

GANZ NETT, HOMO SAPIENS, ABER ...

GRUND ZUM ZWEIFELN: WARUM ETWAS FAUL IST AM STATE OF THE ART IN DER PHYSIK

Lautstarker Applaus erhob sich im Salon III/IV des Marriott-Hotels von Crystal City im amerikanischen Bundesstaat Virginia. In dem überfüllten Konferenzraum starrten alle wie gebannt auf die Leinwand, wo nicht mehr zu sehen war als ein nüchternes Diagramm aus zahlreichen Punkten und einer geschwungenen Kurve. Nur eine eigenartige Personengruppe konnte sich davon zu Emotionen hinreißen lassen – Physiker auf der Jahrestagung der Astronomischen Gesellschaft, die ihren Begeisterungsturm noch minutenlang fortsetzten. Was war geschehen? Die im Diagramm aufgetragenen Daten bestätigten mit einer nie da gewesenen Genauigkeit ein fundamentales Naturgesetz zur Wärmeabstrahlung von heißen Körpern. 1900 von Max Planck entdeckt, leuchtete es nun in geradezu mathematischer Reinheit auf. Noch sensationeller war der Ursprung der Daten – Mikrowellensignale verschiedener Frequenzen, die nicht aus einem irdischen Labor stammten, sondern von einem heißen Urzustand des Universums! Ein Feuerball aus Wasserstoff und Helium, noch ohne jegliche Strukturen, die irgendwann Leben ermöglichen sollten, ließ damals seinem Licht freien Lauf. Mehr als zehn Milliarden Jahre war es bis zu den Detektoren des vom Menschen gebauten Satelliten COBE unterwegs, der wenige Tage zuvor die Daten übertragen hatte. Wenn ich das alles wie einen Film in meiner Vorstellung ablaufen lasse, bekomme ich immer eine Gänsehaut, als würde ich die inzwischen extrem abgekühlte Strahlung tatsächlich spüren. Ihre Gleichverteilung im Raum macht uns

auch deutlich, dass wir uns nicht einbilden dürfen, an einem besonderen Ort im Universum zu leben – intelligente Aliens könnten sich seitdem überall entwickelt haben! Sollten sie – was nicht wahrscheinlich ist – uns wirklich von Zeit zu Zeit über die Schulter schauen, dann hätten sie an jenem Nachmittag des 13. Januar 1990, als der Vortrag stattfand, bestimmt anerkennend mit ihrem großen Kopf genickt.

LICHT ODER SCHON ERLEUCHTUNG?

Doch auch Homo sapiens stellt sein Licht manchmal nicht unter den Scheffel. George Smoot, Projektleiter des COBE-Satelliten, kommentierte in der NASA-Pressekonferenz eine bildliche Darstellung dieser Mikrowellen-Hintergrundstrahlung in wenig säkularisiertem Ton als „das Antlitz Gottes“. „Mann, bleib auf dem Teppich!“, mag sich dazu sein bescheiden auftretender Nobelpreiskollege John Mather gedacht haben. Aber erstaunlicherweise hat sich in den letzten Jahren diese übertriebene Sprache auch unter theoretischen Physikern verbreitet. „Die Rätsel der Schöpfung“, so der berühmte Kosmologe Alan Guth, „erscheinen immer weniger wie unlösbare Mysterien. Wir wissen heute, was sich 10^{-35} Sekunden nach dem Urknall zugetragen hat.“ Aber nicht nur in der Kosmologie, sondern auch in der unvorstellbar kleinen Welt der Elementarteilchen meinen die Physiker vor dem Durchbruch zu stehen: „Niemand hätte in seinen wildesten Träumen gedacht, dass wir soweit kommen wie wir heute gekommen sind“, sagt der Theoretiker Brian Greene – in offenbar wachem Zustand. „Physiker kurz vor der Entdeckung der Weltformel“ oder „Astronomen entziffern das Buch der Schöpfung“ – so und ähnlich titeln die Wissenschaftsredaktionen angesehener Zeitungen, und auch in vielen Fachzeitschriften findet sich solcher Optimismus. Aber haben wir gleichzeitig mit unseren technologischen Errungenschaften wirklich so plötzlich das Universum verstanden? Stehen unsere Wahrnehmungen mit den Augen wirklich im Einklang mit den Theorien, die wir in den Mund nehmen? Liegt dazwischen nur eine logische Kette, quer durch unser hoch entwickeltes Rechenzentrum zwischen den Schläfen oder hat die Begeisterung über

die Beobachtungen manchmal einen kleinen Kurzschluss durch die emotionalen Teile des Gehirns verursacht?

Es scheint, dass wir heute, fast 15 Milliarden Jahre nach dem Urknall, mit dem Schlüssel vor dem Schloss der letzten physikalischen Erkenntnis stehen. Dieses Buch ist ein Ausdruck des Zweifels daran. Ein Zweifel, ob es sich nicht auch um ein Gedankenhäuschen handeln könnte, das wir aus der Perspektive der Gegenwart zum Tempel überhöhen. Wir glauben fast alles zu wissen. Dabei ist nur eines sicher: Wir hatten noch nie bessere Gelegenheit, das Universum in solchen Einzelheiten zu bestaunen. Denn die Daten des kosmischen Mikrowellenhintergrundes sind nur Teil einer Revolution, die in der Astronomie in den letzten Jahrzehnten stattgefunden hat. Teleskope in Satelliten befreiten die Astronomen von der trüben und flimmernden Atmosphäre wie eine Operation am grauen Star, aber noch dramatischer hat die digitale Verarbeitung die Qualität der Bilder verbessert. Sie gleicht einem Evolutionsschritt wie die Entdeckung der Fotografie oder gar wie die Anwendung des Teleskops. Wie hätten Galilei, Kepler, Newton und Einstein die heutige Zeit genossen! Ich bin mir aber sicher, sie hätten sich nicht nur für die neuesten Theorien in der Zeitschrift *Physical Review* interessiert, sondern auch ihre eigenen fundamentalen Erkenntnisse nochmals genau auf den Prüfstand gestellt. Denn zu gewaltig ist der Sprung, den unsere Präzisionsteleskope seitdem vom Sonnensystem über unsere Heimatgalaxie bis weit ins Universum hinaus getan haben.

DAS NEUE UND DAS ALTE

Als König Friedrich Wilhelm IV. von Preußen seinen Hofastronomen launisch fragte: „Na, Argelander, was gibt's neues am Himmel?“, entgegnete dieser: „Kennen Majestät schon das alte?“ In diesem Sinne möchte ich auch Sie bei der Lektüre dieses Buches gelegentlich zu ein paar alten Beobachtungstricks einladen, damit Sie die spektakulären Ergebnisse der Astronomie genießen, aber auch deren Rätsel verstehen lernen. Die Farbe des Lichts, das auf unsere Netzhaut trifft, erlaubt zum Beispiel einen Rückschluss auf die Bewegung von Sternen und Galaxien. Blaues

Licht mit seiner erhöhten Frequenz zeigt uns eine Bewegung des Objekts auf uns zu, ebenso wie die Sirene eines herannahenden Krankenwagens im Ton höher erscheint. Ist dagegen die ursprüngliche Farbe zum roten Bereich des Farbspektrums verschoben, zeigt dies eine von uns weg gerichtete Bewegung an. Nach seinem Entdecker Christian Doppler wird dieser für Schall- und Lichtwellen gleichermaßen gültige Effekt „Dopplerverschiebung“ genannt. Überraschenderweise zeigt sich so, dass nur ein kleiner Teil der im Universum vorhandenen Materie in unseren Teleskopen sichtbar ist. Dies fiel zum ersten Mal 1933 Fritz Zwicky auf, einem Pionier der Galaxienforschung. Sein Lieblingsobjekt war der Coma-Haufen (Abb. 1), eine beeindruckende Ansammlung von Galaxien in 300 Millionen Lichtjahren Entfernung. Die mittels der Farbe gemessenen hohen Geschwindigkeiten der Galaxien verwunderten ihn sehr. Sie hätten diesen erlaubt, die Gravitationskraft des Galaxienhaufens zu überwinden, gleich schnellen Raketen, die das Schwerfeld der Erde verlassen können. Es musste also weitere Masse in solchen Haufen verborgen sein, die zwar unsichtbar, aber mit eiserner Hand der Gravitation die Galaxien am Entrinnen hindert. Diese wichtige Entdeckung bezeichnet man heute als „Dunkle Materie“, sie bildet einen Eckstein unseres aktuellen kosmologischen Weltbildes.



Abbildung 1: Links: Coma-Galaxienhaufen in 300 Millionen Lichtjahren Entfernung. Rechts: Fritz Zwicky, ein Pionier der Galaxienforschung.

Zwicky hätte dafür durchaus den Nobelpreis verdient. Wie man heute noch auf Fotos erahnen kann, war er jedoch ein kantiger Querkopf, der sich durch seine verbalen Direktheiten bei vielen Kollegen unbeliebt machte. Vor allem hat ihm aber wohl geschadet, dass er gegen *die* kosmologische Entdeckung der 1930er Jahre seines großen Konkurrenten polemisierte: Edwin Hubble hatte durch Messungen der Rotverschiebung des Lichts der Galaxien festgestellt, dass sich praktisch alle von uns wegzubewegen scheinen, und zwar umso schneller, je weiter sie entfernt sind. Dies war der erste Hinweis auf eine Expansion des Universums, die wir auf eine frühe, explosionsartige Ausdehnung zurückführen – den Urknall.

WARUM DIE AUGEN DER ASTRONOMEN LEUCHTEN

Der Applaus vom 13.01.1990 galt daher auch zum ganz wesentlichen Teil dem Urknallmodell. Denn die beeindruckende Messung bestätigte eine heiße Anfangsphase des Weltalls und sprach damit ebenfalls für die seit Hubbles Zeiten favorisierte Vorstellung einer kontinuierlichen Expansion. Der Entstehungszeitpunkt dieser kosmischen Mikrowellenhintergrundstrahlung wurde später auf 380 000 Jahre nach dem Urknall datiert – eine im Vergleich zu den folgenden 14 Milliarden Jahren sehr kurze Zeitspanne. Noch nie war man so nahe dran am Auge des Taifuns! Der Urknall gilt daher heute mehr denn je als die Basis unseres Verständnisses der Kosmologie. Die Sektlaune war noch kaum verklungen, da landeten 1998 zwei Forschergruppen bei der Beobachtung von Supernova-Explosionen einen weiteren Treffer: Kurz gesagt, eine Version de luxe von Hubbles Messungen, die ergab, dass das Weltall nicht nur expandiert, sondern dass dies auch noch beschleunigt, also immer schneller geschieht. Das bis dahin gültige Paradigma der Kosmologie war auf den Kopf gestellt und schien nur durch die Präsenz einer neuen Materieform möglich: einer „Dunklen Energie“ mit abstoßender Gravitation. Isaac Newtons in Stein gemeißelte Worte von 1687, „Gravitation ist die allen Körpern innewohnende Eigenschaft, sich gegenseitig anzuziehen“, sehen wir seit ein paar Jahren nicht mehr als gültig an. So

fürhten uns die neuen Präzisionsdaten zu grundlegenden Entdeckungen, die nun das Bild des Kosmos abzurunden scheinen. Wen wundert es daher, dass alle Astronomen seit gut zehn Jahren in einer euphorischen Stimmung herumlaufen und ihre Gesichter die Daten als strahlendes Lächeln reflektieren! Bald sollte ich auch etwas davon mitbekommen.

FASZINATION GEOMETRIE

An der Praia Vermelha in Rio de Janeiro betrachtete ich gerade die Parabelform des Zuckerhuts, als mir Straßenhändler auffielen, die frische Kokosmilch direkt aus der Nuss anboten. Geschickt legten Sie mit einem scharfen Messer in Sekundenschnelle um die Spitze drei Schnitte. Die runden Schnittkanten gaben nun den Weg ins fruchtbige Innere frei, standen jedoch durch die kugelhähnliche Form der Nuss praktisch senkrecht aufeinander. Ich griff sofort zu, denn einen besseren Aufhänger für meinen Vortrag hätte ich nicht finden können. Auf physikalischen Großkonferenzen muss man manchmal mit ungewöhnlichen Mitteln um Aufmerksamkeit kämpfen. Ein derartiges Treffen, das Marcel-Grossmann-Meeting, benannt nach einem ungarischen Mathematiker und Freund Einsteins, fand 2003 in Rio statt, wo Gravitationsphysiker und Astronomen aus aller Welt zum Gedankenaustausch zusammenkamen. Leider war mein Vortrag in jenen Nachmittagsstunden, die ein Absacken der körperlichen und geistigen Anwesenheit in der Zuhörerschaft begünstigen. So war ich froh um die Kokosnuss und den dazugehörigen Strohalm, mit dem man bequem ein wichtiges Konzept der Allgemeinen Relativitätstheorie veranschaulichen konnte. Dreiecke auf Kugeloberflächen können durchaus größere Winkelsummen annehmen als jene 180 Grad, die wir von Euklid aus der Schule kennen, und hier hatte der Verkäufer sogar drei rechte Winkel ausgeschnitten. Dass sich daran nichts änderte, wurde nun auch den Zuhörern klar, die vorschlugen, den Strohalm in anderer Weise entlang der Schnittkanten zu bewegen. Derartige Diskussionen laufen manchmal erstaunlich hitzig ab; vielleicht liegt der Grund darin, dass die Allgemeine Relativitätstheorie mit ihrer Abstraktion in die Geometrie hinein irgendwie die emotionale

Seite der Physiker anspricht. Die Vorstellung, die Massen unserer banalen Alltagsgegenstände seien Krümmungszentren der Raumzeit, hat etwas merkwürdig Reizvolles. Der russische Nobelpreisträger und Autor eines epochalen zehnbändigen Werkes über Theoretische Physik, Lev Landau, äußerte sich einmal so: Einsteins große Errungenschaft von 1915, jene geometrisch-raffinierte Verfeinerung von Newtons Gravitationsgesetz, sei „die schönste aller physikalischen Theorien“. Damals in Rio wäre es mir nicht im Traum eingefallen, dass die Allgemeine Relativitätstheorie bei einer Überprüfung mit neueren Daten Schwierigkeiten bekommen könnte – im Gegenteil, ich zählte zu jener Mehrheit der Physiker, die forsche Zweifler schon mal verdächtigte, den zweiten Band von Landaus Buchreihe, in dem die Theorie knapp, aber prägnant erklärt wird, nicht wirklich von innen zu kennen.

VON DER THEORIE ZUR BEOBACHTUNG

Zum Glück hatten sich aber in Rio nicht nur Theoretiker, sondern auch viele beobachtende Astronomen versammelt. Schon während des Fluges ab Madrid saß ich zufällig neben Sante, einem Doktoranden aus Neapel, woraus sich eine fast ununterbrochene, neunstündige Unterhaltung ergab. Wohl nicht zufällig kamen wir über den Wolken auf eine Flugbahnabweichung der Pioneer-Raumsonden zu sprechen, zu der 2001 eine ausführliche Untersuchung der NASA publiziert worden war.¹ So erfuhr ich von ihm, deren Beschleunigung in Richtung Sonne sei um eine Winzigkeit größer gemessen worden als nach dem Gravitationsgesetz zu erwarten war. Damals maß ich dem noch keine große Bedeutung bei.

Bei der Konferenz freundeten wir uns bald an. Da er selbst nur eine unsichere Stelle mit Zeitvertrag hatte, nahm er an meinem etwas ungewöhnlichen Namensschild, das als Institutsadresse ein Münchner Gymnasium auswies, keinen Anstoß, vielmehr erinnerte es ihn an Streiche seiner Schulzeit. Die Tagung fand übrigens in einer Militärakademie statt, und grün uniformierte Wachen mit blank geputzten Stiefeln achteten allenthalben auf Disziplin. Vor dem Eingang zur Akademie diskutierten wir gerade über einen merkwürdigen Zusammenhang der

Raumsondenbeschleunigung mit der Dunklen Materie an den Rändern von Galaxien, als wir unsanft von einem Uniformierten unterbrochen wurden: Die Einfassungsmauer eines Palmenbeetes sei keine Sitzgelegenheit. Wir hatten beide die unvermeidliche Assoziation zu einem Zitat Einsteins, in dem er sich boshaft über die Überflüssigkeit des Großhirns für marschbegeisterte Militärs äußerte. Dennoch war es sicher klüger, dass wir die Diskussion über die Dunkle Materie und die Beschleunigung woanders fortsetzten.

Wenn dieser Zusammenhang *kein* Zufall war, musste an dem ganzen Konzept der Dunklen Materie etwas faul sein, darin waren wir uns einig. Auf Santes Vorschlag hin besuchten wir auch eine Sitzung über aktuelle Messungen. Ein Vortragender gab dabei in Bezug auf die drei Komponenten des Universums Dunkle Energie – Dunkle Materie – normale Materie die Prozentwerte 72, 25 und 3 an. Die Begriffe der Dunklen Materie und Energie hatten inzwischen eine gewisse Skepsis in mir hervorgerufen, und die Genauigkeit auf Prozent schien mir doch leicht übertrieben. Zu Beginn meines Studiums galten die Astronomen mit ihren riesigen Messungengenauigkeiten immer als die Schmuttelkinder der Physik, die mit ihren undurchsichtigen Korrekturfaktoren und nicht vorhandenen Fehlerangaben von Präzision wie etwa in der Quantenoptik nur träumen konnten. So neckte ich also Sante: „Ausgerechnet ihr Astronomen! Vor gut zehn Jahren wusstet ihr noch nicht, ob das Universum 10 oder 20 Milliarden Jahre alt ist. Und nun sollen die Messungen plötzlich auf Prozent genau sein?“ Er revanchierte sich mit neapoletanischen Kraftausdrücken über die Theoretiker, gab aber schließlich freimütig zu: „Weißt du, Dunkle Energie, du kannst auch Quintessenz dazu sagen, das sind alles nur Namen für etwas, was wir hinten und vorne nicht kapieren.“ Mit diesem Satz im Kopf flog ich zurück nach Deutschland.

DIE KOSMOLOGIE DES DATENSAMMELNS

Kurze Zeit später saß ich in München in einer ganz anderen Konferenz – einer Zusammenkunft der Lehrkräfte meiner Schule, wie sie mehrmals im Jahr stattfindet. Die unvermeidlichen bürokratischen Themen

lassen mich leider meist in Gedanken abschweifen, und so dachte ich damals über die Natur der Dunklen Materie und der Dunklen Energie nach. Vieles erschien mir bald fragwürdig, ja widersprüchlich. Aber auch bei den Teilnehmern meines Astronomie-Wahlkurses, recht aufgeweckten 15- bis 18-Jährigen, stellte ich oft fest, dass sie sich nicht mit oberflächlichen Erklärungen zufrieden geben, sondern die richtigen Fragen stellen: Aus was könnten diese dunklen Substanzen bestehen? Warum hat die Natur sie überhaupt erfunden?

Viele Astronomen dagegen sehen ihre Hauptaufgabe darin, die jeweiligen Prozentanteile exakt zu vermessen. Nach dem Motto: Wenn wir schon nichts darüber wissen, dann wenigstens genau. Es gibt aber auch nachdenkliche Stimmen dazu, wie etwa Anthony Aguirre von der Universität von Kalifornien in Santa Cruz:ⁱⁱ „Dieses Paradigma hat durch die neuen Beobachtungen eine bemerkenswerte Bestätigung erfahren. Aber es ging doch auf Kosten der Einfachheit.“ Genauer gesagt, enthält das von den führenden Kosmologen akzeptierte „Konkordanzmodell“ nun sogar sechs Parameter: die Hubble-Konstante, die baryonische Dichte, die Dichte der Dunklen Materie und der Dunklen Energie, die skalare Fluktuationsamplitude und den skalaren spektralen Index. Sagt Ihnen das nichts? Nun, am Ende des Buches werden Sie vielleicht mehr mit diesen Begriffen anfangen können, aber das ist nicht mein eigentliches Ziel. Die Frage, die mir dagegen keine Ruhe lässt, ist: Warum wird das Universum im Großen gerade durch diese sechs Zahlen beschrieben und nicht durch andere? Und vor allem: Warum gerade sechs? Können wir vielleicht manche davon noch berechnen, und wenn nein, warum nicht? Und wer schützt uns davor, dass neue, genauere Beobachtungen weitere unerklärte Zahlen hervorbringen?

DIE RIESIGE EXTRAPOLATION UND DIE ZWEIFEL DARAN

Je mehr ich nun recherchierte über Gaswolken an Galaxienrändern, Röntgenstrahlung aus Galaxienhaufen oder entfernte Supernovaexplosionen, desto mehr kam die Frage auf, ob man diese Beobachtungen

wirklich nur mit den dunklen Substanzen interpretieren kann. Oder sollten wir sogar die anerkannten Theorien der Physik in Zweifel ziehen? In der Bibliothek stieß ich auf ein eigentlich weithin bekanntes Standardwerk über Galaxiendynamik, in dem sich der folgende Absatz findet:ⁱⁱⁱ

Bis hierher wurde angenommen, dass die Allgemeine Relativitätstheorie bzw. die Newtonsche Gravitation auf großen Skalen gelten. Tatsächlich gibt es aber wenig oder gar keine direkten Belege dafür, dass die konventionellen Gravitationstheorien auch auf Skalen korrekt sind, die z. B. viel größer als ein Lichtjahr sind. Die Newtonsche Gravitation funktioniert ausgezeichnet auf Skalen von 10^{12} Metern, also im Sonnensystem. Es ist aber hauptsächlich die Eleganz der Allgemeinen Relativitätstheorie mit ihren erfolgreichen Vorhersagen im Sonnensystem, die uns zu der gewaltigen Extrapolation auf 10^{21} – 10^{26} Meter führt.

Das war stark! Zwei führende Experten behaupten, das Gravitationsgesetz sei nur im Sonnensystem gut überprüft – ein winziger Bruchteil des Universums, der kaum einem Sandkorn in der Sahara entspricht. Alles andere seien Vermutungen, die auf ästhetischen Betrachtungen – Stichwort: „Eleganz“ – beruhen. Schönheit ist ja nicht gerade ein solides Fundament für wissenschaftlichen Theorien. Seitdem habe ich immer wieder Physiker und Astronomen mit diesem Zitat konfrontiert. Meist ist das Resultat ein Achselzucken, und leichthin wird entgegnet: Das sei zwar schon richtig, aber warum solle das Gravitationsgesetz nicht stimmen? Bisher habe man jedenfalls nichts Besseres.

Ich wage nicht zu behaupten, dass die intelligenten Außerirdischen – vielleicht gibt es sie ja gar nicht und die Sorge ist unberechtigt – über bessere Theorien verfügen, aber eines glaube ich doch: Unser Selbstbewusstsein, wir hätten die endgültige Beschreibung der Kosmologie mit dem „Konkordanzmodell“ gefunden, würde sie hämisch grinsen lassen. Und ich bin mir weiter ziemlich sicher: Dieses Grinsen würde noch wohlwollend ausfallen im Vergleich zu dem Gesichtsausdruck, der sie bei der Betrachtung weiterer Theorien von Homo sapiens möglicherweise beschleicht.

DER KOSMOLOGIE GEHT'S NOCH GUT – RELATIV

Trotz aller Merkwürdigkeiten befindet sich die Kosmologie noch in einem ordentlichen Zustand, wenn man sie mit dem Kernstück der Erkenntnisse vergleicht, das die Physiker aus ihren Beobachtungen der Mikrowelt zusammengetragen haben: dem Standardmodell der Teilchenphysik. Die sechs Zahlen der Kosmologie, die ich Ihnen genannt hatte, bezeichnet man als „freie Parameter“, weil man sie im Rahmen eines Modells nicht weiter erklärt, sondern den Messungen anpasst. Die Teilchenphysik benötigt davon nicht nur sechs, sondern – siebzehn.

Warum siebzehn? Die Fragen zu den sechs Zahlen wiederholen sich hier in dramatischer Weise. Dabei hatte die Geschichte ähnlich hoffnungsvoll begonnen wie bei unseren heutigen Teleskopen. Ab den 1950er Jahren gab es einen Boom der Teilchenbeschleuniger, die in der Folgezeit Hunderte von Elementarteilchen zu Tage förderten. Diesen Zoo zu klassifizieren und auf „nur“ 17 Parameter zurückzuführen, beschäftigte die Teilchenphysik während der letzten Jahrzehnte, was auch mit einigen Nobelpreisen bedacht wurde. Aber können wir schon überzeugt sein, den Aufbau der Materie verstanden zu haben? Lee Smolin schreibt in seinem Buch *The Trouble with Physics* über jene 17 Parameter: „Die Tatsache, dass so viele frei wählbare Konstanten in einer Theorie existieren, die den Anspruch hat, fundamental zu sein, ist extrem peinlich.“^{iv}

Wollten wir die Physik in ihrer Gesamtheit verstehen, ergäben sich somit schon 23 nicht weiter erklärte Zahlen. Nach anderer Zählung – hier verlieren die Physiker schon den Überblick – sogar noch mehr. Ein Artikel,^v den der britische Kosmologe Martin Rees zusammen mit dem Nobelpreisträger Frank Wilczek schrieb, zählt insgesamt 31 fundamentale Konstanten, also durch nichts begründete Zahlen. Pikanterweise veröffentlichte Rees fast gleichzeitig ein populäres Werk mit dem Titel *Just Six Numbers* in Anspielung auf die Parameter der Kosmologie. Sie sehen, auf diesem Gebiet lassen sich gerade noch Bücher verkaufen! Oder würden Sie eine Abhandlung über Physik mit dem Titel *Nur einunddreißig Zahlen* lesen wollen?

EIN DREAM TEAM PASST NICHT ZUSAMMEN

Bei so vielen freien Parametern, die die Natur beschreiben sollen, fühlt man sich doch an ein Zitat König Alfonsos X. von Kastilien erinnert: „Hätte mich der Herrgott bei der Schöpfung um Rat gefragt, hätte ich etwas Einfacheres empfohlen.“ Der Ausspruch entfuhr ihm, als er von den Ptolemäischen Epizyklen erfuhr, einer ungeheuer komplizierten Beschreibung der Planetenbewegungen aus geozentrischer Sicht, die später durch Newtons Gravitationsgesetz in die Rumpelkammer der Wissenschaftsgeschichte befördert wurde.

Physik ist die Wissenschaft der einfachen, logischen Erklärungen. Eine einzige Gravitationskonstante bestimmt die Bewegungen von Abertausenden Himmelskörpern in unserem Sonnensystem. Hunderte von Spektrallinien der Atome, auf denen unser ganzes System der chemischen Elemente beruht, können durch die Quantenmechanik als Schwingungszustände um den Atomkern dargestellt werden – mit einer technisch anspruchsvollen, aber im Grunde einfachen Mathematik, die das Konzept der Schwingung einer Cellosaite auf den dreidimensionalen Raum überträgt. Aber auch wenn sich die Wirklichkeit in der Teilchen- und Astrophysik heute komplizierter darstellt: Sind denn weitere Umwälzungen, die unser Weltbild vereinfachen könnten, nicht mehr denkbar? Woher nehmen die Leute die Zuversicht, dass unser gut tausend Gramm schweres Gehirn den großen Rahmen der Theorie überhaupt schon erkannt hat? Dabei herrscht über ein schwerwiegendes Problem Konsens: Obwohl die Allgemeine Relativitätstheorie die Physik im Großen ebenso erfolgreich beschreibt wie die Quantenmechanik die Eigenschaften der Atome, sind die mathematischen Formalismen dazu unversöhnlich wie Feuer und Wasser. Dazu kommt, dass die Gravitationskraft eines Protons auf ein Elektron um den Faktor 10^{40} kleiner ist als die elektrische Kraft, die diese beiden Teilchen zu einem Wasserstoffatom zusammenhält, eine unvorstellbare Zahl mit 40 Nullen. Niemand kann sie bis heute erklären. In Erstaunen versetzte mich aber dazu der Kommentar in einem Lehrbuch der Quantenfeldtheorie:^{vi} „In Anbetracht dessen ist der Teilchenphysiker *berechtigt*, die Gravitation zu ignorieren, und wegen der immensen theoretischen Schwierigkeiten ist er auch froh darüber!“ Physiker benehmen sich manchmal wie

gespaltene Persönlichkeiten, die einen verlorenen Schlüssel unter einer Straßenlaterne suchen, weil es dort hell ist. Zwar wissen sie genau, dass sie ihn anderswo im Dunkeln verloren haben, aber dort hätten sie ja kaum eine Chance, ihn zu finden.

Doch wenn sich das Gravitationsgesetz tatsächlich als korrekturbedürftig herausstellen sollte, würde ein Fundament der Physik in den Abgrund sinken und viele Theorien mitreißen. Dieses Verdrängen von elementaren Problemen ist ein irritierendes Phänomen des heutigen Wissenschaftsbetriebes, das mir auffiel, als ich mich intensiver mit älteren Veröffentlichungen beschäftigte. Über den bis heute unverstandenen Faktor 10^{40} hatten sich zum Beispiel schon die berühmten britischen Physiker Eddington und Dirac den Kopf zerbrochen. Alte Perlen wie diese gehen in der heutigen Publikationsflut meist unter, aber es lohnt sich fast immer, sie ans Tageslicht zu holen. Originalartikel von Einstein, Dirac oder Feynman sind klassische Stücke, deren Qualität sich nicht von aktuellen Hitparaden ableitet.

SEIT DREIßIG JAHREN IST TECHNO ANGESAGT

Aber nun zur Moderne! Als mögliche Lösung des Konfliktes zwischen Quantenmechanik und Allgemeiner Relativitätstheorie wird seit etwa drei Jahrzehnten die „String-“ oder auch „Superstringtheorie“ angesehen. Sie geht davon aus, dass Teilchen Schwingungszustände von winzigen Saiten – Englisch: strings – oder Membranen sind und nicht exakt punktförmig. Zudem sollen neben den drei sichtbaren weitere Dimensionen des Raumes vorhanden sein, die auf winzigen Strukturen ‚aufgerollt‘ sind, welche sich der direkten Beobachtung entziehen. Obwohl auch indirekt noch keine experimentellen Hinweise vorliegen, äußern sich viele Physiker enthusiastisch über die Perspektive, alle Theorien zu vereinigen. So schreibt etwa der Physiker Brian Greene in seinem Buch *Das elegante Universum*:

Nach der Superstringtheorie ist die Ehe zwischen den Gesetzen des großen und des kleinen nicht nur glücklich, sondern unvermeidlich [...] die Stringtheorie ist geeignet, diese Vereinigung

einen gewaltigen Schritt voranzubringen, [...] sie kann die Mutter aller Gleichungen werden.^{vii}

Leider spüre ich trotz solcher Lektüre, dass ich nicht viel verstehe von Stringtheorie. Möglicherweise geht es Ihnen ebenso, aber Sie haben sich vielleicht mehr erhofft, als mit mir in einem Boot zu sitzen. Ich gelte zwar bei meinen Lehrerkollegen als Experte für Theoretische Physik und Astronomiefreak, aber Physiker und Astronomen betrachten mich eher als engagierten Pädagogen. Ein ganz kleines bisschen tröstet mich da, dass etwa Günther Hasinger, immerhin Direktor an einem Max-Planck-Institut und Träger des Leibnizpreises, nach eigener Aussage^{viii} auch nichts von Stringtheorie versteht. Dies wirft übrigens ein sympathisch ehrliches Licht auf die so enge Zusammenarbeit zwischen Theoretikern und Beobachtern in der Astroteilchenphysik – aber davon später. Nun muss Ihnen der Name Hasinger nicht unbedingt etwas sagen. Aber sogar Richard Feynman, Nobelpreisträger und wohl der brillianteste Physiker der Nachkriegszeit, bemerkte über die Stringtheorie:

Ich weiß nun, dass ältere Leute oft töricht waren, wenn sie dergartiges sagten, und daher wäre ich ein Dummkopf, wenn ich behaupte, das sei Unsinn. Dennoch – ich nehme gerne in Kauf, ein Dummkopf zu sein, denn ich bin überzeugt davon, dass dies alles Unsinn ist! Es gefällt mir nicht, dass die Superstringtheoretiker ihre Ideen überhaupt nicht durch Berechnungen überprüfen. Es gefällt mir nicht, dass sie für alles, was nicht mit dem Experiment übereinstimmt, eine Erklärung aus dem Hut zaubern, womit sie dann sagen können: ‚Ja, aber es könnte trotzdem richtig sein‘.

WO DIE NOT IST, WÄCHST AUCH DIE HOFFNUNG

Woher kommen diese extremen Meinungen? Fakt ist, dass es für die Annahmen der Stringtheorie noch keinen einzigen experimentellen Beleg gibt, ja noch nicht einmal einen Vorschlag der Theoretiker, wie eine Messung aussehen sollte. Stattdessen wird die Theorie – manche sagen

auch, es handle sich eher um ein Sammelsurium von Ideen, wie eine Theorie aussehen könnte – permanent durch ihre unglaubliche Schönheit und Eleganz gerechtfertigt, die es geradezu unmöglich mache, dass dazu kein realer Hintergrund existiere. Lee Smolin, theoretischer Physiker und „Aussteiger“ aus der Stringtheorie, hat in seinem Buch *The Trouble with Physics* die Auswüchse auf den Punkt gebracht: fachliche Mängel, methodische Zirkelschlüsse, Willkürlichkeiten der Konzepte, bis zu den soziologischen Aspekten wie den befremdlichen hierarchischen Strukturen in dieser Wissenschaftsgemeinde. Obwohl er die handelnden Personen respektvoll, ja mit Samthandschuhen anfasst, treibt einem die Beschreibung doch die Zornesröte ins Gesicht – zu sehr fühlt man sich an das Märchen von des Kaisers neuen Kleidern erinnert. Früher fühlte ich mich oft etwas unwohl, den hochdimensionalen Heilsversprechungen der Stringtheorie nichts abgewinnen zu können. Es hat mich einfach nicht interessiert. Nach der Lektüre von Smolins Buch bin ich ein klein wenig stolz darauf.

DIE INFEKTION DER ASTROPHYSIK MIT DEM SPEKULATIONSVIRUS

Was aber tun ohne Stringtheorie? Wenn Sie mit eingefleischten Teilchenphysikern sprechen, klingen Ihnen die Ohren von der angeblich so tollen Übereinstimmung des Standardmodells mit den Experimenten. Besonders weh tut es, wenn dies auch noch den Jungen eingeredet wird, wie einer netten Astronomin, die ich 2002 bei der Tagung der italienischen Gravitationsphysiker in Frascati – ein wunderbares Plätzchen um Physik zu betreiben – kennengelernt hatte. Anstatt sich weiter mit den Sternen zu beschäftigen – all meine Überzeugungsarbeit half nichts – wechselte sie später auf eine Stelle am CERN, dem europäischen Mekka der Teilchenphysik. Der Misserfolg meiner Berufsberatung scheint allerdings ein Einzelfall gewesen zu sein, denn wie wir wissen, ist der Erfolg des Standardmodells mit 17 willkürlichen Zahlen erkaufte, vor denen sich viele mit Grauen abwenden. Seit langem gibt es hier einen *brain drain* der Teilchenphysiker zur Kosmologie, was sich praktisch

etwa durch die Gründung einer Arbeitsgruppe für theoretische Astrophysik realisieren lässt – so geschehen zum Beispiel beim *Fermilab*, einem der berühmten Beschleunigerlaboratorien in den USA. Und eine ihrer schönsten Komplizierungen, die Quintessenz, verdankt die Kosmologie einem Teilchenphysiker, der sein Handwerk beim CERN und DESY gelernt hat.

Sind diese erfahrenen Forscher nicht ein Gewinn für die Astrophysik? Nein! Das Problem ist, dass sie sich Jahrzehnte lang daran gewöhnt haben, die Natur mit immer mehr Willkürlichkeiten zu beschreiben, anstatt auf grundlegende Prinzipien zu bauen, wie es etwa Einstein stets getan hat. Wer das Nachfragen verlernt hat, findet sich mit Konzepthüllen wie Dunkler Materie und Dunkler Energie leichter ab – schlimmer noch, es vergeht keine Woche, in der nicht in den Internetarchiven wieder ein ähnliches Skalarfeld hervorgezaubert wird, um ein paar widersprüchliche Beobachtungen zu „erklären“. Standardmäßige Begründung: In der Mikrophysik gebe es das ja auch

Ich weiß, ich mache mich hier unbeliebt, aber ich behaupte, dass das Verständnis des Universums durch das Gastspiel dieser Teilchenbuchhalter nicht vorankommt. Stattdessen werde ich das Gefühl nicht los, dass nach dem Untergang der Teilchenphysik in sinnlosen Zahlen die Dämme der Wissenschaftslogik irgendwann erneut brechen und eine zweite Flut von freien Parametern die Kosmologie überschwemmen wird. Mit anderer Mathematik, aber um keinen Deut besser, arbeiten jene String-Physiker, die noch nicht jegliche Empirie durch Ideologie ersetzt haben. Wie viele Theoretiker suchen sie wenigstens praktischen Schutz vor der Widerlegung ihrer Ideen und postulieren Phänomene im Bereich der sogenannten Plancklänge von 10^{-35} Metern, die aus drei Naturkonstanten berechnet wird. Hält man sich dagegen die Größe von 10^{-15} Metern des Atomkerns, der kleinsten stabilen Struktur, vor Augen, erscheint die Hoffnung auf eine experimentelle Bestätigung vollkommen albern. Denn auf Größenskalen ist es vom Atomkern zur Plancklänge so weit wie von der Erde zum Atomkern. Aber was noch mehr beunruhigt: Falls am Gravitationsgesetz oder an der Gravitationskonstante etwas faul ist – und darauf deutet einiges hin – wäre die darauf aufbauende Konstruktion der Plancklänge kompletter Blödsinn.

PHYSIK WIRD SCIENCE FICTION

Die zum Standardmodell der Kosmologie hinzugekommene Inflation, die begonnen haben soll, als das Universum kaum größer als die Plancklänge war, bietet dagegen eine willkommene ökologische Nische für Theorien, die im harten Laborklima der Messungen nicht hätten überleben können. Ebenso wird den Hochenergiephysikern klar, dass der *Large Hadron Collider* am Forschungszentrum CERN in Genf wohl ihr letztes vom Steuerzahler finanziertes Großspielzeug sein wird. Auch sie planen, sich in einen billigeren Beschleuniger einzunisten: den Urknall, in der Tat ein einzigartiges Labor für auf Erden nicht beobachtbare Teilchen und Phänomene. Schade nur, dass man am Urknall ebenso wenig beobachten kann. Umso mehr inspiriert dies die Phantasie, was sich dann so liest:^{ix}

Die kosmische Inflation ist möglicherweise das lang gesuchte Schlüsselexperiment der Stringtheorie. Unser gesamtes beobachtbares Universum könnte sich auf einer dreidimensionalen Membran oder Bran befinden, die am Ende eines der Arme des Calabi-Yau-Raumes liegt.

Illustriert ist das Ganze mit einer Abbildung, die wie eine Kreuzung zwischen Achterbahn und HI-Virus aussieht. Dann geht es weiter, nun ohne den lästigen Konjunktiv:

Die Geometrie der Extradimensionen kann recht ungewöhnliche Formen annehmen, ähnlich einer Krake mit vielen röhrenartigen Armen. Die Bewegung durch diesen Arm schwächt die Anziehung zwischen Bran und Antibrän ab. Die geringere Anziehungskraft erlaubt nun langsamere Veränderungen – langsam genug, um tatsächlich eine Inflationsphase auslösen zu können.

Ich kenne viele Physiker, die von derartigem Geschwätz genervt sind, aber die meisten von ihnen arbeiten im Labor oder in der Anwendung! In der „fundamentalen“ Physik hingegen wird in diesem Stil munter

spekuliert, ohne Daten, ohne Beobachtung und ohne Experiment: über neue Teilchensorten, Wurmlöcher, kosmische Strings und Membranen, primordiale schwarze Löcher, ewige oder chaotische Inflationen, gekräuselte Raumzeit, Supersymmetrien und Extradimensionen, Quantenschaum und Multiversen.

GEHT'S NOCH, HOMO SAPIENS?

Wenn ich wieder an unsere Außerirdischen denke, ich glaube sie würden uns an dieser Stelle einen Arzt schicken. Neben hochgradig überspannten Phantasien und erheblichem Realitätsverlust würde er wahrscheinlich vor allem diagnostizieren: die Wahnvorstellung, die Naturgesetze schon im wesentlichen verstanden zu haben, nebst dem dringenden Bedürfnis, dies mitzuteilen. Nach einem chinesischen Sprichwort kann ein Narr an einem Tag mehr Unsinn reden, als sieben Weise in einem Jahr widerlegen können – ein methodisches Problem vieler Wissenschaften. Aber die Physik war einmal anders. Wo ist ein Niels Bohr, dessen Intuition die Physiker der 1920er Jahre wie ein Leuchtfeuer zur Quantenmechanik führte? Wo sind Charaktere wie Einstein, Heisenberg, Dirac, Feynman geblieben? Wägt man deren Resultate, so erscheinen auch die Koryphäen der jüngeren Vergangenheit, wie Weinberg oder Hawking, als kleinere Lichter, ganz zu schweigen von manchen Eintagsfliegen, deren Sirengesänge mit String-Begleitung wir heute hören. Sie jonglieren mit den kompliziertesten Berechnungen und merken dabei nicht, dass sie die naturwissenschaftliche Bodenhaftung längst verloren haben. In dieser im Vergleich zu früheren Zeiten leichtgewichtigen Riege tummeln sich Karrieretypen, denen zu einem Einstein nicht nur ein entsprechendes Gehirn, sondern auch das Rückgrat fehlt. Sie sind interessiert an Universitätsgeldern, Seilschaften und Sonderforschungsbereichen, aber nicht an der Frage, was die Welt im Innersten zusammenhält. Sie feiern sich selbst auf Konferenzen, anstatt allein auf einem Felsen nachzudenken, wie Heisenberg es tat, als er 1925 seine Quantentheorie entdeckte. Ihre Arroganz der Gegenwart definieren sie dreist als Avantgarde, und wenn sonst nichts mehr hilft, wird in Computermodellen das Unverständnis mit Teraflops und Terabytes geflutet.

Das anstrengende Tagesgeschäft erledigen dabei meist die Wasserträger der Wissenschaft mit Zeitverträgen, die in dem gutem Glauben leben, dass die Trendsetter in Princeton oder Harvard schon alles richtig machen. Wer möchte auch dort schon anecken? Die Physik hat heute keine idealistischen Denker mehr, sondern driftende Großorganisationen, die getrieben sind von Eitelkeiten, lokaler Förderpolitik und den Spielregeln des Wissenschaftsmarktes. Eine verlorene Generation von Physikern hat längst keinen Überblick mehr, wo es eigentlich hingehen soll. Die Genies sind tot, und bei den Nachfolgern sind oft alle Sicherungen durchgeknallt.

Sehr sonderbare Leute, diese Physiker (...) Nach meiner Erfahrung sind die, die nicht tot sind, irgendwie sehr krank.

DOUGLAS ADAMS,
Der lange dunkle Fünfuhrtee der Seele

WEITERFÜHRENDE LITERATUR

S. Singh: Big Bang, WBG Darmstadt 2005.

L. Smolin: The Trouble with Physics, Houghton Mifflin 2006.

- i J. D. Anderson et al., arXiv:gr-qc/0104064.
- ii A. Aguirre et al., arXiv:hep-ph/0105083.
- iii J. Binney/S. Tremaine, Galactic Dynamics (Princeton University Press), S. 635.
- iv Smolin, S. 13.
- v F. Wilczek et al., arXiv:astro-ph/0511774.
- vi L. Ryder, Quantum Field Theory (Cambridge University Press), S. 3.
- vii B. Greene, Das elegante Universum (Goldmann 2006), S. 19.
- viii G. Hasinger, Das Schicksal des Universums (Beck 2007), S. 60.
- ix Spektrum 02/2008, S. 26 ff.