Elemente bei sich. Große Sterne aber stürzen unter ihrem Gewicht zusammen und explodieren. In solchen

Explosionen am Ende ihres Lebens erzeugen große Sterne sogar Gold, Silber und Uran.

In Sternen werden Atomkerne miteinander verschmolzen. Alle Lebewesen auf der Erde bestehen zu 92 Prozent aus Sternenstaub. Wir bestehen also aus den Überresten von Sternexplosionen. Wenn Sterne die erbrüteten Elemente bei sich behielten, dann wäre dieses All sehr langweilig, es bestünde nach wie vor aus Wasserstoff und Helium. Die moderne Astronomie aber hat entdeckt, wie große Sterne in gewaltigen Explosionen ihre im Innern erzeugten schweren Elemente an das Universum zurückgeben. Gaswolken werden durch die Druckwellen der explodierten Sterne zusammengepresst und mit frischen schweren Elementen angereichert. Die Wolken stürzen unter ihrer eigenen Schwerkraft zusammen, neue Sterne entstehen, einige vergehen wieder in Explosionen, und der Kreislauf der Materie beginnt wieder von vorn.

Diese dynamischen Kreislaufprozesse bestimmen heute das Weltbild der Astronomie. Das gilt nicht nur für den Kreislauf der Materie, der uns zu Kindern der Milchstraße macht, sondern auch für Galaxien selbst. Galaxien werden von anderen Galaxien verschluckt, samt ihrem Gas zwischen den Sternen. Wenn es mehr Gas gibt, entstehen mehr Sterne, und es kommt zu regelrechten Sternentstehungsausbrüchen. Die Galaxien jagen dann ihre schweren Elemente sogar in den intergalaktischen Raum. Das ursprünglich heiße Material kühlt sich ab, fällt wieder auf eine Milchstraße und reichert diese mit schweren Elementen an.

Dieser Tanz der Materie musste bereits einige Milliarden Jahre ablaufen, bevor in unserer Milchstraße genügend schwere Elemente vorhanden waren und Sterne entstehen konnten – mit Planeten. In früheren Zeiten war das nämlich nicht möglich, da gab es viel zu wenig schwere Elemente. Heute entdecken wir Planetensysteme um andere Sterne, doch nur um diejenigen mit sehr vielen schweren Elementen. Diese extrasolaren Planetensysteme sind

ganz anders als unser Sonnensystem: Die Bahnen der Planeten sind sehr »eiernd«, die Planeten sehr groß (wie Jupiter, der 317-mal so viel Masse wie die Erde hat) und sehr nahe an ihrem Muttergestirn. Wir wissen zwar noch nicht genau, wie solche Systeme entstanden sind, doch eines wissen wir jetzt sehr viel besser: Die Anordnung in unserem Sonnensystem (Jupiter weit draußen) ist nicht unbedingt der Normalfall. Die Entdeckung von anderen Planetensystemen ist eine der Sensationen der modernen Astronomie, denn wenn andere Planetensysteme existieren, dann gibt es vielleicht auch andere belebte Planeten. Im Mittelpunkt der Astronomie des 3. Jahrtausends steht die Suche nach Leben im Universum – nicht nach Ufos oder ETs, sondern nach biochemischen Anzeichen einer Lebensentwicklung um einen sonnennahen Stern. Früher gehörte dieses Thema den Science-Fiction-Autoren, heute gehört es uns.

Wir wissen also heute schon eine ganze Menge über die Entwicklung des Universums als Ganzes und vieler seiner Bestandteile. Wir wissen, dass Sterne geboren werden und sterben. Wir wissen, woher die Elemente kommen und wie der kosmische Materiekreislauf durch die Sternentstehungsphasen immer wieder mit neuem »Blut« versorgt wird. Wir wissen inzwischen sogar, dass es andere Planetensysteme gibt und ob außerirdisches Leben möglich ist. Scheinbar also haben wir viele leuchtende Beispiele für den Erfolg von astronomischer Forschung. Aber wissen wir denn wirklich schon so viel? Ist unser Weltbild denn jetzt komplett?

Leider nicht! Wir stehen in der Astronomie vor einer anscheinend undurchdringlichen Erkenntnissschranke. Denn es gibt auch eine dunkle Seite des Universums. Damit meine ich nicht den dunklen Nachthimmel oder den dunklen Raum zwischen den Sternen. Es geht um die sogenannte Dunkle Materie, deren Wirkung durch zahllose Beobachtungen zweifelsfrei bewiesen wurde. Es handelt sich bei ihr um eine Form von Materie, die sich nur durch ihr Gewicht und damit ihre Schwerkraftwirkung bemerkbar

macht. Sie steht in keiner Weise in Wechselwirkung mit Strahlung, das heißt, sie absorbiert keine Strahlung. Trotzdem ist jede Milchstraße von einer Atmosphäre Dunkler Materie umgeben. Sie bestimmt sogar die Entstehung von Galaxien und Galaxienhaufen. Ohne die Schwerkraft der Dunklen Materie hätte sich in unserem Universum bis heute noch keine einzige Galaxie entwickelt. Es gäbe dann nur ein gleichmäßig verteiltes, sich aufgrund der kosmischen Expansion ständig verdünnendes Gas. Die Dunkle Materie stellt das Meer der Materie dar. Die leuchtende Materie, das Material, aus dem Galaxien, Sterne, Planeten und alle Lebewesen aufgebaut sind – das sind nur winzige Inseln in diesem Dunklen Meer der Dunklen Materie. Sie muss aus völlig anderen Teilchen bestehen als das, was wir kennen. Und es gibt keine plausible Lösung für dieses Problem.

Ein noch drängenderes Problem stellt die sogenannte Dunkle Energie dar, die für 70 Prozent des Energieinhaltes des Universums verantwortlich zeichnet. Seit einigen Jahren ergibt sich aus Beobachtungen weit entfernter Supernova-Explosionen folgendes, sehr merkwürdiges Bild: Das Universum expandiert beschleunigt. Seit ca. 8 Milliarden Jahren ist eine Kraft am Werk, die die Expansionsgeschwindigkeit des Raumes im All kontinuierlich erhöht. Offenbar ist damals die Energie der im Universum enthaltenen Masse unter den Wert der Dunklen Energie gefallen, was sehr folgenreich für die Entwicklung des Universums war. Masse bremst, aufgrund ihrer Schwerkraft, die Expansion des Universums ab. Das Überwiegen der Dunklen Energie seit damals hat deshalb die Expansion beschleunigt. Nur, was ist das, die Dunkle Energie? Wir wissen es nicht! Selbst die Quantenmechanik bietet hier keine Hilfe. Hier liegt die größte Herausforderung für die theoretische Physik des 21. Jahrhunderts.

Ähnlich wie vor hundert Jahren, als in der Physik völlig unklar war, in welchem Medium sich die elektromagnetischen Wellen

ausbreiten, stehen wir heute wieder vor einer Zäsur. Damals nannte man das Medium »Äther«. Verzweifelt wurden Experimente durchgeführt, die beweisen sollten, dass sich die Ausbreitungsgeschwindigkeit von Licht verändert, weil sich die Erde gegen den Äther bewegt oder mit ihm. Bei allen Versuchen erwies sich die Lichtgeschwindigkeit als unabhängig vom Bezugssystem. Aus diesem Dilemma konnte erst Einstein mit seiner Speziellen Relativitätstheorie herausführen. Zusammen mit der Allgemeinen Relativitätstheorie und der Quantentheorie stellt sie die Revolution der Physik des 20. Jahrhunderts dar. Für die Lösung der Probleme, die sich aus der Dunklen Materie und der Dunklen Energie ergeben, brauchen wir offenbar wieder eine solche Revolution der Physik.

Trotz dieser grundlegenden Schwierigkeiten mit dem dominierenden Materieanteil im All können wir mit großem Vertrauen auf unser heutiges Bild vom Universum blicken. Die größte Erkenntnis der modernen Astronomie ist es, dass alle irdischen Naturgesetze auch überall im Universum gelten. Theorien, die auf der Erde zur Erklärung irdischer Experimente entwickelt wurden, bestätigen sich im All auf grandiose Weise. Wir können heute mithilfe von einander umkreisenden Sternleichen, zwei Kugeln von jeweils zehn Kilometern Radius, die nur aus Neutronen bestehen, die Allgemeine Relativitätstheorie bis auf zehn Stellen hinter dem Komma genau überprüfen. Resultat: Sie stimmt. Die Neutronensterne sind Sternleichen, die dreißig Jahre vor ihrer Entdeckung am Schreibtisch erdacht wurden. Phänomene der Quantenmechanik lassen sich ebenfalls im Universum hervorragend studieren. Auch hier zeigen sich bemerkenswerte Übereinstimmungen. Wenn also die von uns erdachten und experimentell bestimmten Naturgesetze wirklich falsch sein sollten, dann sind sie verdammt gut falsch.

Offenbar haben wir Menschen mit der Wissenschaft der Physik eine überaus vielversprechende Methodik der Naturbeschreibung in unseren Händen. Die Physik des Kosmos, die Astrophysik,

sieht den Menschen heute im Spiegel des Universums. Wir leben in einem Universum, das wir verstehen können, wenn wir Astrophysik betreiben. In den letzten Jahrzehnten konnten wir dank der Astrophysik viel über die sehr enge Verflechtung unserer eigenen Existenz mit kosmischen Bedingungen lernen.

Das Zusammenspiel der grundlegenden physikalischen Wechselwirkungen bestimmt die Vielfalt und Komplexität des gesamten Kosmos. Selbst die grundlegenden, das heißt prinzipiellen Grenzen unserer Erkenntnismöglichkeiten werden durch physikalische Theorien beschrieben. Die Lichtgeschwindigkeit ist die höchste Geschwindigkeit im All, und das Plancksche Wirkungsquantum ist die kleinste Wirkung im Universum. So beschreiben einerseits die Relativitätstheorie und andererseits die Quantenmechanik die Grenzen physikalischer Forschung. Die intensive Wechselwirkung der leuchtenden Materie mit der Strahlung erzeugt auch eine nicht mehr durchdringbare Lichtwand im Kosmos. Denn der frühe Kosmos war dominiert von intensiver Strahlung, und die Materie hatte die gleiche Temperatur wie diese Strahlung des Universums. So wie wir nicht in die Sonne hineinblicken können, sondern nur ihre Oberfläche sehen, können wir die Vorgänge, die sich im frühen Kosmos abgespielt haben, nicht erkennen. Erst als das Universum sich während seiner Expansion so weit abgekühlt hatte, dass die Strahlung allmählich schwächer wurde, trennte sich die Materie von der Strahlung. Das geschah rund 380 000 Jahre nach dem Anfang. Doch alles, was davor passierte, bleibt im Licht der Hintergrundstrahlung für immer verborgen. Dieser Zusammenhang zwischen Strahlung und Temperatur liefert uns einen kosmischen Zeitpfeil. Und deshalb sind Raum, Zeit und dann auch Geschwindigkeit wohl definiert in unserem Universum.

Eine genaue Inspektion der tieferen physikalischen Zusammenhänge liefert sogar einen extrem engen Spielraum für die Naturkonstanten und Gesetze. Wir könnten in keinem anderen Univer-