

Mäder | Astrophysik. 100 Seiten

* Reclam 100 Seiten *



ALEXANDER MÄDER ist Chefredakteur des Magazins *Bild der Wissenschaft*. Zuvor leitete er das Wissenschaftsressort der *Stuttgarter Zeitung*. Er hat Philosophie, Physik und Psychologie studiert und war von 2009 bis 2011 Vorsitzender des Berufsverbands der Wissenschaftsjournalisten.

Alexander Mäder
Astrophysik. 100 Seiten

Reclam

2017 Philipp Reclam jun. GmbH & Co. KG,
Siemensstraße 32, 71254 Ditzingen
Umschlaggestaltung nach einem Konzept der zero-media.net
Infografiken (S. 22, 60 f., 76 f.): Infographics Group GmbH
Bildnachweis: S. 56: © NASA/JPL-Caltech; S. 81: © NASA /
JPL-Caltech / Malin Space Science Systems; S. 93: © Wikimedia
Commons / NASA
Druck und Bindung: Canon Deutschland Business Services GmbH,
Siemensstraße 32, 71254 Ditzingen
Printed in Germany 2018
RECLAM ist eine eingetragene Marke
der Philipp Reclam jun. GmbH & Co. KG, Stuttgart
ISBN 978-3-15-020434-4

Auch als E-Book erhältlich

www.reclam.de

Für mehr Informationen zur 100-Seiten-Reihe:
www.reclam.de/100Seiten

Inhalt

- 1 Die Highlights des Universums
- 16 Der Knall im Urknall
- 33 Die Galaxie im Computer
- 48 Blitze und Beben
- 64 Sturm und Hagel im Sonnensystem
- 84 Sind wir einzigartig?

Im Anhang Lektüretipps



Die Highlights des Universums

Am 14. Januar 2005 habe ich dann doch einmal durch ein Fernrohr geschaut. Ich war in Darmstadt auf dem Gelände des europäischen Satellitenkontrollzentrums und verfolgte dort mit 200 Journalisten eine Sternstunde der Raumfahrt: die Landung auf dem Titan. Als Neil Armstrong und Buzz Aldrin im Juli 1969 als erste Menschen den Mond betraten, war ich noch nicht geboren. Nun stand auch für mich eine Mondlandung an, denn der Titan umkreist den Ringplaneten Saturn, ist damit ein Mond des Planeten und sogar ein gutes Stück größer als der Mond der Erde. Im Unterschied zur Mondlandung 1969 ging es im Januar 2005 wirklich um Entdeckungen – und nicht bloß um ein riskantes Spektakel, das zwar die Menschen bewegte, aber die Wissenschaft kaum voranbrachte.

Der Titan ist von einem dichten, orangefarbenen Dunstschleier umgeben, und unter den sollte die Raumsonde Huygens zumindest kurz blicken. Fünf Minuten würden ihm schon genügen, sagte einer der Forscher. Fünf Minuten Messdaten und Fotos hört sich nach wenig an, wenn man bedenkt, dass auf dem Titan eine unbekannte Welt auf die Wissenschaft wartete. In so kurzer Zeit kann man einen Mond natürlich nicht richtig erfassen. Doch gerade wenn Wissenschaftler bis-

her nur mutmaßen konnten und tatsächlich nichts zuverlässig wissen, können fünf Minuten die Forschung enorm weiterbringen. Im Anschluss würde man wenigstens einige Anhaltspunkte haben, um weiter nachzudenken.

Astronauten waren für diese Mission nicht nötig. Huygens war unbemannt und hatte beim Start nur ein Fünffzigstel des Gewichts der alten Mondfähre Eagle. Vom Kontrollzentrum in Darmstadt aus hatten die Piloten der europäischen Raumfahrtagentur die Sonde auf den richtigen Kurs gebracht. Sie war zur Mittagszeit an einem Fallschirm gelandet, so viel wusste man schon. Meinen Artikel mit dieser Nachricht hatte ich an die Redaktion geschickt und wartete nun mit den Wissenschaftlern und anderen Journalisten auf die ersten Daten.

Um Luft zu schnappen, ging ich nach draußen in den milden Winterabend. Einige Darmstädter Astronomen hatten am Zaun des Kontrollzentrums ihre Teleskope aufgebaut und auf den Titan gerichtet. Sie ließen mich durchs Objektiv gucken, und ich erkannte einen hellen Punkt neben dem Planeten mit den bekannten Ringen. Ich fragte, ob man den Saturn auch mit dem bloßen Auge sehen könne, und einer der Astronomen zeigte mir mit einem kräftigen grünen Laserpointer die Stelle am Himmel. Da saß Huygens also nach seiner siebenjährigen Reise durch das Sonnensystem. Wie würde es auf dem Titan wohl aussehen?

Außer bei solchen Ausnahmen habe ich mich nicht dafür interessiert, die Himmelskörper mit eigenen Augen zu sehen. Sich am Himmel auszukennen, die Technik der Teleskope zu beherrschen und am Ende vielleicht sogar schöne Fotos zu machen, wie es Hobbyastronomen können – diese Möglichkeit habe ich schon immer gerne eingetauscht gegen Reisen in Gedanken. Lieber schaue ich mir die künstlerisch angehauchten

Darstellungen ferner Welten an, auch wenn ich weiß, dass die Künstler oft nur spekulieren, denn die meisten dieser Welten werden wir nie besuchen können, weil es die Gesetze der Physik verhindern: Sie sind schlicht und einfach zu weit weg. Doch diese Illustrationen regen meine Phantasie an, und in der Phantasie ist es kinderleicht, in ein anderes Sternensystem oder eine andere Galaxie zu fliegen. Auf eine solche Reise möchte ich Sie in diesem Buch mitnehmen.

Nur eins kann diese Spekulationen noch übertreffen: echte Nahaufnahmen der fernen Welten, wie sie die Raumsonde Huygens liefern sollte. Irgendwann haben es einige Journalisten nicht mehr ausgehalten und den Leiter des Kamerateams der Raumsonde gesucht. Eilig kam er mit einem Laptop unter dem Arm in einen Besprechungsraum, suchte sich einen Beamer und improvisierte eine Pressekonferenz. Er warf ein Bild an die Wand, das Huygens kurz nach seiner Landung aufgenommen hatte. Es zeigte eine weite Ebene mit verstreuten faustgroßen Brocken und sah bei weitem nicht so geheimnisvoll aus wie die künstlerischen Spekulationen. Es hätte das Foto einer irdischen Geröllwüste sein können.

Erst die Erläuterungen des Wissenschaftlers machten es zu etwas Besonderem: Denn die Brocken sind keine Steine, sondern Eisklumpen, und der Boden ist vermutlich mit Erdgas getränkt, das bei ungefähr minus 180 Grad flüssig oder gar gefroren ist. Auch wenn man als Journalist Distanz zu den Dingen wahren muss, über die man berichtet, hat mich dieses Bild berührt: Es zeigte eine ferne, fremde Welt, wie sie wirklich ist.

Natürlich lässt sich der Titan nicht verstehen, wenn man nur Fotos und Messdaten von einem einzigen Landeplatz zu Rate zieht. Man stelle sich vor, eine außerirdische Intelligenz

hätte eine Sonde zur Erde geschickt und nach der Landung eine Düne in der Sahara oder das undurchdringliche Dickicht des Amazonas-Regenwalds fotografiert. Oder sie hätte gar ein dunkelblaues Bild empfangen, weil die Sonde ins Meer gestürzt ist. Dann wüssten die Aliens noch nichts über die Vielfalt der Erde. Sie hätten zum Beispiel kein Bild vom ewigen Eis am Nord- und Südpol und keins von unseren Millionenstädten. Aber sie könnten sich ausrechnen, dass es in den polaren Regionen ein gutes Stück kälter sein muss als an ihrem Landeplatz. Und vielleicht hätten sie sogar kurz vor der Landung einige Lichtpunkte auf der Erdoberfläche registriert und könnten aus der Analyse ermitteln, dass es kein natürliches, sondern künstliches Licht ist. So würden sie es zumindest handhaben, wenn sie so wären wie wir: Astronomen müssen im Grunde genommen immer das Beste aus den wenigen Daten machen, die sie herausholen. Aber es ist natürlich möglich, dass die Außerirdischen anders ticken und an uns Menschen gar kein Interesse haben. Vielleicht notieren sie in ihrem galaktischen Katalog für die Erde bloß, was Douglas Adams in seiner Bücherfolge *Per Anhalter durch die Galaxis* vermutete: »Überwiegend harmlos.«

Ein stauender Blick zum Himmel

Weil den Astronomen nur wenige Daten über die Himmelskörper zur Verfügung stehen, müssen sie in ihrer Argumentation manchmal größere Sprünge machen. Sie können ihre Theorien nicht lückenlos aus den Beobachtungen des Himmels herleiten. Das unterscheidet Astronomen und Astrophysiker (die Berufsbezeichnungen sind praktisch identisch) zum

Beispiel von Chemikern und Genetikern, die im Labor experimentieren können. Ein Witz beschreibt diese Unterschiede sehr schön:

Da fahren ein Astronom, ein Ingenieur und ein Mathematiker durch die Lüneburger Heide und sehen aus dem Zugfenster ein schwarzes Schaf. »Guckt mal!« ruft der Astronom. »In der Lüneburger Heide sind die Schafe schwarz.« Der Ingenieur ist vorsichtiger und sagt: »Zumindest einige der Schafe hier scheinen schwarz zu sein.« Da meldet sich der Mathematiker zu Wort: »Meine Herren« – es sind in diesen Fächern leider immer noch meistens Herren –, »wir wissen bisher nur, dass es in der Lüneburger Heide mindestens ein Schaf gibt, das auf mindestens einer Seite schwarz ist.«

Sieht der Titan also auf der anderen Seite ganz anders aus als auf den Bildern, die Huygens zur Erde funkte? Diese Frage wird für viele Jahre unbeantwortet bleiben, denn eine zweite Mission zum Saturn ist nicht geplant. Zum einen sind die Missionen teuer: Die Mission der Landesonde Huygens und des Mutterschiffs Cassini, das seit 2004 den Saturn sowie dessen Ringe und Monde untersucht, hat die US-amerikanische und die europäische Raumfahrtagentur, die NASA und die ESA, knapp drei Milliarden Euro gekostet. Zum anderen gibt es viele andere interessante Ziele: die Kometen zum Beispiel, die uns nur kurz besuchen und dann wieder in der Tiefe des Alls verschwinden, oder den Zwergplaneten Pluto am Rand des Sonnensystems oder den Jupiter-Mond Europa, unter dessen Eiskruste ein Ozean vermutet wird. Und dann gibt es natürlich

noch den riesigen Rest des Universums außerhalb unseres Sonnensystems, den wir zwar nicht mit Raumschiffen besuchen, aber den wir immerhin mit leistungsfähigen Teleskopen beobachten können.

Die Bilder von der Oberfläche des Titans haben damals gut eine Stunde zur Bodenstation auf der Erde gebraucht. Der Saturn-Mond war im Januar 2005 also rund eine Lichtstunde von der Erde entfernt. In der Astronomie ist das ein Katzensprung. Der nächste Stern, Alpha Centauri – um genau zu sein, handelt es sich um ein Sternsystem –, ist schon mehr als vier Lichtjahre entfernt. Und das Licht der beeindruckenden Quasare, die wir noch kennenlernen werden, war mehrere Milliarden Jahre zu uns unterwegs. Man kann sich vorstellen, dass Quasare sehr hell sein müssen, wenn wir sie aus dieser großen Entfernung noch sehen können. Und man fragt sich unwillkürlich, ob sie heute noch leuchten, denn man sieht das Licht, das sie vor Milliarden Jahren ausgestrahlt haben. Auf die Ankunft des Lichts, das sie eventuell heute ausstrahlen, werden wir auf der Erde also noch sehr lange warten müssen.

Am besten erkennt man Quasare übrigens mit Radioteleskopen, deren große, weiße Schüsseln nicht das Licht, sondern Radiowellen einsammeln. Vieles im Weltall zeigt sich nämlich nicht im Bereich des sichtbaren Lichts, sondern in anderen Formen der elektromagnetischen Strahlung. Zu dieser Art von Strahlung gehören auch Radiowellen, Infrarot- und Röntgenstrahlen. Deshalb nutzen Astronomen ganz unterschiedliche Instrumente.

Manche Teleskope sitzen auf Bergkuppen in trockenen Regionen, weil der Himmel dort seltener bedeckt ist und das Licht, das die Städte abstrahlen, nicht stört. In der chilenischen Atacama-Wüste, in 3000 Meter Höhe, baut die Europäische

Südsternwarte (ESO) zum Beispiel gerade das Extremely Large Telescope, das 2024 sein erstes Sternenlicht empfangen soll. Im Unterschied zu früheren Observatorien wie dem Very Large Telescope in Chile, bei dem vier Teleskope mit einem Durchmesser von jeweils acht Metern zu einem virtuellen Großgerät zusammengeschaltet wurden, ist man inzwischen in der Lage, ein einzelnes Teleskop mit einem Durchmesser von sagenhaften 39 Metern zu bauen. Andere Observatorien schießt man gleich ins dunkle All, weil die geplanten Messungen nur dort möglich sind – wenn auch teurer und aufwendiger, weil man die Geräte nur unter großen Mühen reparieren kann. Die fliegende Sternwarte SOFIA, ein deutsch-amerikanisches Teleskop in einem umgebauten Jumbojet, bildet da einen Kompromiss: In zwölf Kilometer Höhe beobachten Astronomen an Bord die Sterne; damit lassen sie den größten Teil der Erdatmosphäre unter sich, die das Infrarotlicht aus dem All verschluckt. Allerdings können die Instrumente nach jedem Flug gewartet oder ausgetauscht werden.

Wie sehr das künstliche Licht bei der Beobachtung stört, kann man leicht selbst feststellen. In Städten wird zum Beispiel das leuchtende Band der Milchstraße überstrahlt, das sich über den Himmel zieht. Man sieht in klaren Nächten vielleicht einige Dutzend Sterne und, wenn sich die Augen an die Dunkelheit gewöhnt haben, noch ein paar mehr. Wenn ich im Urlaub wandern gehe, überrascht es mich dagegen immer wieder, wie viele es sein können. Allen Stadtmenschen sei versichert: der ungestörte Blick in den Nachthimmel hat auch für Nicht-Astronomen seinen Reiz! Australien hat einmal mit einem hübschen Slogan dafür geworben, die Hotels der Städte gegen ein Zelt im Outback einzutauschen: »Warum sich mit fünf Sternen begnügen, wenn man eine Million haben kann?«

Die Werbung ist allerdings ein wenig übertrieben, denn selbst wenn es wirklich dunkel ist, sieht man mit dem bloßen Auge nur einige tausend Sterne.

Die sichtbaren Sterne gehören alle zur Milchstraße, unserer Heimatgalaxie. Sie stellen aber nur einen kleinen Ausschnitt aller Sterne dar, denn die Milchstraße beherbergt mehr als 100 Milliarden Sterne. Um sich zu vergegenwärtigen, wie viele das sind, kann man allerlei Vergleiche anstellen. Solche Vergleiche sind naturgemäß vage, geben im besten Fall aber immerhin ein Gefühl für die Größe. Probieren wir es aus: Wäre jeder Stern ein Sandkorn (nehmen wir einmal Feinsand in Form von kleinen Würfeln mit einer Kantenlänge von 0,2 Millimetern), könnte man damit mindestens ein Dutzend Umzugskartons mit einem Volumen von je 70 Litern füllen. Falls es doppelt oder dreimal so viele Sterne sein sollten – so genau weiß man das nicht –, dann sind es eben zwei oder drei Dutzend Kartons.

Und das ist noch nicht alles, es kommt noch ein gedanklicher Schritt hinzu: Es dürfte im Universum mehr als 100 Milliarden Galaxien geben – nach neuesten Schätzungen sogar mehr als eine Billion. Das wäre dann ein Würfel von Umzugskartons, der je neun Kilometer hoch, breit und tief ist. Manchmal muss man dann jedoch auch zugeben, dass die Vergleiche so absurd werden, dass sie am Ende kaum noch etwas vermitteln.

In jedem Fall sollte einen die schiere Menge der Sterne stutzig werden lassen: Warum sieht man so wenige von ihnen? Müssten sie – alle zusammengenommen – den Nachthimmel nicht taghell erleuchten? Vor 200 Jahren hat man vermutet, dass dichte Wolken einen Großteil des Lichts verschlucken. Solche Wolken gibt es tatsächlich, doch sie liefern nicht die Antwort auf die Frage. Wenn das Weltall unendlich viele Sterne enthielte, die schon seit einer Ewigkeit leuchten, dann wäre

der Nachthimmel in der Tat ziemlich hell, weil sich die Wolken mit der Zeit aufheizen würden. Schaut man jedoch abends in den Himmel, macht man ganz nebenbei eine wichtige astronomische Beobachtung: dass es nicht so ist. Die Sterne leuchten nur einige Milliarden Jahre, manche sterben schon viel früher, und das Universum ist erst einige Sternenerationen alt. Das Licht vieler Sterne hat die Erde daher noch gar nicht erreicht, und das Licht mancher Sterne wird es auch nie zu uns schaffen, weil das Universum immer weiter wächst und damit die Abstände zwischen den Sternen und Galaxien immer größer werden. Auch wenn es sehr viele Sterne geben mag, wirken sie in der Weite des Alls daher ziemlich verloren. Das Universum ist wirklich groß, und es ist größtenteils leer oder nur von einem ganz dünnen Gas erfüllt.

Und die Erde erst! Wie verloren ist sie? Mit dieser bangen Frage beginnt für mich die Astronomie. Sie ist nicht zuletzt der Versuch, unseren Platz im Universum zu bestimmen. Für ein solches Interesse spricht, dass anscheinend seit Jahrtausenden Menschen vom Nachthimmel fasziniert sind. Es gibt Archäologen, die in den prähistorischen Malereien in der französischen Höhle von Lascaux Konstellationen am Himmel erkennen. In jedem Fall haben viele spätere Kulturen versucht, Ordnung in den Himmel zu bringen. Sie erstellten auf diese Weise nützliche Kalender – und sie fanden auch einen Platz für den Menschen im kosmischen Gefüge. Heute sehen wir jedoch nicht mehr die Erde im Mittelpunkt des Universums, und ebenso wenig die Sonne. Aber wo stehen wir dann?

Zunächst liefert die Wissenschaft eine technische Antwort, eine Art kosmischer Ortsbestimmung: Die Erde kreist mit einer Geschwindigkeit von 100 000 Kilometern in der Stunde um die Sonne; sie braucht bekanntermaßen ein Jahr für eine

Umrundung. Die Sonne mit ihren acht Planeten und vielen kleineren Asteroiden und Kometen fliegt wiederum mit 800 000 Kilometern in der Stunde um das helle Zentrum der Milchstraße; ein galaktisches Jahr dauert für das Sonnensystem mehr als 200 Milliarden Jahre. Unsere Heimatgalaxie ist eine flache Scheibe mit mehreren langen Armen, die in Spiralen nach außen gehen. Das Sonnensystem liegt im Orion-Arm und ist gut 25 000 Lichtjahre vom Zentrum entfernt – auf halber Strecke zum Rand. In der Nähe der Milchstraße befinden sich einige Zwerggalaxien und auch größere Galaxien wie Andromeda. Zusammen bilden sie eine Struktur, die in der Astronomie etwas phantasielos »Lokale Gruppe« genannt wird.

	Strecke in km	Strecke in Lichtjahren
Sonne – Erde	150 000 000	0,000015 (8 Lichtminuten)
Sonne – Rand des Sonnensystems	22 000 000 000	0,002 (20 Lichtstunden)
Sonne – Proxima Centauri (der nächstgelegene Nachbarstern)	40 000 000 000 000	4,2
Durchmesser der Milchstraße	950 000 000 000 000 000	100 000
Erde – Galaxie Andromeda	24 000 000 000 000 000 000	2 500 000
Durchmesser des beobachtbaren Universums	880 000 000 000 000 000 000 000	93 000 000 000

Auch hier ist alles in Bewegung: In drei Milliarden Jahren werden Andromeda und die Milchstraße kollidieren. Weil zwischen den Sternen viel Platz ist, werden kaum Sterne direkt aufeinanderprallen, doch durch ihre Schwerkraft werden sich die beiden Galaxien ganz schön aufmischen. Wenn die Erde dabei nicht in die Leere hinausgeschleudert wird, dürfte man am Himmel ein leuchtendes Spektakel erleben, das sich über einige Milliarden Jahre erstrecken wird, bis sich die beiden Galaxien beruhigt und zu einer größeren vereinigt haben. Doch dann wird unsere Sonne schon so groß und heiß geworden sein, dass man auf der Erde nicht mehr leben kann, und wenig später wird die Sonne ihren Brennstoff verbraucht haben und sich mit einem kräftigen Blitz verabschieden.

Von wegen harmlos!

Was soll man von dieser technischen Ortsbestimmung halten? Manche Leute geben dem Ganzen einen tieferen Sinn und sind überzeugt, dass die Bewegungen am Himmel mit Ereignissen auf der Erde zusammenhängen. Die Konstellation der Sterne am Tag der Geburt soll sogar die Persönlichkeit eines Menschen beeinflussen. Ich wüsste nicht, warum das so sein sollte. Physikalisch haben die Sterne nichts mit der Erde zu tun, wenn man einmal davon absieht, dass uns ein Bruchteil ihres Lichts erreicht. Und die Sterne eines Sternbilds haben auch nicht unbedingt etwas miteinander zu tun: Der eine kann der Erde nahe stehen und der andere weit entfernt sein – und nur von der Erde aus gesehen liegen sie am Nachthimmel nebeneinander. Warum sollten solche zufälligen Perspektiven auf die Sterne reale Vorgänge beeinflussen?

Auf mich machen solche astrologischen Einteilungen des Himmels einen willkürlichen Eindruck. Die Naturwissenschaft bietet spannendere Zusammenhänge: Sauerstoff, Kohlenstoff, Eisen, Phosphor oder Schwefel – also Atome, die das Leben ausmachen – waren zum Beispiel bei der Geburt des Universums noch nicht vorhanden. Sie sind im Inneren von großen Sternen durch Kernverschmelzung entstanden und später im Weltall verteilt worden, als die Sterne in einer Supernova explodierten. Die Eisenatome in meinen roten Blutkörperchen waren also vor langer Zeit einmal in einem Stern. Diese Erkenntnis hilft zwar nicht dabei, meine persönliche Zukunft vorherzusagen, aber solche Prognosen kommen mir ohnehin überzogen vor. Man weiß schon so erschreckend wenig über das Universum und das Leben auf der Erde, etwa über die Myriaden von Bakterien, die im menschlichen Körper wohnen. Woher nehmen Wahrsager da die Gewissheit, das Glück oder Pech eines Menschen ermitteln zu können? Sind die Regeln, nach denen Horoskope erstellt werden, wirklich raffiniert genug, um die Komplexität der Welt zu erfassen?

Verstehen kann ich hingegen das Gefühl der Bedeutungslosigkeit, das einen überfällt, wenn man unseren Blauen Planeten als Sandkorn im schwarzen kosmischen Meer betrachtet. Überall im Universum gibt es Dinge, die größer, heißer und stärker sind als alles auf Erde. Es gibt zum Beispiel Schwarze Löcher, die alles verschlingen, was ihnen zu nahe kommt, und es gibt Supernova-Explosionen, die ihre galaktische Nachbarschaft für lange Zeit unbewohnbar machen.

Man muss die Stellung der Erde im Universum aber nicht so negativ sehen. Mir liegt eine andere Perspektive näher: Ich verstehe die Erde als etwas Besonderes im Kosmos und sehe auch uns Menschen in der Pflicht, diese Einzigartigkeit möglichst

gut zu bewahren. Es gibt zwar viele Planeten im All, aber es kommt sicher nicht oft vor, dass die Bedingungen so gut zusammenpassen wie auf der Erde und sich deshalb ein derartig vielfältiges Leben entwickeln kann.

Es dürfte daher nicht leicht sein, eine zweite Erde zu finden, wenn es mit der ersten schiefgeht. Im Kinofilm *Interstellar* vernichtet der Mehltau weltweit die Ernte und entzieht der Atmosphäre sogar den Sauerstoff. Die NASA prüft deshalb, ob sie die Erde evakuieren und Milliarden Menschen durch ein Wurmloch in eine andere Galaxie bringen könnte.

Das soll tatsächlich die einfachere der beiden Optionen sein! Ich plädiere dafür, lieber den Kampf mit dem Mehltau und allen anderen Umweltgefahren aufzunehmen, denn interstellare Reisen sind ausgesprochen schwierig. Ich habe zwar ein großes Herz für ausgefallene Ideen der Science-Fiction, denn die Natur überrascht uns ebenfalls immer wieder. Und es macht Spaß, sich auszumalen, was man alles mit einem Warp- oder Hyperraumantrieb unternehmen könnte. Aber am Ende handelt Science-Fiction immer auch von uns in der Gegenwart: Sie zeigt, wovon wir träumen und was uns wichtig ist. Vor allem zeigt sie, was in uns steckt. Deshalb wundere ich mich über *Interstellar*, weil der Film die Menschen am Ende ihrer Kräfte sieht. Ohne das Wurmloch, das im Sonnensystem aufgetaucht ist, wären die Menschen im Film verloren.

Der Film *Avatar* blickt sogar noch pessimistischer auf die Menschheit, denn dort gibt es nicht einmal eine Raumfahrtagentur, bei der noch ein paar intelligente Leute arbeiten. Vielmehr fragt sich der Protagonist Jake Sully in seinem Videoblog, was man den intelligenten Lebewesen des Mondes Pandora, den Na'vi, anbieten könne. Ihm fallen nur zwei kulturelle Leistungen der Menschheit ein: Blue Jeans und Dosenbier – und

auf die könne man ja getrost verzichten. So negativ muss man die Menschen und die Wissenschaft aber nicht sehen. Ich bin gespannt, ob in den nächsten *Avatar*-Filmen nicht zumindest einige der Na'vi beginnen, mehr über ihre und die anderen Welten erfahren zu wollen. Eine Zivilisation ganz ohne Neugier und Entwicklung wäre doch langweilig! Diese Geschichte wird nur noch getoppt durch Captain Kirk, der 50 Jahre nach dem Start der TV-Serie im Film *Beyond* erklärt, ihn öde das ganze Forschen an.

Für dieses Buch sollten Sie daher ein wenig Phantasie mitbringen. Ich will mit Ihnen durch den Kosmos reisen, und unser Ziel ist dabei die Erde. Wir beginnen an dem Punkt, der am weitesten von uns entfernt ist, und zoomen uns an uns selbst heran. Das wird damit nicht nur eine Reise durch den Raum, sondern auch eine Reise durch die Zeit: von der ersten Sekunde bis zur Gegenwart. Sie benötigen keine astronomischen Vorkenntnisse und schon gar kein Teleskop, aber Sie sollten sich nicht von sehr großen und sehr kleinen Zahlen einschüchtern lassen. Sind Sie bereit? Auf geht's!

Die Quellen des Buchs

Ein guter Teil dieses Buchs stützt sich auf Recherchen aus meiner Zeit als Redakteur der *Berliner Zeitung* und der *Stuttgarter Zeitung*. Viele Wissenschaftler, vor allem des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR) und der Europäischen Raumfahrtagentur (ESA), haben mir Fragen beantwortet. Hervorheben möchte ich zudem die lebendige Gemeinschaft der Astronomie-Blogger, die astronomische Entdeckungen kommentieren und im Lauf der Jahre viele Fragen beantwortet

haben. In der Recherche für dieses Buch haben mich Wissenschaftler und Mitarbeiter des Heidelberger Instituts für Theoretische Studien (HITS) und des Hauses der Astronomie in Heidelberg unterstützt. Ihnen allen möchte ich herzlich danken. Widmen möchte ich das Buch meinem Vater Hans Friedrich, der in meiner Kindheit und Jugend Radioteleskope gebaut hat, und meiner Mutter Dalva Lúcia, die Sprachen immer interessanter fand als Physik. Mit meinen Interessen stehe ich wohl zwischen ihnen.



Der Knall im Urknall

Gehen wir in Gedanken zum Anfang von Raum und Zeit, reisen wir ausgesprochen weit in die Vergangenheit zurück: 13,8 Milliarden Jahre. Damals entstand das Universum mit dem Urknall, wie man heute sagt. Dass es so war, lehren uns die Astronomen. Sie vergleichen ihre Arbeit mit der von Archäologen, die Werkzeuge oder Stadtmauern ausgraben und anhand solcher Hinterlassenschaften rekonstruieren, wie unsere Vorfahren gelebt haben. Astronomen interessieren sich dafür, wie das Universum aufgebaut ist – und wie es zu dem wurde, was es ist. Sie untersuchen zu diesem Zweck das Licht, das Sterne hinterlassen, und schließen daraus, wie das Universum früher aussah. Während Archäologen alte Gegenstände ausgraben, die im Laufe der Jahrtausende von Sand und Steinen überdeckt worden sind, schauen Astronomen mit Teleskopen ins All und sehen Licht, das vor Millionen oder gar Milliarden Jahren ausgestrahlt worden ist. Je tiefer Astronomen ins All blicken, umso älter ist das, was sie sehen. Das liegt an der Geschwindigkeit des Lichts: Es ist zwar schnell und umrundet die Erde in einer Sekunde gleich sieben Mal, aber es ist nicht unendlich schnell.

Einsteins Tempolimit

Diese Erkenntnis über Lichtgeschwindigkeit klingt harmlos, aber sie hat gravierende Konsequenzen. In unserem Alltag spielt das kaum eine Rolle. Ein TV-Signal benötigt zwar eine Viertelsekunde von einer Bodenstation über den Satelliten in 36 000 Kilometer Höhe zur anderen Bodenstation. Doch es sind die unterschiedlich schnell arbeitenden Computer, die dafür sorgen, dass das Tor der Nationalmannschaft beim Nachbarn manchmal früher fällt als auf dem eigenen Bildschirm. Aber in den Weiten des Weltalls macht es sich bemerkbar, dass die Lichtgeschwindigkeit begrenzt ist, denn um die kosmischen Distanzen zu überbrücken, braucht das Licht sehr viel Zeit. Beobachtet man also eine Galaxie, sieht man sie daher nicht so, wie sie ist, sondern so, wie sie einmal war. Und eine Supernova-Explosion, die plötzlich ihre Heimatgalaxie überstrahlt, ist kein aktuelles Ereignis, sondern schon lange Vergangenheit. Wir erfahren von solchen Ereignissen so schnell, wie es die Physik erlaubt: mit der Geschwindigkeit des Lichts – aber auch nicht schneller.

Als ich studierte, waren an der Fakultät für Physik T-Shirts populär, auf die ein Verkehrsschild gedruckt war, das ein Tempolimit von einer Milliarde Kilometer in der Stunde anzeigte. »Das ist kein Witz«, stand unter dem Schild. »Das ist ein Gesetz.« Schneller als 300 000 Kilometer in der Sekunde oder eben eine Milliarde Kilometer in der Stunde können weder Raumschiffe noch winzige Materieteilchen durchs All schießen. Physiker kürzen die Lichtgeschwindigkeit mit einem kleinen »c« ab. Wenn Licht nicht den leeren Raum durchquert, sondern etwa Glas oder Wasser, dann wird es etwas langsamer. Aber im All ist die Lichtgeschwindigkeit immer gleich.

Der Physiker Albert Einstein hat diese Aussage wörtlich genommen, als er 1905 den ersten Teil seiner Relativitätstheorie formulierte und die Konstanz der Lichtgeschwindigkeit zu einem ihrer Grundpfeiler machte.

Dass die Lichtgeschwindigkeit immer gleich ist, kann man sich an einem Raumschiff verdeutlichen, das bereits auf halbe Lichtgeschwindigkeit beschleunigt hat. Was geschieht, wenn es seine Scheinwerfer anschaltet? Verlässt das Licht dann die Scheinwerfer mit anderthalbfacher Lichtgeschwindigkeit? Nein, sagt Einstein, so darf man die Geschwindigkeiten nicht addieren. Das Licht verlässt die Scheinwerfer mit Lichtgeschwindigkeit. Weil Einstein an diesem Punkt festhielt, musste er viele andere vermeintliche Gewissheiten aufgeben und wurde am Ende dadurch belohnt, dass alles gut zusammenpasst: Für den Piloten des Raumschiffs vergeht die Zeit langsamer als für einen Beobachter, der die Szene von einem Planeten aus mit einem Fernrohr verfolgt. Wenn der Beobachter ins Innere des Raumschiffs blicken könnte, würde es ihm vorkommen, als laufe das Leben dort in Zeitlupe ab. Wenn er aber die Geschwindigkeit des Scheinwerferlichts misst, dann kommt er nicht auf die anderthalbfache Lichtgeschwindigkeit, sondern genau auf c . Der Pilot merkt von der Zeitlupe hingegen nichts – für ihn verkürzt sich vielmehr die Strecke, die er zurücklegen muss. Auch aus seiner Sicht breitet sich das Scheinwerferlicht daher so schnell aus, wie es für das Licht üblich ist.

Sich an diese Konsequenzen zu gewöhnen, fiel auch Einsteins Kollegen zunächst schwer. So bekam er für die Relativitätstheorie nie den Nobelpreis. Aber ausgezeichnet wurde er trotzdem, denn zwischen Frühjahr und Herbst 1905 klärte Einstein nebenberuflich – er arbeitete damals am Patentamt in

einer 48-Stunden-Woche – so viele physikalische Phänomene auf einmal auf, dass es für drei oder vier Nobelpreise gereicht hätte. Und heute ist die Relativitätstheorie durch viele Präzisionsexperimente gut bestätigt. So kann man zum Beispiel messen, dass instabile Teilchen langsamer zerfallen, wenn sie schnell unterwegs sind. Für hoffnungsvolle Raumfahrer ist vor allem eine Konsequenz wichtig: Man kann die Lichtgeschwindigkeit nicht erreichen, weil die Energie, die der Antrieb benötigt, ins Unermessliche steigt.

In der Nähe von Genf, an der Grenze zwischen der Schweiz und Frankreich, bekommt man ein Gefühl von den Energien, um die es hier geht. Dort liegt in einem 27 Kilometer langen Ringtunnel unter der Erde der Teilchenbeschleuniger LHC des Forschungszentrums CERN. Der Beschleuniger bringt Protonen, also kleinste Elementarteilchen, fast auf Lichtgeschwindigkeit. Es fehlen ihnen am Ende gerade einmal zehn Stundenkilometer. Alle Protonen zusammen, die im Ring kreisen, wiegen im Normalzustand 50 Milliardstel Gramm. Aber wenn sie beschleunigt werden, nimmt ihre Masse zu – und das nicht zu knapp. Man sieht das an den Vorkehrungen für den Notfall. Wenn der Teilchenstrahl seine Bahn verlassen sollte und droht, die Geräte zu beschädigen, werden die Protonen sicherheitshalber auf einen mehrere Meter langen und mit Stahl ummantelten Grafitblock geleitet, um sie unschädlich zu machen. Der Block wird dabei einige hundert Grad heiß. Die Energie der superschnellen Protonen entspricht der eines ICE-Zugs, der mit 150 Kilometern in der Stunde auf einen Prellbock stößt. Wie viel Energie, kann man sich nun überlegen, müsste man aufwenden, um ein mehrere Tonnen schweres Raumschiff auf die Geschwindigkeit der Teilchen zu bringen? Zwischen den Größenordnungen von einigen Milliardstel Gramm