



Originalausgabe  
6. Auflage 2017  
Verlag KOMPLETT-MEDIA GmbH  
2017, München/Grünwald  
[www.komplett-media.de](http://www.komplett-media.de)  
ISBN Print: 978-3-8312-0424-3  
Auch als E-Book erhältlich.

Umschlaggestaltung: Pinsker Druck und Medien, Mainburg  
Satz: Pinsker Druck und Medien, Mainburg  
Lektorat: Herbert Lenz und Klaus Kamphausen  
Korrektorat: Redaktionsbüro Diana Napolitano, Augsburg  
Druck & Bindung: COULEURS Print & More, Köln  
Printed in the EU

Dieses Werk sowie alle darin enthaltenen Beiträge und Abbildungen sind urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrecht zugelassen ist, bedarf der vorherigen schriftlichen Zustimmung des Verlages. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Speicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen sowie für das Recht der öffentlichen Zugänglichmachung.



Harald Lesch & Klaus Kamphausen

# **DIE MENSCHHEIT SCHAFFT SICH AB**

**DIE ERDE IM GRIFF DES ANTHROPOZÄN**

---

**KOMPLETT**MEDIA

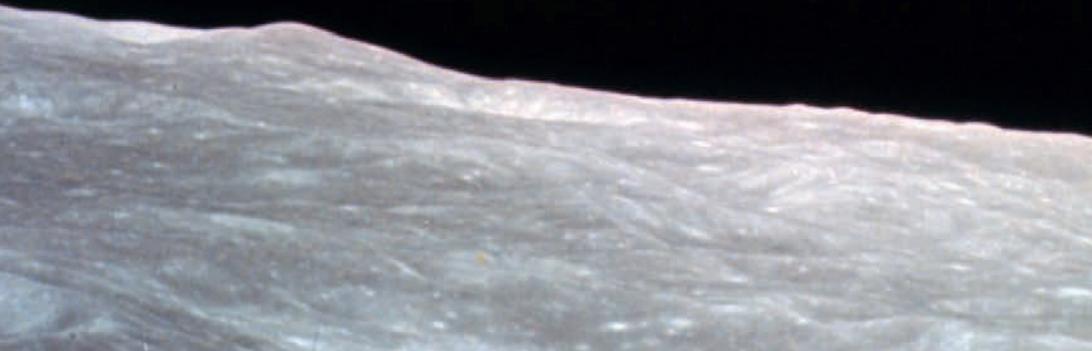
---

*„Oh, mein Gott! Seht euch dieses Bild da an!  
Hier geht die Erde auf. Mann, ist das schön!“*

Frank Borman, Kommandant von Apollo 8

*„Wir sind alle Kinder der Erde; und sie ist für uns die Mutter.“*

Alexander Alexandrow, russischer Kosmonaut



# DIE ERDE



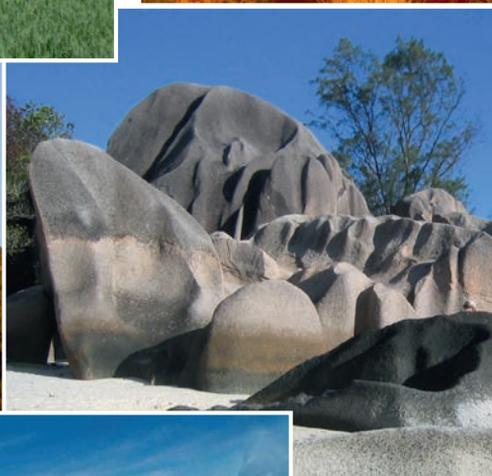
**EARTHRISE** Aufgenommen am 24. Dezember 1968  
von Apollo 8 beim Flug um den Mond.



## 6 Inhaltsverzeichnis

VORWORT .....	12
1 DIE WELT IST SCHON DA .....	15
2 DER BEGINN ALLEN SEINS .....	26
3 EIN WUNDERBARER STERN – EIN WUNDERBARER PLANET .....	40
4 DER APERITIF DES LEBENS .....	51
5 ERSTES LEBEN .....	55
6 SAUERSTOFF – DAS TÖDLICHE GIFT .....	64
7 WETTBEWERB UND KOOPERATION .....	71
8 DAS LEBEN KOMMT AN LAND .....	77
9 MASSENAUSSTERBEN .....	84
9.1 Die großen Massenaussterben .....	91
10 KONTINENTALDRIFT .....	95
11 MENSCHWERDUNG .....	101
12 DAUMEN HOCH .....	107
13 NEOLITHISCHE REVOLUTION .....	123
13.1 Fort-Schritte auf dem Weg ins Anthropozän .....	136
14 DAS RAD .....	141
14.1 Macht euch die Erde untertan! .....	148
15 VOM MYTHOS ZUM LOGOS .....	152
16 NEUGIERIG UND GIERIG – ENTDECKEN UND EXPANDIEREN .....	164
16.1 Rettung in letzter Minute – Der Columbian Exchange .....	171
16.2 Die Waldseemüller-Karte von 1507 ...und warum Amerika, Amerika heißt. ....	180
17 KULTUR DES NEUEN .....	183
18 VON DER WISSENSCHAFT ZUR TECHNIK UND ZUR ÖKONOMIE .....	190
19 DIE WELT MACHT MIT DEM WISSEN, WAS SIE WILL .....	196
19.1 Das Ende der Dunkelheit .....	199
20 PLANCK, EINSTEIN UND DIE ENTPERSONALISIERTE TECHNOLOGIE .....	208
20.1 Mein Gott, was haben wir getan? .....	214
21 VOM STANDARDCONTAINER ZUR DIGITALISIERTEN GLOBALISIERUNG .....	221
22 UNSERE WELT HEUTE .....	227
23 ICH HABE MENSCHEN .....	229
23.1 Die Erde ohne Menschen .....	234
24 EINE ERDE REICHT NICHT .....	237
24.1 Übermäßiger Ressourcenverbrauch in Deutschland .....	242
24.2 Ökologische Belastungsgrenzen .....	243
25 MEHR MENSCHEN – MEHR NAHRUNG – MEHR HUNGER? .....	246
25.1 Wir fischen die Meere leer .....	251
25.2 Wir lassen sie verhungern .....	266
25.3 Irrweg Bioökonomie .....	266
25.4 Gensoja, Glyphosat und Großgrundbesitz .....	273
25.5 Monsanto spuckt den Deutschen ins Bier .....	279
25.6 Es stinkt zum Himmel .....	280

25.7	Die deutsche Schweinerei .....	280
25.8	Der Regenwald brennt .....	281
26	<b>DER BLAUE PLANET VERDURSTET</b> .....	284
27	<b>DIE BEDROHTEN OZEANE</b> .....	294
28	<b>ENERGIE und ROHSTOFFE</b> .....	309
28.1	Windkraft oder Atomkraft .....	311
28.2	Auf Sand gebaut .....	319
28.3	Schöne neue Kunstwelt .....	322
28.4	Aluminium ist überall .....	328
28.5	Datenkrake und Stromfresser .....	331
29	<b>WUNDEN DER ERDE</b> .....	332
29.1	Das Tor zur Hölle .....	337
29.2	Die lautlose Verwüstung .....	338
29.3	Süßer Fluss vergiftet .....	339
30	<b>DER KLIMAWANDEL – EIN MENETEKEL, DAS DIE NATUR AN DEN HIMMEL SCHREIBT</b> .....	340
30.1	Der Weltklimarat IPCC .....	354
30.2	Schnee von gestern .....	361
30.3	Der Klimaschutz-Index 2016 .....	362
30.4	Klimaflüchtlinge .....	367
30.5	Mein Dasein zwischen Kühlschranks und Klimaschock.....	370
31	<b>METROPOLEN und MOBILITÄT</b> .....	373
31.1	Das SUV-Paradox .....	377
32	<b>DIE BESCHLEUNIGUNGSGESELLSCHAFT</b> .....	382
33	<b>BIG DATA UND KÜNSTLICHE INTELLIGENZ</b> .....	392
34	<b>EMPÖRT EUCH!</b> .....	405
34.1	Charlie Chaplin im Filmklassiker „Der große Diktator“ .....	412
35	<b>ETHIK DES ANTHROPOZÄN</b> .....	414
35.1	Ein Zukunftsvertrag für die Menschheit .....	417
36	<b>FREIHEIT BEDINGT VERANTWORTUNG</b> .....	425
37	<b>WIR BRAUCHEN EINE NEUE AUFKLÄRUNG</b> .....	441
38	<b>EINMAL DIE WELT RETTEN</b> .....	455
38.1	Wir sind alle Astronauten.....	460
38.2	Ein Planet wird geplündert .....	462
38.3	Akteure des Wandels .....	465
38.4	Hinsehen. Analysieren. Einmischen.....	471
38.5	Taten statt warten!.....	477
38.6	Im Zeichen des Panda.....	481
39	<b>DIE UNBELEHRBARKEIT DES MENSCHEN</b> .....	486
40	<b>BILDNACHWEIS</b> .....	512
41	<b>WEITERFÜHRENDE QUELLEN</b> .....	514



# DIE LEBENSÄÄUME





# DIE MENSCHEN



## VORWORT

**J**a, die Erde hat Mensch – und wie! Mehr als sieben Milliarden von uns tummeln sich auf ihrer Oberfläche und tun das, was uns offenbar von der Evolution in die Wiege gelegt wurde: Wir verändern unsere Welt, weil wir es können.

Inzwischen hat dieser globale, kollektive Veränderungsprozess eine Intensität und räumliche Dimension erreicht, dass man bereits ein Erdzeitalter nach uns benennt. Das Anthropozän. Selbst in ferner Zukunft wird man nämlich unsere Spuren im Erdboden nachweisen können. Die Erdwissenschaftler der Zukunft werden dann konstatieren: Offenbar gab es einmal Lebewesen, die die Materie der Erde äußerst effizient verändern konnten. Sie schufen künstliche Stoffe, die nicht mehr zerfielen. Sie agierten mit großen Mengen an radioaktiven Materialien. Und sie beuteten die Rohstofflager der Erde fast vollständig aus.

Außerdem reicherten sie die Atmosphäre mit großen Mengen an Kohlendioxid und Methan an, offenbar durch die Verbrennung von Kohle, Öl und Gas. Und sie zerstörten durch ihre globalen Aktivitäten zu Wasser, zu Lande und in der Luft die biologische Vielfalt. Flora und Fauna wurden genauso dezimiert wie die Fruchtbarkeit der Böden.

Vielleicht werden die Forscher der Zukunft auch einzelne Objekte finden, die darauf



Harald Lesch

hindeuten, dass in Mitteleuropa verschiedene Gruppierungen existiert haben müssen, eventuell religiöse Vereinigungen, deren mystische Gemeinsamkeit in der Verwendung von Plastiktüten bestand. Bemerkenswert vor allem, dass die Namen der „Götter“ zumeist nur vier Buchstaben hatten: LIDL, IKEA oder ALDI.

Gerade die Fundorte dieser Plastiktüten lassen auf eine großräumig ausgebaute Infrastruktur schließen. Gewaltige Straßennetze aus Asphalt und riesige Gebäudekomplexe aus Beton wurden als „Tempelanlagen“ genutzt, um den wichtigsten Göttern dieser Zeit zu huldigen: KONSUM und WACHSTUM. Das alles erschließt sich aus den Funden an elektronisch gespeicherten Informationen. Dass der Planet damals offenbar von Flugzeugen umflogen und seine Meere von Kreuzfahrtschiffen und Containerriesen befahren wurden, konnte durch Ausgrabungen von Hafenanlagen und Wracks ebenfalls nachgewiesen werden.

Und natürlich werden in den Eisbohrkernen der Zukunft – so es denn überhaupt noch Eis auf der Erde gibt – die Konzentrationen der Treibhausgase nachgewiesen. In den ehemaligen Ballungszentren wird man auf die damalige Technologie stoßen, auf Schienen, Waggonen und Lokomotiven und vielleicht auf alte Zeitungen. Darin wird zu lesen sein, dass es in einem Land namens Deutschland natürlich kein Tempolimit auf den Autobahnen geben soll. Eine Schlagzeile verkündet: Freie Fahrt für freie Bürger. Neben diesem Artikel prangt eine Werbeanzeige für eine „Premiumlimousine“ mit mehr als 380 PS. Darunter die Zeile „Vorsprung durch Technik“. Die Menschen der Zukunft werden den Kopf schütteln und murmeln: Was müssen das wohl für Verrückte gewesen sein – damals.

Gott sei Dank ist das ja alles nur ein Hirngespinnst. Wir sind schließlich kluge, aufgeklärte Europäer und wissen, was zu tun ist. Wir werden das Kind schon schaukeln – aber lesen Sie vorher dieses Buch.

## Steckbrief Erde

Synonym	Der Blaue Planet
Planet Nummer	3
Planetenart	Felsenplanet
Alter	4,543 Milliarden Jahre
Mittlerer Abstand zur Sonne	1,00 Astronomische Einheit = 149,6 Millionen Kilometer
Umlaufdauer	365,24 Tage = 1 Jahr
Rotationsdauer	23 Std., 56 Min = 1 Tag
Umfang am Äquator	40.075 Kilometer
Durchmesser	12.756 Kilometer
Masse	$5,974 \times 10^{24}$ Kilogramm
Mittlere Oberflächentemperatur	+15 Grad Celsius
Begleiter	Mond
Besondere Kennzeichen	Beherbergt Leben



## Kapitel 1

# DIE WELT IST SCHON DA

**U**nserer Geburt konfrontiert uns mit unserer größten Herausforderung: mit der Welt, denn die ist bereits da. Und sie macht uns Schwierigkeiten. Nicht sofort, erst einmal umsorgen uns die Eltern, sie pflegen und behüten uns. Aber dann, wenn wir in die Welt hinausgehen – und wenn es nur die allerersten kleinen Schrittschritte sind – arbeitet die Welt sofort unserem Streben entgegen. Wir widerstreben der Welt, und die Welt widerstrebt uns. Deshalb fangen wir sofort an, sie zu verändern. Wir wollen, dass die Dinge sich so verhalten, wie wir es gerne hätten. Schon ein kleines Kind wird stinksauer, wenn nicht alles so läuft, wie es will. Und dieses Verhalten praktizieren wir fortan bis zu unserem letzten Atemzug: Wenn irgend etwas auf der Welt nicht in unserem Sinne funktioniert, wird das eben geändert. Schon vor 500.000 Jahren hat die Menschheit begonnen, die Welt zu verändern – und sie tut es bis heute. Alles, was wir anstellen, dient dazu, unser Überleben zu sichern. Das ist Kultur, das ist die Kultivierung der Natur, das originäre Werk des Menschen.

So was wie uns hat dieser Himmelskörper noch nicht erlebt – und was hat er nicht schon alles erlebt! Diese Spezies ist wirklich einzigartig.

Aber wie konnte es dazu kommen? Wie hat das angefangen, dass die Menschen nicht nur ihre direkte Umwelt beeinflussten, sondern sich weiter um den gesamten Globus herum ausbreite-

ten. Dabei hinterließen sie nicht nur ihre Fußstapfen und andere Spuren, sie verwandelten diese Gebiete sogar so sehr, dass wir uns heute fragen müssen: War es nicht zu viel des Guten?

Bei der Beantwortung dieser Fragen werden wir sehen, dass bei allem, was Menschen in Bezug auf ihren Lebensraum taten und tun, immer eine gewisse Zweckrationalität dahintersteht. Wir haben nie unsinnig gehandelt, weder in globalen Zusammenhängen noch im lokalen Bereich. Immer gab es gute Gründe, etwas zu tun und etwas anderes zu lassen. Und um diese Gründe wird es uns hier gehen.

Also: Fangen wir ganz, ganz von vorn an ... nein, besser nicht.

Wir fangen anders an, nicht so, wie Sie es vielleicht erwarten (der Lesch fängt doch immer mit dem Urknall an). Nein, so wird es diesmal nicht sein.

Ich stelle Ihnen eine Frage:

Mit welchem Instrument arbeiten wir Menschen eigentlich bevorzugt?

Ich gebe Ihnen eine Hilfestellung: Es ist ein Instrument, das trotz seiner allgemeinen Bevorzugung mancherorts viel zu wenig zum Einsatz kommt. Das wunderbare Ding, das wir aus guten Gründen am weitesten entfernt vom Boden bei uns tragen, ist – jawohl, das Gehirn.

Es wäre ja geradezu hirnrissig, unsere CPU (unsere zentrale Prozessoren-Einheit) über den Boden zu schleifen und sie dabei allerlei Verletzungsrisiko auszusetzen. Dieser kognitive Apparat am luftigen Ende unseres Körpers verfügt über die Möglichkeit, sich Gedanken zu machen. Nicht nur irgendwelche sinnlosen Spinnereien und wirren Träume, sondern zweckorientierte Gedanken, also virtuelle Planspiele mit dem Zweck, ein Ziel zu erreichen. Wir verfügen also über die Fähigkeit, in uns eine Wirklichkeit herzustellen, nach dem Motto: Ich gestalte die Welt nach meiner Vorstellung.

Genau das ist das Geheimnis des Erfolgs der Spezies Mensch: die Fähigkeit, sich etwas vorstellen zu können, Zukunft zu simulieren. Der Mensch kann nicht nur über das reflektieren, was er bereits getan hat, er kann sich auch in die Zukunft hineindenken. Er kann sich bestimmte Ziele vorstellen, und wie es nach Erreichen dieser Ziele sein könnte, sogar, ob sich danach noch weitere Ziele ergeben könnten. Dieses Nach-vorne-Denken in eine Zeit, die noch nicht da ist, das ist der *Prometheus* in uns. Immer weiter und weiter!

Aber es gibt auch seinen Bruder *Epimetheus*, der Zurückblickende. Er versucht, aus Fehlern zu lernen und seinen Bruder immer wieder zur Vorsicht zu mahnen: „Pass auf, wir haben da damals schon einen blöden Fehler gemacht. Bitte mach nicht so weiter, sonst geht alles den Bach runter.“ Aber der gute *Prometheus* hört nicht gerne auf solche Warnungen, er macht sich immer wieder zu neuen Zielen auf.

Wir haben also zwei verschiedene Geschwindigkeiten: Auf der einen Seite sehen wir, was wir schon angerichtet haben. Aber es dauert, bis wir die Fehler sortiert und eingeordnet sowie priorisiert haben: Was war der schlimmste Fehler, den wir gemacht haben? Während wir noch überlegen, ist Prometheus schon längst weitergeeilt.

Ich vergleiche die ethische Frage nach dem „Was soll ich tun?“ mit der Fahrt auf einer Draisine: Da steht man auf diesem Schienenfahrzeug, drückt den Handhebel rauf und runter und bewegt sich in gemütlichem Tempo vorwärts. Währenddessen rast der technische Fortschritt in Form der neuen japanischen Magnetschwebbahn mit mehr als 600 Kilometern pro Stunde auf dem Nachbargleis an uns vorbei in die Zukunft. Wenn wir hinterher feststellen, diese Entwicklung war ein Fehler, haben wir ein Problem. Leider handeln wir oft schneller, als wir unser Tun bewerten können.

Der Erkenntnisapparat in unserem Kopf lässt uns die Welt auf eine Weise betrachten, wie kein anderes Geschöpf auf diesem Planeten das kann. Wir sind in der Lage, Prognosen zu erstel-

len und zwar auf Basis von dem, was wir in der Vergangenheit gelernt haben. Ein gutes Beispiel dafür sind unsere Wettervorhersagen. Wenn der Himmel blau ist, kann es keinen Regen geben. Sehen wir Wolken am Himmel, sogar dunkelgraue Wolken, dann wissen wir seit der Urzeit: Es könnte bald Regen geben. Türmen sich gewaltige Wolkengebirge auf, dann, so lehrt uns unsere Erfahrung, könnte ein Gewitter heraufziehen.

Unsere Erfahrungen mit dem Wetter haben sich im Laufe von 500.000 Jahren sogar in unserer Genetik verfestigt und warnen uns so gegen die Unbill des Klimas. Schon früh merkte der Mensch, dass eine Höhle bei Gewitter und auch bei Kälte einen gewissen Schutz bietet. Vorausgesetzt, es wohnt nicht schon ein Bär oder sonst irgendetwas Bedrohliches darin.

Darum geht es bis heute: Sich in einer Umwelt, die voller Gefahren ist, so zu schützen, dass das eigene Überleben und das der Sippe gewährleistet ist. Das ist der eigentliche Antriebsmotor in der kulturellen Menschheitsgeschichte: Die Feststellung, dass die Lebenswirklichkeit widerstrebend ist. Ich bin nur ein Teil des Teils, der anfangs alles war. Ich bin Teil in einer Umgebung, in der ich überleben muss und von der ich lebe. Aber gerade das Letztere ist eine Erkenntnis, zu der wir Menschen leider erst viel, viel später, vielleicht zu spät gelangt sind. Manche von uns bis heute noch nicht.

Der Mensch lernt von seinen Mitmenschen, seinen Eltern, seiner Familie, seinen Freunden, seinen Bekannten, seiner kleinen Gruppe um ihn herum. Er lernt, sich zu verhalten. Und er lernt dabei auch, dass es manchmal gut sein kann, etwas nicht zu tun.

Die Alten haben den Jungen mitgeteilt: Seht, das war der Fehler, den wir gemacht haben, macht ihr den besser nicht. Wenn die Nachkommen schlau waren, haben sie sich dran gehalten. So entwickelten sich allmählich handwerkliche Fähigkeiten und kulturelle Traditionen.

Das menschliche Bestreben, zunächst die unmittelbare und später auch die weitere Umwelt zu beeinflussen, zu manipulieren und zu gestalten, hat dem Erdzeitalter, in dem der Homo sa-

piens lebt und wirkt, seinen Namen gegeben: das Anthropozän. Maßgebend dafür war und ist die abendländische Kultur, denn sie ist die Kultur, die die Wissenschaft hervorgebracht hat. Die Wissenschaften haben mit ihren technischen Anwendungen den menschlichen Einfluss auf die Umwelt, auf den Planeten insgesamt, immens potenziert. Keine andere Kultur in der Menschheitsgeschichte hat die Erde so verändert wie die abendländische.

Eigentlich brauchen wir nicht ganz vorn bei den Steinzeitmenschen anzufangen, wir können ruhig erst vor etwa 400 Jahren einsteigen, vielleicht noch ein paar Jahre früher. Denn damals begann der Mensch, Verschiedenes auszuprobieren und Neuland zu erforschen. Das Abendland entdeckte neue Kontinente und breitete seinen Einfluss über den Globus aus. Man verfügte schon über gewisse Technologien, die sich aufs Trefflichste zur Befriedigung eines Verlangens nutzen ließen, das dem Menschen schon seit Anbeginn zu eigen ist: die Gier. Der ewige Wunsch nach mehr ist in seiner Stärke vergleichbar mit dem Überlebenstrieb oder dem Fortpflanzungstrieb.

Aus der Verhaltensforschung stammt der Begriff des *Säugetier-Imperativs*. Das Säugetier gibt sich praktisch selbst den Befehl, fortwährend die eigene Position innerhalb seiner Gruppe zu überprüfen und wenn nötig zu verbessern. Nie wäre es zu einer solchen Wirkungsmächtigkeit eines Zeitalters gekommen, wie sie vom Anthropozän ausgeht, wenn sich statt des Homo sapiens nur eine weitere Art Ameisen oder Bienen entwickelt hätte. Kommt eine Ameise auf die Welt, ist ihre Position bereits klar definiert: Entweder ist sie Arbeiterin, Königin oder nur ein für die Befruchtung zu gebrauchendes Männchen. Ein Aufstieg ist nicht möglich.

Wenn man aber als Säugetier auf die Welt kommt, will man, nein, man muss mit den anderen konkurrieren, um die eigenen Gene besser zu verteilen. Säugetiere sind immer auf Prestigegewinn innerhalb ihrer Gruppe ausgerichtet. Diese Eigenschaft dürfen wir nicht aus den Augen verlieren, wenn wir uns über das Phänomen der menschlichen Gier Gedanken machen. Wie

kann eine bestimmte Spezies von Säugetieren so anspruchsvoll werden, dass sie sich mehr nimmt, als sie für ihr Überleben braucht, dass sie sich zu viel nimmt?

So geschehen zum Beispiel in der Antike. Wenn wir die abendländische Kultur als die Kultur definieren, die sich um das Mittelmeer herum entwickelt hat, können wir heute noch die Spuren ihres übermächtigen Verlangens sehen: Vor gut 2.000 Jahren begannen die Römer Schiffe zu bauen. Die wurden damals aus Holz gemacht. Und weil sie sehr viele Schiffe bauten, brauchten sie sehr viel Holz. Die Folge: Sizilien und Spanien, bis dato grüne Länder, wurden systematisch entwaldet. In Norditalien hatten die Etrusker sogar noch vor den Römern mit der Entwaldung im großen Stil begonnen, denn sie brauchten sehr viel Holzkohle, um Bronze herzustellen.

Wir stellen also fest, dass der Beginn des Anthropozän nicht erst in die Zeit der Industrialisierung im 18. Jahrhundert fällt, auch nicht in die Zeit von Kolumbus, nein, er liegt viel weiter zurück. Es ist die Geburt der abendländischen Kultur, die das menschendominierte Zeitalter einläutet. Mit einem sehr erfolgreichen Verfahren, der Empirie, hat diese Kultur die Wirkkraft der Menschheit um ein Vielfaches der physischen Kräfte des Individuums verstärkt.

Die empirischen Wissenschaften betreiben Forschungen und gewinnen Erkenntnisse auf Grund von Erfahrungen, deren Erklärungen schlagen sich in wissenschaftlichen Modellen nieder. Ganz wichtig dabei ist, dass jedes Modell, jede Hypothese, jede Theorie an der Wirklichkeit scheitern können muss, man muss sie überprüfen können. Die Erfahrung steht im Mittelpunkt von allem.

Im Grunde verhält sich die Wissenschaft damit wie der ideale abendländische Mensch: Er arbeitet mit Erfahrungen, die er als Maßstab für das Scheitern oder Bestehen einer Hypothese definiert. Mit anderen Worten: Wenn eine Hypothese Prognosepotenzial besitzt, sie etwas vorhersagen kann, dann hat sie ihre Prüfung bestanden – sie ist gut.

In diesem Buch wird es also nicht um unüberprüfbare Spekulationen wie zum Beispiel Paralleluniversen gehen, sondern wir beschäftigen uns mit etwas Relevantem, eben mit einem Thema, welches unsere bisherigen und zukünftigen Handlungsweisen betrifft und damit geradezu an uns appelliert: *Bitte tu das nicht noch einmal, denn du weißt jetzt, dass es ein Fehler war.* Wissen und Schlussfolgerungen, die für unser Überleben wichtig sind, besitzen höchste Relevanz. Und schon stehen wir mitten in der Problematik des Anthropozän.

Zur abendländischen Kultur gehörte von Anfang an die Auseinandersetzung mit Theorie und Experiment. Ein erster wichtiger Schritt wurde von Nikolaus Kopernikus gemacht. Seine nach ihm benannte Wende, in der er die Erde aus dem Mittelpunkt des Weltalls herausnahm und sie als einen unter vielen Planeten einordnete, wird von Freud als Kränkung der Menschheit bezeichnet, weil der Mensch dadurch seine Vormachtstellung einbüßte. Kopernikus appellierte an unsere Vernunft, nicht an unseren Verstand.

Sie kennen doch den Unterschied zwischen Vernunft und Verstand, oder? Der Verstand ist das Instrument der Vernunft, was uns zum vernünftigen Handeln befähigt. Die Vernunft bestimmt mit Weisheit und Moral unsere Handlungsweisen. Und was hat Kopernikus gesagt?

*Seid nicht wie die Tiere! Richtet euch nicht nur nach euren Sinnen, die euch vormachen, dass sich die Welt um euch herum dreht. Nein, es gibt allgemeinere Prinzipien, derer unsere Vernunft mittels unseres Verstandes habhaft werden kann.*

Diese Prinzipien können uns viel mehr über die Welt verraten, als das, was unsere Sinne uns vorgaukeln.

Der abendländische Mensch versucht, seine Erfahrungen vernünftig mittels seines Verstandes einzuordnen und zu verstehen. Diese Vorgehensweise brachte uns in der Geschichte Vorteile in einem Ausmaß, dass es einem ganz schwindlig wird. Sie ist das Credo der abendländischen Wissenschaften, die für die Aufklärung, den Fortschritt und den Erfolg der Spezies Mensch gesorgt hat.



---

**NIKOLAUS KOPERNIKUS (1473–1543)**

*„Seid nicht wie die Tiere.“*

Der kopernikanische Appell scheint verklungen zu sein.

---

Doch wo stehen wir heute? Der kopernikanische Appell scheint verklungen zu sein, denn wir verhalten uns wieder wie die Tiere und zwar wie ganz niedrige. Global betrachtet vermehren wir uns unbändig, und unsere Gier hat in einer Weise zugenommen, die alle Vernunft vermissen lässt. Wir wollen alles haben und noch viel mehr, vor allem Geld. Aber darüber reden wir später.

Nun aber zurück zu unserer Ausgangsfrage: *Wie hat alles angefangen?* Mit dem Blick in den Himmel! Na gut, das ist für mich als Astronom ein Heimspiel. Aber jeder Mensch kann durch viele Blicke in den Himmel eine sehr vertrauenerweckende Erfahrung machen, und das schon sehr, sehr früh, sodass diese Erfahrung inzwischen sogar genetisch abgespeichert werden konnte: die rhythmischen, die periodischen Wiederholungen der Vorgänge am Himmel. Das klingt erst einmal nach nicht sehr viel, aber die sichere Wiederholung ist für uns Menschen etwas sehr Wichtiges.

Schon sehr früh haben wir festgestellt, dass es gut ist, wenn die Sonne morgens im Osten aufgeht und abends im Westen wieder unter. Und auch der Mond geht auf und unter. Die Verlässlichkeit hat Sicherheit vermittelt, Vertrauen in die Welt. Die periodischen Veränderungen am Himmel bezeugen eine Ordnung in der Natur. Gott sei Dank ist die Natur nicht chaotisch, sie bringt keine unvorhersehbaren, bedrohlichen Phänomene

hervor. Nein, alles hat eine Ordnung, alles hat seine Gründe und Ursachen, alles hat natürliche Auslöser.

So kam den Astronomen bereits vor etlichen Tausend Jahren eine besondere Bedeutung zu, konnten sie doch die Bewegungen am Himmel interpretieren. Zunächst wurde die Ursache für die Bewegung der Himmelskörper den Göttern zugeschrieben. Aber schon vor rund zweieinhalbtausend Jahren verbreitete sich vom Abendland die Überzeugung aus, dass wir Menschen mittels unseres Erkenntnisapparates den Dingen auf den Grund gehen und erkennen können, was wirklich in der Welt passiert. Man wusste zwar noch nicht, warum die Welt so ist, wie sie ist, aber zumindest begann man zu verstehen, dass Ursachen Wirkungen haben. Und dieses Verständnis darüber ist unabhängig von irgendeiner übernatürlichen Erkenntnisquelle. Wir können sehr wohl aus uns heraus etwas über die Welt verstehen.



**Odysseus und die Sirenen.** Er traute den Göttern nicht.

Der Erste übrigens, der es in der Literatur mit den Göttern aufgenommen hat, war Odysseus. Ja, die homerische Ilias belegt genauso wie alle anderen Geschichten, die in dieser Zeit

geschrieben wurden, die langsam wachsende Emanzipation gegenüber den Göttern. Odysseus, der Listige, hat sogar versucht, die Götter zu betrügen. Dabei hatte er zwar eine Göttin auf seiner Seite, aber im Wesentlichen hat er sich auf seinen eigenen Verstand und seine Vernunft verlassen. Dabei war er auch gegenüber den Göttern misstrauisch.

Dieses Misstrauen gegenüber den traditionellen, übernatürlichen Erkenntnisquellen war der Beginn der Philosophie. Zuerst machten sich die alten Griechen Gedanken über Elemente, Feuer, Wasser, Luft und Erde. Bald formierte sich erneut Kritik: *Kann nicht alles auch ganz anders sein? Vielleicht besteht die Welt nur aus Atomen und dem Nichts.*

Unglaublich, die Idee von den Atomen ist tatsächlich schon 2.300 Jahre alt.

Aber dann hat es noch einmal 1.700 Jahre gedauert, bis die ersten Entdeckungen der Struktur von Materie gemacht werden konnten. Damit sind wir genau genommen bis heute beschäftigt, nur hat sich unsere Arbeitsweise verändert.

Seit 400 Jahren betreiben wir empirische Forschung, indem wir unsere Theorien mit Beobachtung und Experiment überprüfen. Die daraus gewonnenen Erkenntnisse über die natürlichen Vorgänge werden schließlich mithilfe einer großartigen Eigenschaft des Menschen, der Kreativität, in Technik umgesetzt. Technik kommt vom griechischen *technikós*, was so viel bedeutet wie Handwerk oder Kunstfertigkeit. Wir bleiben eben nicht nur bei der reinen Erkenntnis stehen, sondern erschaffen aus ihr etwas Neues.

Die Geschichte der Technik ist eine grandiose Erfolgsstory. Schon das Entfachen von Feuer war zur Zeit seiner Entdeckung Hightech, ebenso das Rad, das Seil oder die erste Schrift. Eine Kultur, die solche Techniken beherrschte, war allen anderen weit überlegen. Immer war die neueste technologische Leistung der Gewinner und dabei spielte es keine Rolle, dass die ersten Erfindungen ohne wissenschaftlichen Hintergrund gemacht wurden.

Was bedeutet es aber für den Menschen, wenn er die Ursachen kennt, Wirkungen voraussehen kann, die wiederum Ursachen sein können. Was bedeutet das für den technischen Fortschritt?

Die Antwort ist einfach. Wir beobachten in den letzten 400 Jahren einen exponentiellen Anstieg der technischen Erneuerungen dank des wissenschaftlichen Fortschritts. Wissenschaftliches Wissen beinhaltet Erkenntnisse über die Welt, wie sie ist. Technisches Wissen ermöglicht die Umsetzung dieser Erkenntnisse in etwas Neues, es kann etwas Neues schaffen. Technisches Wissen ist Know-how. Wissenschaft sucht nach den Gründen, Technik sucht danach, wie diese Gründe nutzbar gemacht werden können. Technik ist niemals zweckneutral, sondern immer zweckorientiert.

Wenn wir über das Anthropozän sprechen wollen, können wir über die Wissenschaften reden, aber eigentlich müssen wir über Technologie und über Technik reden.

Angefangen hat alles vor 500.000 Jahren. Der Mensch kam auf die Welt, und die Welt war schon da.

## Kapitel 2

# DER BEGINN ALLEN SEINS

Ich komme nicht drum herum. Damit wir verstehen, wie alles gekommen ist, muss ich tatsächlich vorn beginnen, also ganz am Anfang. Sie haben damit hoffentlich kein Problem. Manch einer neigt jetzt zu fragen: *Und was war davor?* Da muss ich passen, denn darauf gibt es keine Antwort.

Ich rede jetzt, um es einmal metaphysisch auszudrücken, über den Beginn allen Seins, präziser: den Beginn allen physikalischen Seins. Es kann Seins-Zustände geben, die physikalisch nicht zugänglich sind – das kann und will ich nicht ausschließen. Aber hier rede ich über das, was physikalisch zugänglich ist, sowohl theoretisch als auch experimentell. Ich rede also über die Ordnung der Natur, über den Kosmos. Die Verwendung des Wortes *Kosmos* im Sinne von *Universum* hat sich ja in unsere Alltagssprache eingeschlichen. Die Ordnung im Universum ist die Grundlage für das Handeln des Menschen und seine Auswirkungen auf die Natur seines Planeten.

Das geordnete Universum, wie hat das angefangen? Dass es einen Anfang hat, ist ja noch gar nicht so lange bekannt. Früher glaubte man, der Kosmos sei schon immer da gewesen, ein ewiger Kosmos. Keiner hat gefragt, was davor war. Ein historisches Bewusstsein, ein Bewusstsein für Vergangenes, besaß man früher nicht. Tradition und Rituale bestanden aus schlichter Wiederholung. Hier und da hinterfragte mal jemand das eine oder andere, aber über ein Interesse dafür, warum alles so und

nicht anders gekommen ist, über diese Eigenschaft verfügen wir Menschen erst seit rund 200 Jahren.

Der moderne Mensch ist der erste, der nach dem *Davor* fragt. Das ist noch keine sechs oder sieben Generationen her. Erstaunlich ist, dass einige heutige Wissenschaftler das Anthropozän zeitgleich mit dem Beginn des Triumphzuges von Technik und Naturwissenschaft einläuten. Damals entstand aber auch die Geschichtswissenschaft. Aus Geschichte und Naturwissenschaften erwuchsen die Geowissenschaften, die Wissenschaften von der Erde und ihren Untersystemen, der Atmosphäre, den Kontinenten, Meeren und Eiswüsten, ihrer Lebewesen und der Geschichte all dieser Beteiligten. Und sie versuchen bis heute, Licht in all das Dunkel der Zeiten zu bringen.

Zurück auf Anfang, zum Beginn allen Seins. Vor 13,82 Milliarden Jahren – das sind die neuesten Zahlen – muss sich etwas ereignet haben. Denn wenn man tief ins Universum schaut, dann hat man den Eindruck, dass sich alles von uns wegbewegt. Alles! Nach allen Richtungen! Es erscheint so, als ob sich das Universum ausdehnen würde – und das mit rasanter Geschwindigkeit.

Das war jedenfalls der Eindruck, den Ende der Zwanziger-, Anfang der Dreißigerjahre des 20. Jahrhunderts, ein Mann namens *Georges Lemaître* gewann. Als belgischer Priester und Astrophysiker beschäftigte er sich damit, die Beobachtungsdaten des amerikanischen Astronomen *Edwin Hubble* zu interpretieren.

Hubble hatte damals herausgefunden, dass ganz offensichtlich die Rotverschiebung von Spektrallinien in sehr weit entfernten Galaxien immer größer wurde, je weiter die Galaxien entfernt waren. Er nahm an, dass die elektromagnetische Strahlung, die er von anderen Galaxien empfing, genauso funktionierte, wie die, die man auf der Erde in zahllosen Experimenten in den Laboratorien untersuchen konnte. Schon seit Langem arbeitete man in der Astrophysik mit dieser Hypothese.

Hubbles Beobachtungen bestätigten wieder einmal die allgemeingültige Erkenntnis, dass der Übergang von Elektronen innerhalb eines Atoms von einem Energiezustand zu einem

anderen immer mit einer klar abgegrenzten Menge an Energie zusammenhängt, egal ob es sich um ein Sauerstoffatom hier auf der Erde handelt oder eines in irgendeiner Galaxie, die ein paar hundert Millionen Lichtjahre von uns entfernt ist. Und auch die Lichtgeschwindigkeit ist überall konstant, eben eine Naturkonstante.

Hubble machte prinzipiell das, was alle empirischen Forscher tun: Aus bestimmten Voraussetzungen Schlussfolgerungen ziehen, die anschließend experimentell überprüft werden. Er wollte herausfinden, wieso die Spektrallinien rotverschoben waren.

Lassen Sie uns gemeinsam versuchen, Hubbles Gedankengänge nachzuvollziehen. Wie könnte sich denn so eine Spektrallinie verschieben? Die einfachste Erklärung wäre, dass sich Atome, die strahlen, also Energie abgeben, von uns wegbewegen, und zwar alle. Wenn alle Atome sich von uns wegbewegen, dann wird die Strahlung durch einen Effekt beeinflusst, den man unter dem Namen *Dopplereffekt* bei Schallwellen kennt. Kommt die Schallquelle auf uns zu, wird der Ton höher, seine Frequenz hat sich erhöht. Wenn sie an uns vorbeigesaust ist und sich entfernt, werden der Ton und damit die Frequenz tiefer. Klassischer Fall: Sirene eines Streifenwagens im Einsatz.

So verhält es sich auch mit der elektromagnetischen Strahlung. Kommt eine Strahlungsquelle auf uns zu, wird das Licht hochfrequenter, die Wellenlänge wird kleiner, das Licht verschiebt sich in den blauerer Bereich des sichtbaren Spektrums. Entfernt sich die Quelle von uns, so wird das Licht niederfrequenter, die Wellenlänge größer, also erscheint es im roten Abschnitt des sichtbaren Spektrums.

Soweit die Erklärung. Aber Vorsicht! In einem expandierenden Universum gibt es kein festes Bezugssystem. Im eben beschriebenen Beispiel für den Dopplereffekt steht jemand an der Straße und an ihm saust eine Strahlungs- beziehungsweise Schallquelle vorbei. Aber wie ist das in einem sich ausdehnenden Universum? Da kann der Dopplereffekt natürlich nicht wirken. Wenn sich alles in alle Richtungen von uns entfernt, dann,

so stellte Lemaître fest, muss es eine andere Erklärung für die Rotverschiebung geben: Es ist der Raum, der sich bewegt, indem er sich ausdehnt. Die Galaxien schwimmen praktisch mit diesem Raum davon. Stellen Sie sich Rosinen in einem aufquellenden Hefeteig vor: Es scheint so, als bewegten sie sich selbst, tatsächlich aber werden sie mitgetragen.

Damit Sie den Unterschied zwischen bewegen und bewegt werden auch wirklich verstehen – er ist im wahrsten Sinne des Wortes weltbewegend –, gebe ich Ihnen noch ein weiteres Beispiel: Nehmen Sie einen Luftballon und kleben Sie mehrere Wattebäuschchen drauf. Das sind Ihre Galaxien. Jetzt blasen Sie den Ballon auf. Was sehen Sie? Die Wattebäuschchen behalten ihre Form und bleiben dank Klebstoff auf der Stelle, aber sie entfernen sich trotzdem voneinander. Der Abstand zwischen den Wattebäuschchen wird immer größer, und zwar umso schneller, je weiter sie am Anfang voneinander entfernt waren. Genau das war Lemaîtres Gedanke: Das Universum expandiert – und zwar als Ganzes. Unglaublich! Da musste erst mal einer draufkommen.

Mal ehrlich, das klingt doch völlig irrsinnig. Wir reden über das Ganze, über alles, was physikalisch überhaupt da sein kann. Und da macht jemand eine Aussage über alles. Einfach so.

Wenn ein Wissenschaftler sagt, wir haben hier einen Teil des Universums, und dieser Teil funktioniert so ähnlich wie das, was wir von der Erde kennen, dann ist das auch schon sehr bedeutend. Aber zu behaupten, dass das, was wir von der Erde kennen, die physikalischen Gesetze, die Strahlung, der Aufbau der Materie, die Lichtgeschwindigkeit, die Ladungen und vieles mehr, dass das alles überall im Universum genauso funktioniert – so etwas kann doch keiner wissen, niemand kann es überprüfen.

Doch gibt es Lebewesen in diesem Universum, die über einen 1,5 Kilogramm schweren Erkenntnisapparat verfügen, etwa zwei Meter groß sind und im besten Fall 100 Jahre alt werden. Und die trauen sich, Aussagen über alles zu machen.

Mit diesem Selbstbewusstsein sind wir weit gekommen. Wir wissen, wie es geht, wir wissen, wie es ist. Wir wissen sogar, wie

es dazu kommen konnte. Aber das ist nicht weiter verwunderlich, schließlich sind wir Physiker.

Nein, nein! So geht das nicht. Mit dieser Überheblichkeit, basierend auf chronischer Einbildung, kann ich Ihnen sicher keine für Sie verständlichen Erklärungen liefern. In Wirklichkeit, ich muss es zugeben, staune selbst ich immer noch, kann mich noch nach Jahren immer wieder daran begeistern, dass wir mit unserem Gehirn tatsächlich solche Dinge denken und erkennen können. Man muss eben auch die Physik des ganzen Universums so behandeln wie in einem Experiment auf der Erde.

Womit wir wieder bei Lemaître wären. Er kam, nachdem er das Universum hat expandieren lassen, naheliegenderweise auf einen Gedanken, auf den Sie jetzt auch kommen können. Sie müssen sich einfach nur fragen: *Wenn das Universum expandiert, wie groß war es dann gestern?* Genau! Es war natürlich kleiner, ist ja logisch. Wenn es expandiert, wenn es die ganze Zeit auseinanderfliegt, war es gestern kleiner. Und vorgestern? Da war es noch kleiner. Und so weiter und so weiter ...

Aber irgendwann wird es ernst. Wie klein kann das Universum gewesen sein – am Anfang?

Als Lemaître zum ersten Mal mit seiner Idee an die wissenschaftliche Öffentlichkeit ging, hatte die Physik gerade begonnen, sich mit der Quantenmechanik zu beschäftigen. Das war in den Zwanzigerjahren des 20. Jahrhunderts. Da wurden die ersten Teilchen entdeckt. Die Elektronen waren schon Ende des 19. Jahrhunderts bekannt. Aber jetzt hatte man erst die Protonen, die positiv geladenen Teilchen gefunden. 1932 kamen die Neutronen dazu.

Den Physikern war in den Zwanziger- und Dreißigerjahren schon klar, dass Atome sehr klein sein mussten. Man konnte sich, praktisch im Gedankenexperiment, das Universum so klein vorstellen wie ein Atom. Und Lemaître tat das auch. Er nannte es das *Ur-Atom*.

1948 erschien eine Arbeit von drei Kernphysikern, *Ralph Alpher*, *George Gamow* und *Hans Bethes*. Die hatten sich Folgendes

überlegt: Wenn das Universum am Anfang so klein gewesen wäre wie ein Atomkern – die Physik dazu können wir berechnen, und eine Atombombe haben wir ja auch schon gebaut –, dann wäre es wie ein universeller Kernreaktor gewesen. Und in diesem Kernreaktor müsste es zu Verschmelzungsreaktionen gekommen sein. Dabei wäre circa ein Viertel der Protonen zu Heliumkernen verschmolzen, der Rest wäre Wasserstoff. Damit machte das Modell eine Vorhersage: Das Gas zwischen den Galaxien besteht nur aus Wasserstoff und Helium. Alle schwereren Elemente werden erst sehr viel später und nur in Sternen erbrütet.

Laut diesem Modell war das Universum anfänglich sehr heiß, weil es so klein war. Alles auf engstem Raum zusammengepresst – da wird es schon mal stickig. Und von diesem heißen Anfang, sagten die drei Kernphysiker, müsste Strahlung übrig geblieben sein, die sogenannte *kosmische Hintergrundstrahlung*; sie hänge nur von der Temperatur ab, und weil das Universum schon so alt und so groß sei, müsse die Temperatur heute sehr niedrig sein, einige Kelvin, nahe beim absoluten Nullpunkt, und der liegt bei minus 273 Grad Celsius oder Null Kelvin.

Außerdem gingen die Physiker davon aus, dass das Universum homogen und isotrop sei, was bedeutet, dass die Materie in alle Richtungen gleichmäßig verteilt ist.

Wie lässt sich das verstehen? Die vollständige Erklärung liefert die Allgemeine Relativitätstheorie, aber es geht auch ohne sie.

Nehmen wir an, wir hätten eine Kanone auf der Erde stehen, sagen wir auf einem etwa zwei Kilometer hohen Turm. Vielleicht in Dubai oder in Katar, die bauen ja gerne so hohe Dinger – nur ohne Kanone. Jetzt schießen wir eine Kanonenkugel ab. Wenn die zu langsam aus dem Rohr kommt, wird sie naturgemäß schnell runterfallen, von der Gravitation Richtung Erde gezogen. Wenn sie richtig schnell ist, so schnell wie die Entweichgeschwindigkeit aus dem Anziehungsbereich der Erde, das sind 11,4 Kilometer pro Sekunde, dann wird die Kugel das Gravitationsfeld der Erde verlassen. Wenn wir jetzt mal für einen winzigen Moment – im Gedankenexperiment können wir das ja

machen – die Atmosphäre weglassen, dann könnte die Kugel genau die Geschwindigkeit erreichen, die sie bräuchte, um die Erde einmal zu umkreisen. Sie käme von hinten wieder bei der Kanone an und ... tja, das Gedankenexperiment ließe sich nun nicht mehr wiederholen.

Zieht man die allgemeine Relativitätstheorie heran, ergeben sich drei mögliche Lösungen für den Lebenslauf eines Universums, und zwar in Abhängigkeit von seiner Masse. Die erste Lösung sieht ein Universum mit sehr viel Masse und damit sehr viel Gravitation vor, das am Anfang vielleicht noch ein bisschen expandiert, aber schließlich wieder in sich zusammenfällt. Man spricht von einem geschlossenen Universum.

Bei der zweiten Lösung hat ein Universum zu wenig Masse, was dazu führt, dass es auseinanderfliegt. Das entspricht dem Beispiel der schnellen Kanonenkugel mit Entweichgeschwindigkeit.

Und schließlich gibt es die Variante, dass ein Universum ein ganz fein ausbalanciertes Gleichgewicht hat, ein dynamisches Gleichgewicht zwischen kinetischer Energie, also der Bewegungsenergie, und potenzieller Energie, also der Masse. So würde das Universum immer größer und größer werden, aber seine Expansionsgeschwindigkeit nähme allmählich ab.

Was uns nun noch fehlt, ist der eigentliche Anlass, der Ursprung, die Ursache, warum sich das Universum in seine Existenz geworfen hat. Gab es einen Dirigenten, der dem Universum den Einsatz zur galaktischen Symphonie vorgegeben hat? Samt Paukenschlag?

Über eine ähnliche Zwickmühle hat sich auch *António Damásio* in seinem Buch „Selbst ist der Mensch“<sup>1</sup> Gedanken gemacht, allerdings geht es ihm um das Bewusstsein. Damásio vergleicht es mit einem Orchester, bei dem der Dirigent erst in dem Moment entsteht, in dem das Orchester zu spielen anfängt. Mit dem ersten Gedanken erscheint der Dirigent unseres Bewusst-

---

1 A. Damásio, *Selbst ist der Mensch*, Siedler. München 2011

seins. Ab da dirigiert er das Orchester, das Orchester reagiert auf ihn und er wiederum reagiert auf das, was das Orchester tut. Vielleicht lässt sich auch das Universum mit einem solchen Orchester vergleichen: Causa sui, der Grund von sich selbst. Damit landen wir aber am Anfang von allem bei einem logischen Problem.

Der Erste, der darüber grübelte, war zugleich der Erfinder der Logik: *Aristoteles*. Der hatte auch schon das dumpfe Gefühl, sich am besten vom Anfang fernzuhalten, denn der kann nicht logisch sein. Wenn alles durch einen Beweger in Bewegung gehalten wird, dann müssten auch die Sterne, die ja ganz offenbar in Bewegung sind, einen Beweger haben. Dann aber müsste es auch einen Beweger für den Beweger geben. Und noch einen Beweger für den Beweger, der den Beweger bewegt. Und so weiter und so fort. Und schon war Aristoteles mittendrin in einem *infiniten Regress*, in einer unendlichen Kette von Fragen, auf die es keine befriedigende Antwort gibt.

Das ist natürlich blöd, wenn du die Logik erfindest und schon gleich mit dem Anfang des Universums ein Problem hast, keine logische Lösung dafür finden kannst. Also setzte Aristoteles, gnadenlos und kühn zugleich, einen unbewegten Erstbeweger an den Anfang des Universums. Problem erkannt, Problem gebannt. Dieser unbewegte Erstbeweger sollte praktisch die Welt geschaffen haben – und das aus Liebe. Oh ja, Liebe kann schöne Ergebnisse zeitigen, das Zusammensein zwischen Menschen und sogar zwischen Menschen und Göttern bereichern. Gerade die Olympier haben damit mannigfaltige Erfahrungen gemacht. Aber Liebe an den Anfang des Universums zu stellen, das ist für den nüchtern denkenden Physiker irgendwie ... unbefriedigend.

Jetzt wissen wir immer noch nicht, was der Anfang von allem ist. Womit hat das Universum angefangen? Kann man die Frage nach dem Davor irgendwie vermeiden?

Sie können sich natürlich an die Herren der Paralleluniversen wenden. Die wissen angeblich, dass vorher schon viel da ge-

wesen ist, lauter tolle Sachen. Das lässt sich zwar naturgemäß nicht überprüfen, aber es klingt ganz großartig. Wenn Ihnen das hilft, bitte sehr. Ich für meinen Teil halte mich lieber an Fakten.

Der Urknall ist, glasklar betrachtet, das Kleinste, das Allerkleinste, über das hinaus oder besser unter dem nichts mehr gemessen werden kann. Als vernünftiger Wissenschaftler muss man sagen: Der Beginn des Universums ist der Beginn einer Struktur, die die kleinste kausal sinnvolle Länge hat, der kleinsten kausal sinnvollen Zeiteinheit entspricht und all dem, was sich daraus ableiten lässt. Das ist die Anfangssituation des Urknalls, wie der Physiker sie sieht.

Der Mathematiker hingegen sieht das etwas anders, und prompt bekommt er Probleme. Er lässt den Radius des Universums gegen Null gehen, weil Mathematiker gerne etwas gegen Null gehen lassen. Somit erhält er einen Bruch, der gegen Null geht, was dazu führt, dass der ganze Bruch unendlich wird. Das nennt man *Singularität*.

Der mathematische Anfang ist eine Singularität, der physikalische nicht. Denn physikalisch kann man den Anfang so weit von dieser Null wegsetzen, dass sogar eine Unendlichkeit dazwischen liegt. Der Anfang des Universums lässt sich erkenntnistheoretisch formulieren, indem wir die kleinsten Informationseinheiten definieren, die im Universum überhaupt noch verstanden werden können. Dazu braucht man zwei verschiedene Theorien: die Quantenmechanik und die Relativitätstheorie.

Die Quantenmechanik, definiert durch die *Heisenbergsche Unbestimmtheitsrelation*, hat ein Informationslimit nach unten. Das bedeutet, ein Unterschreiten der Mindestwirkung lässt nichts mehr erkennen. Kleiner als das Produkt aus Orts- und Impulsunschärfe, kleiner als das *Plancksche Wirkungsquantum* geht nicht, da kann man machen, was man will.

Die allgemeine Relativitätstheorie sagt: Wenn ein Körper einer Masse  $m$  auf einen bestimmten Radius zusammenschrumpft, ist die Gravitationskraft offenbar so stark, dass aus diesem

kompakten Körper nichts mehr herauskommt. Das ist der sogenannte *Schwarzschildradius*. Für unsere Sonne mit ihren 333.000 Erdmassen beträgt der Schwarzschildradius drei Kilometer. Würde also die Sonne auf eine Kugel mit einem Radius kleiner als drei Kilometer zusammenschnurren, würde sie zum *Schwarzen Loch* werden. Da käme nichts mehr raus. Kein Ton, kein Licht. Nichts. Über das, was sich so alles in einem Schwarzen Loch abspielt, gibt es tolle Sachbücher. Nichts davon lässt sich überprüfen, aber das scheint den Autoren völlig wurscht zu sein.

Wir haben also die Quantenmechanik mit der *Heisenbergschen Unbestimmtheitsrelation* und die allgemeine Relativitätstheorie mit dem Schwarzschildradius. Dazu nehmen wir noch ein wenig Mathematik und erhalten als Resultat die *Planck-Länge*: 1,6 mal  $10^{-35}$  Meter.

Die *Planck-Zeit* ist nichts anderes als die Planck-Länge dividiert durch die Lichtgeschwindigkeit. Sie erinnern sich noch? Die Lichtgeschwindigkeit ist konstant, etwa 300.000 Kilometer pro Sekunde. Das heißt, wir landen bei einem Wert von

5,3 mal  $10^{-44}$  Sekunden für die Planck-Zeit.

Dann können wir die *Planck-Masse* und daraus die *Planck-Energie* berechnen und haben am Ende die Anfangstemperatur des Universums:  $10^{32}$  Grad Kelvin. Lesen Sie das ruhig noch einmal:  $10^{32}$ ! Das ist die höchste Temperatur im Universum. Damit hat alles angefangen.

Und wir sind auch wieder am Anfang des Kapitels: bei der Hintergrundstrahlung und den drei Physikern aus dem Jahr 1948.

Wenn das Universum so klein und heiß und dicht und kompakt anfängt, muss es auseinanderfliegen. Das war die Idee des Urknalls. Je mehr wir über den Aufbau der Materie entdecken – Teilchen, die noch mal aus Teilchen bestehen, die noch mal aus Teilchen aufgebaut sind – umso genauer können wir den Anfang des Universums physikalisch beschreiben.

Ob es die Kernphysiker aus dem Jahr 1948 waren, die Elementarteilchen-Physiker aus den Sechziger- und Siebzigerjahren oder die Physiker aus den Achziger- und Neunzigerjahren, die sich mit Quantenfeldtheorie beschäftigt haben, jeder konnte Schritt für Schritt immer genauer sagen, was sich am Anfang im Universum abgespielt haben muss. Vorausgesetzt wurden dabei immer die Naturgesetze, die wir von der Erde kennen und die überall im Universum ihre Gültigkeit haben.

So bauen wir inzwischen Beschleuniger wie den Large Hadron Collider (LHC), um den Zustand des Universums zu simulieren, als es gerade mal eine Trillionstel Sekunde alt oder besser jung war. Ist das nicht unglaublich?

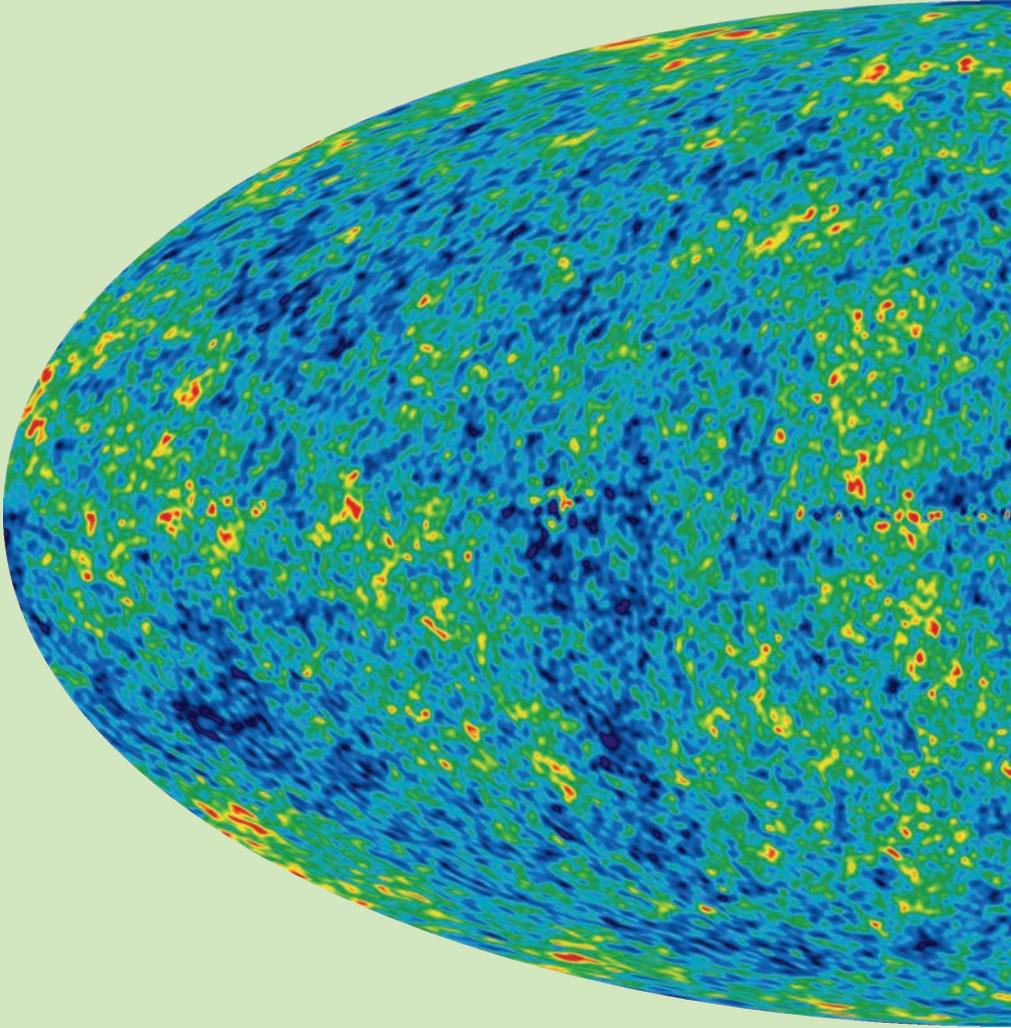
Woher man weiß, was nach der Trillionstel Sekunde passiert ist, fragen Sie? Die Temperatur am Anfang ist bekannt,  $10^{32}$  Kelvin. Damit hat man eine Temperatur-Zeit-Korrelation. Wenn sich das Universum ausbreitet, wird es kälter, das heißt, jeder Zeitpunkt entspricht einer bestimmten Temperatur. Damit haben wir einen kosmischen Zeitpfeil zur Verfügung, der uns die räumliche Veränderung des Universums aufzeigt: Es wird immer größer, seine Uhr tickt.

Das ist übrigens auch der Grund, warum es keine Zeitreisen gibt. Wollte man nämlich in der Zeit zurückreisen, müsste man das gesamte Universum in den Zustand bringen, in dem es damals gewesen ist. Da das Universum aber eben nur eine endliche Menge an Energie bereitstellt und jede Maschine Wärmeverluste hat, müsste man mehr Energie aufwenden, als das Universum zur Verfügung stellt. Ganz zu schweigen von den vielen anderen logischen Problemen. Ergo: Zeitreisen sind nicht möglich! Wir marschieren, komme was da wolle, auf unserem kosmischen Zeitpfeil entlang, immer in die eine Richtung.

In den ersten drei Minuten entstehen Wasserstoff und Helium. erinnern Sie sich noch? Das war schon Ende der Vierzigerjahre die Vorhersage der drei Herrschaften aus der Kernphysik, die inzwischen bestätigt wurde. Deren zweite Vorhersage bestätig-

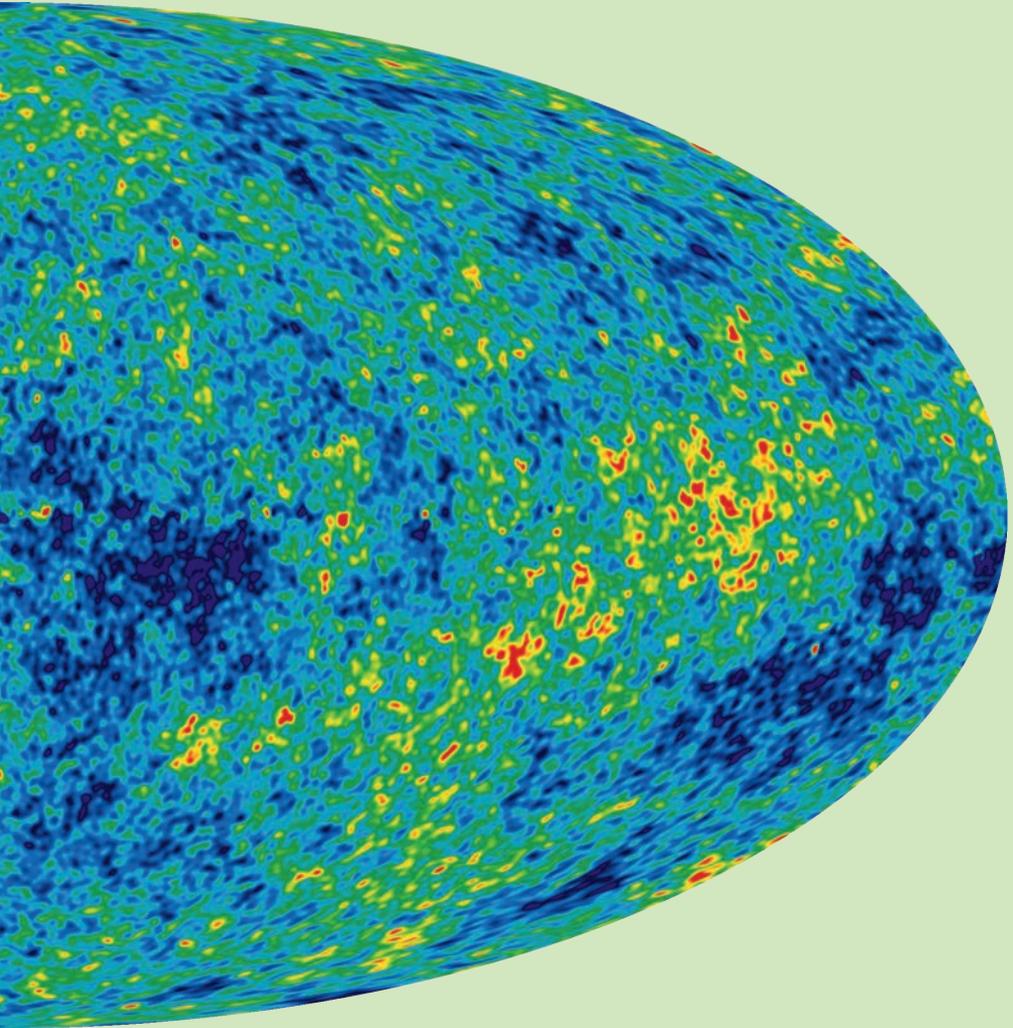
te sich 1964, als zwei Radioingenieure, die gar keine Ahnung hatten, was da auf ihrem Schirm war, die Hintergrundstrahlung entdeckten. Die zwei Glückspilze *Arno Penzias* und *Robert Woodrow Wilson* hatten noch nicht einmal danach gesucht.

Das Universum, das Sie und ich bei unserer Geburt vorgefunden haben, ist ein ganz anderes als damals. Wenn wir heute Abend in den Himmel blicken, können wir nichts mehr von seinem heißen Anfang erkennen. Unsere Augen sind leider nicht infrarotempfindlich, und die meisten von uns haben auch keinen alten Röhren-Fernseher mehr, der nach Sendeschluss (ja, damals war auch mal Sendepause!) dieses wunderbare graue Rauschen, eben die Hintergrundstrahlung, zeigte. Was wir aber sehr wohl am gestirnten Firmament erkennen können, das sind die Sterne, die da funkeln.



### **DIE HINTERGUNDSTRAHLUNG**

Temperaturschwankungen in der Hintergrundstrahlung, aufgenommen durch die Raumsonde WMAP (Mission 2001–2010)



### Kapitel 3

## EIN WUNDERBARER STERN – EIN WUNDERBARER PLANET

**H**aben Sie sich schon mal überlegt, warum Sterne strahlen? Im Gegensatz zu Planeten, die von ihrer Sonne angestrahlt werden, leuchten Sterne selbst. Das tun sie, weil sie in ihrem Inneren Atomkerne miteinander verschmelzen. Aus dem leichtesten Element Wasserstoff wird Helium und daraus werden Kohlenstoff, Sauerstoff und Stickstoff und so weiter. Alle Elemente werden in Sternen erbrütet. Die Kraft, die den Reaktor antreibt, ist die Schwerkraft der eigenen Masse, sie hält den Stern als Gasball zusammen und sorgt für die gigantische Fusionsenergie.

Solange die frei werdende Energie den Schwerkraftdruck überwinden kann, strahlt der Stern. Wenn aber die Energiequelle im Inneren versiegt, der Fusionsprozess abreißt, dann bricht der Stern unter sich selbst zusammen. Bei einem solchen Kollaps wird so viel Energie in Form von Wärme frei, dass die Fusion weiterer, schwererer Atomkerne wieder in Gang kommt. Es entsteht sogar Gold und Uran. Schließlich trifft die kollabierende Sternenmasse in ihrem Innersten auf den Widerstand eines festen Kerns und wird von diesem wie von einem Trampolin zurück ins All geschleudert. So findet der Stern in Form einer Supernova sein furioses Ende: Er wird von einer Explosion zerrissen, durch die die schweren Elemente als Kondensationskeime für die Entstehung neuer Sterne und Planeten im Universum verteilt werden. Auf diese Weise sind bisher schon Hunderttausende,

Abermillionen, vielleicht sogar Abermilliarden Planetensysteme in der Milchstraße und vielen anderen Galaxien entstanden.

**NGC 3603**

Der Nebel im Sternbild *Kiel des Schiffs* ist *nur* 22.000 Lichtjahre von der Erde entfernt. Sterne zerbersten in Supernovas und blasen Gas und Staub ins All. Diese verdichten sich erneut, bis die Kernfusion wieder zündet und ein neuer Stern entsteht. So ist auch unsere Sonne entstanden.

Richten wir nun unser Augenmerk auf eines dieser Planetensysteme, unser eigenes kosmisches Zuhause im Schein unserer Sonne. Schon allein seine Entstehung ist eine schier unglaubliche Geschichte. Doch woher wissen wir, was damals passiert ist? Es war schließlich niemand dabei.

Wir begeben uns auf Spurensuche – im wahrsten Sinne des Wortes – und zwar auf die Spur der Steine. Bei der Recherche zur Entstehungsgeschichte unseres Sonnensystems können uns die Steine, die von damals übriggeblieben sind, die Meteoriten, sehr viel erzählen. Ausgehend von der universellen Gültigkeit der Naturgesetze und ihrer Naturkonstanten lässt sich von einem Meteoriten ablesen, wie er entstanden ist. Der Astrophysiker betätigt sich hier als Archäologe, eigentlich sogar als Forensiker, denn mit dem Stein hat er ein Indiz in der Hand, das ihm Aussagen über ein Geschehen erlaubt, welches etwa 4,5 Milliarden Jahre zurückliegt und ungefähr 750.000 bis 1,5 Millionen Jahre gedauert hat. Durch die Gesteinsanalyse erfahren wir, dass in der Nähe der Gaswolke, aus der irgendwann einmal das Sonnensystem werden sollte, ein Stern explodiert

sein muss, und zwar bevor diese Gaswolke unter ihrem eigenen Gewicht kollabiert ist.

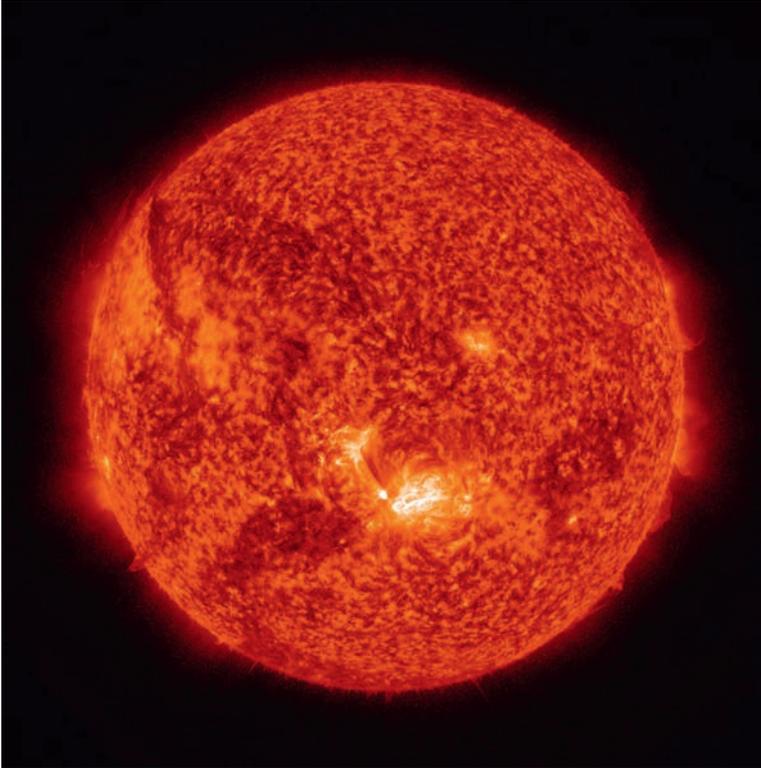
Durch die Explosion wurden seine chemischen Elemente in die Umgebung verteilt, wo sie später bei der Entstehung unseres Sonnensystems wieder Verwendung fanden. Aus der Häufigkeit und der Konzentration der in den Meteoriten enthaltenen Elemente können wir ablesen, dass der Stern, der damals explodierte, nur etwa ein knappes Lichtjahr von dem Ort entfernt gewesen sein kann, an dem die Meteoriten entstanden und dass dieser Stern etwa 25-mal so schwer war wie unsere Sonne.

Sie denken jetzt vielleicht, ob 25, 50 oder 200-mal so groß, das wäre egal. Von wegen! Die meisten Sterne in der Milchstraße sind ungefähr so schwer wie die Sonne. Der Durchschnittssterne in der Milchstraße hat 0,8 Sonnenmassen, somit liegt unsere Sonne also etwas über dem Durchschnitt. Aber warum gibt es nur so wenige schwerere Sterne? Ganz einfach: Je größer die Masse, umso größer der Druck auf den inneren Bereich des Sterns, wodurch wiederum die Verschmelzungsreaktionen der Atomkerne schneller ablaufen. Schwere Sterne zünden innerhalb weniger Millionen Jahre ihre gesamten Brennstufen, und am Ende explodieren sie.

Möglicherweise erhielt die Gaswolke damals durch den Beschuss mit Resten des Riesensterns sogar einen Drehimpuls. Dass sie sich gedreht haben muss, ist jedenfalls sicher, und damit auch der aus ihr entstandene neue Stern. Denn nur so konnten sich auf einer Gas-Staubscheibe in der Äquatorialebene des neuen Sterns Planeten bilden. Ohne einen Drehimpuls und damit die Fähigkeit, sich auf einer bestimmten Kreisbahn um die Sonne zu halten, wären die Planeten entweder in die Sonne gestürzt oder im Universum verschwunden.

Sie sehen, ohne Drehimpuls wäre es mit unserem Sonnensystem nichts geworden und damit auch nichts mit uns. Und schon wieder begegnet er uns, der glückliche Zufall, die perfekte Fügung, ohne die das Anthropozän niemals stattgefunden hätte.

Vor etwa 4,6 bis 4,7 Milliarden Jahren entstand also nun ein ganz besonderer Stern. Ein wunderbarer Stern, denn er war nicht zu groß und nicht zu klein, weder zu heiß, noch zu kalt. Er war genau richtig – der G-Stern, so kategorisieren ihn die Astrophysiker, G wie gut für das Leben.



### **UNSERE SONNE**

Ein wunderbarer Stern, etwa 4,7 Milliarden Jahre alt. In etwa 8 Milliarden Jahren wird der Gelbe Zwerg zum Roten Riesen anwachsen. Spätestens dann wird auch das Anthropozän sein Ende finden.

Innerhalb kürzester Zeit bildeten sich in der ihn umgebenden Gas- und Staubwolke die ersten Planeten: die Gasriesen Jupiter und Saturn. Jupiter ist 317-mal so schwer wie die Erde und doppelt so schwer wie alle anderen Planeten zusammen. Und Saturn - das ist der Herr der Ringe.

Die beiden Riesen rieben sich am Gas und Staub der Scheibe, in der sie entstanden waren, was dazu führte, dass sie Bahndrehimpuls verloren und zunächst in Richtung Zentralgestirn driften. Durch einen interessanten Zufall jedoch veränderten sich später die Kräfteverhältnisse wieder, sodass Jupiter und Saturn wieder nach außen wanderten. Auf ihrer Reise mischten sie das sich bildende System von Asteroiden und Planeten kräftig durch.

Das junge Sonnensystem war ungefähr 5 Millionen Jahre alt, da bildeten sich die ersten Felsenplaneten aus kollidierenden Asteroiden. Nach circa weiteren 100 Millionen Jahren waren schließlich alle heutigen Planeten vorhanden. Einige unter ihnen waren so weit von der Sonne entfernt, dass sie gefrorenes Wasser besaßen. Durch den Tanz von Saturn und Jupiter wurden sie und ihre kostbare Fracht ins Innere des Sonnensystems geschleudert.

So kam vermutlich das Wasser auch auf den Mars, einen besonders rätselhaften Planeten. Über seine Herkunft ist man sich nicht einig. Manche Wissenschaftler halten ihn für einen entlaufenen Mond vom Jupiter, denn er ist mit nur zehn Prozent Erdmasse sehr leicht. Bis heute ist nicht klar, wie dieses Leichtgewicht auf seinen Platz im Sonnensystem als äußerer Nachbar der Erde gelangen konnte.

Wir wissen heute, dass die Asteroiden jenseits der Mars-Bahn aus einer Trümmerwolke stammen, die offenbar durch Wechselwirkung mit den Gasplaneten, aber auch den beiden Eisriesen Neptun und Uranus, in arge Turbulenzen versetzt worden war. Viele der Trümmerteile sind später ins Innere des Sonnensystems eingedrungen und brachten den dort kreisenden Planeten einen Stoff mit, der für sie noch ganz wichtig werden sollte – Wasser.

Die Bildung von Felsenplaneten ist nach wie vor ein Rätsel. Ich hatte ja schon von der Theorie der zusammenstürzenden Asteroiden gesprochen, aber dafür hätte es zumindest einen Planetenkern gebraucht, der die Asteroiden anzieht. Bis der gebildet

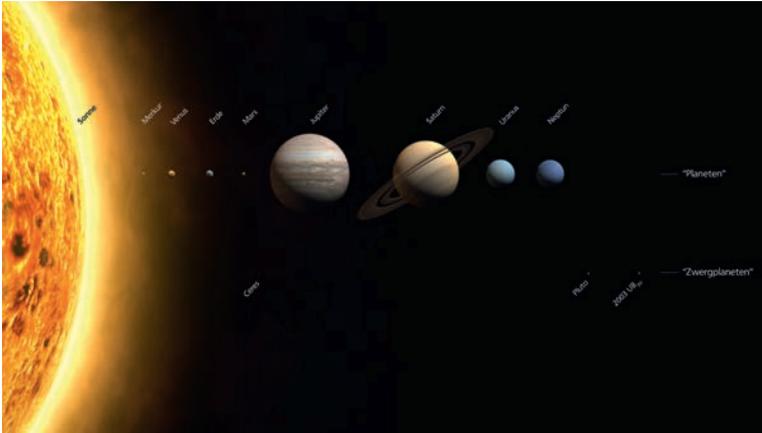
ist, vergeht sehr, sehr viel Zeit, schließlich stoßen im Inneren des sich gerade bildenden Sonnensystems anfänglich nur Staubteilchen zusammen, Staubflusen, wirklich nicht mehr als das, was Sie bei sich Zuhause vorfinden, wenn Sie längere Zeit nicht Staub gesaugt haben.

Ja, Flusen waren die Keime, aus denen die Planeten wuchsen. Die haben sich verhakt, verknotet und zusammengeschoben, so dass Bröckchen und Brocken daraus wurden, etwa in der Größe von Eigenheimen. Diese sind dann mit Geschwindigkeiten von einigen Kilometern pro Sekunde zusammengestoßen und haben sich wiederum verbunden und vergrößert. Während weiter draußen in der Gasscheibe die Gasplaneten schon längst fertig waren, wuchsen im Inneren des Sonnensystems vier felsartige Planeten heran. Ganz innen: Merkur. Der arme Kerl ist der Sonne so nah, dass die Gezeitenkraft ihn in seiner Eigenrotation so abbremst, bis er der Sonne immer nur dieselbe Seite zeigen kann.

Die Nummer zwei: Venus. Sie ist fast so schwer wie die Erde, trotzdem hat sie sich ganz anders entwickelt. Man dachte bis weit in die Sechzigerjahre hinein, dass sich unter der undurchdringlichen Wolkendecke der Venus vielleicht Venusianerinnen und Venusianer vergnügen – deswegen nennen sie manche auch den Planeten der Liebe. Aber dann nahmen russische Venussonden mit ihren Messungen der ganzen Romanze ihren Charme. Auf der Oberfläche der Venus herrscht ein Druck von 95 Atmosphären und eine Temperatur von rund 450 Grad Celsius. Selbst die sehr robuste sowjetische Technik gab nach wenigen Minuten ihren Geist auf.

Der dritte Felsenplanet ist unsere Erde. Und noch eine Bahn weiter draußen: der Mars. Die vier Planeten entstanden genau in dieser Reihenfolge.

Noch weiter draußen ziehen heute die Gas- und Eisriesen ihre Bahnen. Ihre Schwerkraftwirkung sorgt übrigens für den angenehmen Effekt, dass viele Asteroiden nicht ins Innere unseres Sonnensystems eindringen können. Ohne den Jupiter würde



### UNSER SONNENSYSTEM

Der dritte Planet, geschützt vom großen Jupiter, zur Ruhe gebracht durch seinen Mond und in idealer Entfernung zur Sonne.

auf unserem Planeten durchschnittlich alle 100.000 Jahre ein kilometergroßer Brocken einschlagen, dank ihm passiert es nur alle 50 Millionen Jahre. Wie unerquicklich ein solches Ereignis sein kann, ist seit 65 Millionen Jahren bekannt. Damals waren die Dinosaurier die Leidtragenden – sie starben aus.

Kleine Randbemerkung in eigener Sache: Man sollte, nein, man muss unbedingt die bemannte Raumfahrt weiterbetreiben, und zwar in noch größerem Ausmaß als bisher. Warum ist das so wichtig? Wegen der Gefahr eines Asteroiden-Einschlags. Ein kilometergroßer, kosmischer Brocken würde der Menschheit ein abruptes Ende bescheren. Extrapolieren wir ganz einfach von der Vergangenheit in die Zukunft. Es ist nicht die Frage, ob es passiert, sondern nur noch wann – und dann sollten wir vorbereitet sein. Es ist von existenziellem Vorteil, unsere Aktivitätszone weiter ins Weltall hinauszuschieben, damit wir kosmische Eindringlinge früh genug identifizieren und bekämpfen können. Automaten können das nicht, nur Routine ist automatisierbar. Die Annäherung eines Impaktors ist aber keine Routine – und wird hoffentlich auch keine werden. Wir müssen Menschen

draußen vor Ort haben, die Asteroiden aus der Bahn lenken oder zerstören können.

Wir haben also ein Sonnensystem, das sich im Laufe von 100 Millionen Jahren gebildet hat. Neben der Erde gibt es noch weitere Felsenplaneten und auch felsige Monde von Gasplaneten. Alle Planeten bewegen sich auf fast kreisrunden Bahnen um die Sonne. Das macht ihre Bahnen so stabil. Bewegten sie sich deutlich elliptisch durch das Sonnensystem, würden sie so stark abgelenkt, dass sie früher oder später entweder in die Sonne fallen, mit anderen Planeten zusammenstoßen oder aus dem Planetensystem herauskatapultiert würden.

Gleichwohl ist unser System äußerst labil, anfällig, ja geradezu empfindlich. Eine größere Störung durch einen von außen in das System eindringenden Körper würde sofort dazu führen, dass die inneren Planeten aus ihren Bahnen geworfen würden. Das hätte katastrophale Folgen, die selbst durch bemannte Weltraumfahrt nicht zu verhindern wären. Dann gehen wir eben tatsächlich in die Geschichte ein. Nur wer wird sie schreiben?

Da es die Erde aber immer noch gibt – seit 4,567 Milliarden Jahren – muss das System ganz offensichtlich über eine gewisse Stabilität verfügen, und zwar allein dadurch, dass in unserem Teil der Milchstraße keine ausreichend starken Störungen vorkommen. Kein Stern ist in geringer Entfernung an uns vorbeigeflogen, keine Sternleiche, keine Schwarzen Löcher, keine Neutronensterne, nichts. Wir leben in einem Teil der Milchstraße, in dem nichts los ist. Schon wieder ein bedeutender Glücksfall!

Die Erde unterscheidet sich von allen anderen Planeten, obwohl die inneren vier Exemplare sogar als erdähnliche Planeten bezeichnet werden. Dabei ist der am wenigsten erdähnliche Planet die Erde selbst, denn wir haben Wasser. Und einen Mond. Und was für einen! Wie kommt denn der da hin? Und das Wasser, ist das schon immer auf der Erde gewesen? Auch diese Geschichten sind ungläublich.

In der Frühphase des Sonnensystems war es in der Entfernung der heutigen Erdbahn viel zu heiß. Der Planet Erde, der sich dort bildete, war trocken. Wie bereits erwähnt, wurde das Wasser von kosmischen Lieferanten, den Asteroiden, eingetragen, deren Ursprung irgendwo zwischen Mars und Jupiter zu vermuten ist.

Wieso können wir so etwas behaupten, es war doch niemand dabei? Weil, ich kann es gar nicht oft genug betonen, die Naturgesetze, die wir auf der Erde kennen, immer und überall im Universum gelten. Und deshalb wissen wir, dass es von einem chemischen Element verschiedene Isotope gibt. Das sind Atomkerne mit der gleichen Zahl von Protonen, aber unterschiedlich vielen, elektrisch neutralen Neutronen. In besonderen Steinmeteoriten, den sogenannten kohligen Chondriten, finden wir die gleiche Isotopenzusammensetzung wie in unserem Wasser auf der Erde. Das beweist, dass das Wasser von Asteroiden auf unseren Planeten gebracht wurde.

Trotz der hohen Temperatur konnte die Erde das Wasser mit ihrer Schwerkraft festhalten, zunächst als Wasserdampf und später, als sie sich immer weiter an ihrer Oberfläche abkühlte, als flüssiges Wasser. Denn es fing an zu regnen und viel atmosphärischer Kohlenstoff, vor allem in der Form von Kohlendioxid, wurde vom Regen ausgewaschen und in den Meeren als Kalkgestein versenkt.

Auf der Venus hat es noch nie große Mengen Wasser gegeben. Ihre Atmosphäre enthält noch heute fast 98 Prozent Kohlendioxid. Damit ist ein gewaltiger Treibhauseffekt verbunden, der die Venus auf 450 Grad Celsius *eingefroren* hat. Plus, versteht sich.

Auf unserer Suche nach erdähnlichen Planeten ist uns bis jetzt noch keiner begegnet, auf dem flüssiges Wasser nachweisbar gewesen wäre. Auch in dieser Hinsicht sind wir auf der Erde wieder richtige Glückspilze. Alles Süß- und Salzwasser zusammen ergäbe übrigens eine Kugel mit einem Radius von 700 Kilometern (siehe Seite 287). Gar nicht so viel, oder? Aber für die Entstehung des Lebens hat es allemal gereicht.

Auch unser Mond kann eine großartige Geschichte erzählen. Eigentlich steht er uns dienstgradmäßig gar nicht zu, sondern gebührt eher einem großen Planeten wie dem Jupiter, dessen Schwerkraft in der Lage ist, ausreichend Material anzuziehen. Aber unsere kleine Erde, wie kommt die zu so einem Riesen-Mond?

Da kursieren noch immer die tollsten Theorien: Die Erde hat ihn eingefangen oder, auch ein schönes Szenario, sie hat sich so schnell gedreht, dass er sich wie ein Tropfen herausgelöst hat. Das ist alles ziemlicher Blödsinn.

Man weiß aus Analysen von Mondgestein (ja, die Amerikaner sind wirklich auf dem Mond gelandet), dass unser Satellit genau wie das Erdmantelgestein, aber ohne seine flüchtigen Elemente, aufgebaut ist. Ohne flüchtige Elemente? Auf was könnte das hindeuten? Genau, auf sehr hohe Temperaturen, bei denen sich gewisse Elemente in Gas auflösen. Der Mond ist also unter sehr großer Hitze entstanden.

Man weiß heute, dass er durch den Einschlag eines Impaktors auf die Ur-Erde entstanden ist, der mindestens doppelt so schwer wie der Mars, vielleicht sogar drei- oder viermal so schwer gewesen sein muss. Seine enorme Einschlagskraft führte nicht nur zur Aufschmelzung von Erdgestein, sondern sprengte auch einen riesigen Gesteinsbrocken von unserem Planeten ab, der einige 10.000 Kilometer weit weg katapultiert wurde.

Ein erheblicher Teil des Einschlägers sank ins Erdinnere ab und ist dort bis heute für die hohe Temperatur verantwortlich, die nicht nur die Lithosphären-Platten in Bewegung hält, sondern für uns heute auch eine beachtliche Energiequelle darstellt: die Erdwärme.

Ohne diese zusätzliche Heizung wäre es auf unserer Erde viel kälter und die Plattenbewegungen würden deutlich geringer ausfallen. Davon wird später noch die Rede sein, wenn wir über die große Transformation toter Materie reden.

Aber erst mal zurück zum Mond. Durch die Wechselwirkung zwischen ihm und der Erde hat sich die Rotation beider Körper

völlig verändert. Während sich die mondlose Erde in zwei bis drei, vielleicht vier bis fünf Stunden um die eigene Achse gedreht hat, wurde sie durch den Satelliten an ihrer Seite auf die heutigen 24 Stunden heruntergebremst. Erde und Mond halten sich gegenseitig derart fest, dass der Trabant der Erde von Anfang an immer die gleiche Seite zeigt – wir nennen das eine gebundene Rotation.

Stellen Sie sich mal vor, die Erde würde sich heute noch in nur wenigen Stunden um die eigene Achse drehen – was hätten wir hier für ein Sauwetter! Tornados wären der Normalfall. Und eventuelle Lebewesen bekämen unentwegt Wind von vorn, die wären in jeder Hinsicht sehr flach und müssten die Ohren anlegen.

Und noch ein weiterer, aus heutiger Sicht äußerst segensreicher Effekt geht auf das Konto des Erdtrabanten. Schon seit der erdgeschichtlichen Frühphase verursacht der Mond ein rhythmisches Hin- und Herschwappen des Wassers auf dem blauen Planeten. Ja, da kommt Bewegung in die Ursuppe!

Sie müssen jetzt nicht anfangen zu schunkeln, aber wir können mit Fug und Recht ein Hohelied auf einen ganz besonderen Planeten unter unzähligen, unwirtlichen anderen singen, der nicht nur Wasser, die richtige Atmosphäre und die richtige Temperatur hat, sondern sich auch noch in der richtigen Art und Weise um sich selbst dreht. Kurzum, der Planet hat alles, um auf ihm tagtäglich das große Fest des Lebens zu feiern.

Dieses Fest hat vor vier Milliarden Jahren begonnen. Alles fing damit an, dass Moleküle das getan haben, was Moleküle hauptamtlich so tun: Man schaut mal, ob man sich mit jemandem verbinden kann.

## Kapitel 4

**DER APERITIF DES LEBENS**

**B**evor das Fest beginnen kann, müssen wir erst einmal überlegen, was für eine Feier so alles gebraucht wird: ein fester Boden, auf dem das Ganze stattfindet; dann ausreichend zu trinken, frische Luft zum Atmen und etwas zu essen. So weit, so gut! Bis die Gäste kommen können, wird es noch ein Weilchen dauern, denn die Entstehung eines Planeten wie dem der Erde ist nicht so einfach.

Wie bekommen wir festen Boden unter die Füße? Bei einem Gasplaneten läuft das so ähnlich ab wie bei der Sonne. In der Scheibe um die Sonne bilden sich Gasverdichtungen, die unter ihrem eigenen Gewicht in sich zusammenfallen und mit ihrer wachsenden Schwerkraft immer mehr Gas zu sich heranziehen. Die Bildung von Gasplaneten dauert nur etwas länger als einige Hunderttausend Jahre.

Bis ein Felsenplanet wie die Erde entstanden ist, vergeht viel mehr Zeit. Anfangs stoßen kleinste Staubteilchen zusammen, werden miteinander verbacken und ziehen weitere Teilchenklumpen zu sich heran. Auf diese Weise wächst das Gebilde Stück für Stück weiter an, es fängt sogar Asteroiden ein. Bis schließlich ein Felsenplanet entstanden ist, können möglicherweise mehr als 100 Millionen Jahre vergehen. So war es auch bei den inneren Planeten im Sonnensystem: Merkur, Venus, Erde und Mars.

Für unser Fest brauchen wir genügend zu trinken. Wie kommt ein Planet zu Wasser? Mars und Venus haben kein Wasser, sie sind staubtrocken. Wieso gibt es ausgerechnet auf der Erde Wasser?

Zur Beantwortung dieser Frage müssen wir uns die Lage der Planeten in Relation zur Sonne genauer anschauen. Im Umkreis des Sterns gibt es nur einen bestimmten Aufenthaltsbereich für Planeten, in dem die Möglichkeit für biologisches Leben gegeben ist. Kreist der Planet zu nah an der Sonne, ist es zu heiß für das Leben. Wenn er zu weit weg ist, ist es zu kalt. Bewegt sich der Planet in der für Leben prädestinierten Zone, der habitablen Zone, hat ihn dieser Umstand nicht per se mit Wasser ausgestattet. Wir wissen heute, dass es in der habitablen Zone ursprünglich gar kein Wasser geben konnte.

Der Raum zwischen einem Stern und der ihn umgebenden Staub-Gas-Scheibe, in der sich Planeten bilden, lässt sich in zwei Bereiche aufteilen, die durch eine Grenzlinie, die *Snowline*, bestimmt wurden. Im äußeren, kalten Bereich kommt Wasser – wenn überhaupt – nur gefroren vor. Im inneren Bereich um den Mutterstern kann Wasser aufgrund der hohen Temperatur nur dampfförmig vorkommen und verflüchtigt sich sofort. Deswegen sind alle Planeten auch in der habitablen Zone um einen Stern erst einmal trocken, staubtrocken.

Sie wundern sich? Zu Recht, denn die Erde ist wunderschön blau, und das kommt eindeutig vom vielen Wasser. Dafür kann es nur einen Grund geben. Genau! Das Wasser muss von außen eingetragen worden sein.

Unter den Asteroiden und Meteoriten gibt es die kohligen Chondrite, Sie kennen sie schon aus dem vorigen Kapitel. Diese besonderen Steine gelten als das am wenigsten veränderte Material aus den ersten Tagen des Sonnensystems. Darunter gibt es etliche, die Wasser enthalten. An dem Verhältnis von Deuterium, dem schweren Wasserstoffisotop, zum Wasserstoff können wir ablesen, woher das Wasser ursprünglich kam. Es kam aus der Gaswolke und dem Staub, aus dem die Sonne