

Sonne, Mond und Sterne ...

Der Mensch im Kosmos



**Vom Werden und Vergehen der Gestirne –
und was das Geschehen am (physikalischen)
Himmel mit unserer Existenz zu tun hat**

Liebe Leserin, lieber Leser,

Bisher sind in der Reihe „Schönberger Blätter“ die folgenden Beiträge erschienen. Sie stehen in gedruckter Form zur Verfügung (farbiges Deckblatt, geklammert, A4) und können gegen Erstattung der Unkosten (ca. 5 Cent je bedruckte Seite + Versand) bestellt werden:

- SB 1: Papa, was ist das eigentlich: GENE, GENETIK, GENTECHNIK? (Dem Geheimnis des Lebens auf der Spur) - 19 Seiten
- SB 2: Unter die Lupe genommen: Biomedizin, Gentechnik, Ethik – (In-vitro-Fertilisation, Klonen, Stammzelltherapien und Embryonenforschung, Pränatale genetische Diagnostik, Präimplantationsdiagnostik, Gentherapie, Gentechnische Herstellung von Medikamenten, Ethisch-theologische Erwägungen); Hrsg. der Originalfassung dieser Arbeitshilfe: Diakonisches Werk der Ev.-Luth. Landeskirche Sachsens, Radebeul, 2001; überarbeitete und aktualisierte Ausgabe – 56 Seiten
- SB 3: Grüne Gentechnik - Essen aus dem Genlabor? – Der Einsatz der Gentechnik in der Landwirtschaft und in der Nahrungsmittelherstellung - 18 Seiten
- SB 4: Gut gerüstet für den Ernstfall - Wie ich selbst VORSORGE treffen kann für Unfall, Krankheit und Alter – Betreuungsverfügung, Vorsorge-Vollmacht, Patientenverfügung – mit Muster-Formularen - 20 Seiten
- SB 5: Glaube und Naturwissenschaft im Spannungsfeld von Weltbildern und Bibelverständnissen, Ideologie und Ethik; Beispiele „Schöpfung contra Evolution?“ und „Stammzellforschung“ - 37 Seiten
- SB 6: Organspende - Pflicht aus Nächstenliebe oder Verstoß gegen die Menschenwürde? - 14 Seiten
- SB 7: Sonne, Mond und Sterne ... Der Mensch im Kosmos; Vom Werden und Vergehen der Gestirne - und was das Geschehen am (physikalischen) Himmel mit unserer Existenz zu tun hat – 19 Seiten
- SB 8: Ist die Welt ein Würfelspiel? – Entdeckungen der Chaosforschung – 17 Seiten
- SB 9: Wie viele Menschen (er-)trägt die Erde? Überlegungen zum Wachstum der Weltbevölkerung – 11 Seiten
- SB 10: Klima-Wandel – vom Menschen verursacht? (Was es mit dem „Treibhauseffekt“ auf sich hat – und was uns das angeht) – 19 Seiten
- SB 11: Energie für die Zukunft – Einstiege und Ausstiege, 26 Seiten
- SB 12 In Würde sterben (Der Weg des Sterbens aus medizinischer, seelsorgerlicher und theologischer Sicht, Begleitung Sterbender, Sterbehilfe, Schmerztherapie, Hospizarbeit, Patientenverfügung); Hrsg. der Originalfassung dieser Arbeitshilfe: Diakonisches Werk der Ev.-Luth. Landeskirche Sachsens, Radebeul, 2004, überarbeitete und aktualisierte Ausgabe - 56 Seiten
- SB 13: Schöpfung contra Evolution? – Glaube und Naturwissenschaft – wie Feuer und Wasser? - 13 Seiten
- SB 14: Gut leben statt viel haben – von Bedürfnissen und Lebensstil, Wachstum und Genügsamkeit - 14 Seiten
- SB 15: Klonen, Stammzellen, Embryonenforschung – Biomedizin, Gentechnik, Ethik – 14 Seiten
- SB 16: Unser tägliches Brot – Ernährungsgewohnheiten und ihre Folgen: für uns selbst, für Landwirtschaft und Umwelt und für die Dritte Welt – 13 Seiten
- SB 17: „GOTT würfelt nicht!“ Wenn Naturwissenschaftler von GOTT reden – was meinen sie damit? Sammlung von Äußerungen von Aristoteles, Galilei, Newton, Darwin, Planck, Einstein, Hawking und anderen Naturwissenschaftlern – 18 Seiten
- SB 18: Kritische Stimmen zur Evolutionstheorie und zur historisch-kritischen Auslegung der Bibel: „Kreationismus“, „Intelligent Design“, „Schöpfungs-Wissenschaft“; Sammlung von Zitaten und Argumenten und deren (selbst-) kritische Bewertung - 26 Seiten
- SB 19: Hirnforschung und Willensfreiheit – Argumente, Interpretationen, Deutungen – 20 Seiten
- SB 20: Genetik und Gentechnik – Fakten, Argumente, Zusammenhänge (Sammlung von Fakten und Zitaten aus Medienmeldungen seit 2000, geordnet in etwa 20 Themenbereichen, wird mehrmals pro Jahr ergänzt; Ausdruck auf Anfrage; aktuelle Fassung im Internet unter www.krause-schoenberg.de/gentechnikfakten.html – ca. 160 Seiten
- SB 21: Schöpfungstheologie – Zitatensammlung aus drei Büchern von Eugen Drewermann zu Religion und Naturwissenschaft (Herkunft des Menschen – Biologie – Kosmologie) – 18 Seiten
- SB 22: Darwin im Originalton; Zitate aus seinen Büchern: „Die Entstehung der Arten“ (1859) und „Die Abstammung des Menschen“ (1871) – 17 Seiten

Viel Spaß beim Lesen!

Ihr Joachim Krause

Bestellungen, Rückfragen, Hinweise und Kritik richten Sie bitte an:

**Ev.-Luth. Landeskirchenamt Sachsens, Beauftragter für Glaube, Naturwissenschaft und Umwelt,
(Dipl.-Chem.) Joachim Krause, Hauptstr. 46, 08393 Schönberg,
Tel. 03764-3140, Fax 03764-796761,
E-Mail: krause.schoenberg@t-online.de Internet: <http://www.krause-schoenberg.de>**

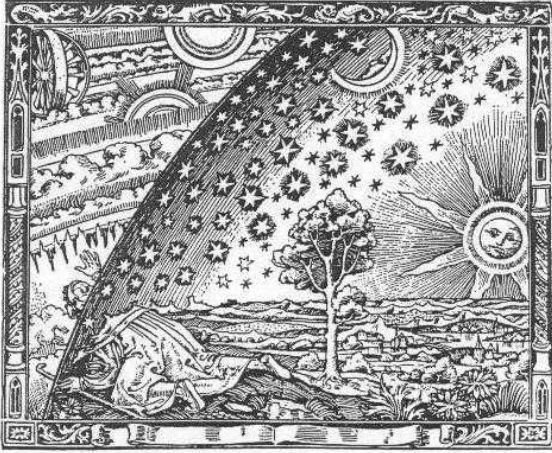
Die Verantwortung für den Inhalt der „Schönberger Blätter“ liegt allein beim Verfasser.

Verwendung und Nachdruck – auch von Textteilen - nur auf Nachfrage.

01.07.20
© Joachim Krause 2004

1. Geheimnisse des Universums

Vor einiger Zeit lief im Fernsehen eine Sendung mit dem Titel „Wir sind Sternenstaub“. Das klang reichlich poetisch – war es doch eigentlich eine wissenschaftliche Sendung, in der es um trockene, nüchterne Physik ging, um eine Zeitreise durch die Geschichte unseres Universums. Die Sendung vermittelte nicht nur erstaunliche und verwirrende Einblicke. Was da erzählt wurde, war spannend, klang manchmal fast märchenhaft: wenn da die Rede war von Roten Riesen und Weißen Zwergen, von Antimaterie und Schwarzen Löchern, wenn geschildert wurde, wie Sterne geboren werden und nach Milliarden von Jahren in gewaltigen Explosionen zu Grunde gehen.



Mein Interesse war geweckt. Die Beschäftigung mit dem Thema hat mich immer neu zum Staunen gebracht, zum Weiterfragen angeregt – als Naturwissenschaftler und als Christ. Ich möchte Sie einladen, mit mir im Kosmos der Physiker spazieren zu gehen.

Nach einer kurzen Hinführung wollen wir zunächst einen Blick auf das Universum werfen, wie es uns heute begegnet. Danach werden wir eine Reise im Zeitraffer unternehmen – vom Anfang des kosmischen Dramas („Urknall“) bis zu uns und weiter in die Zukunft. Welche Auswirkungen für unser Dasein auf der Erde hat die bisherige Geschichte des Kosmos, das Werden und Vergehen der Sterne, die Existenz von Sonne, Mond und Asteroiden? Wir wollen wir uns der Frage stellen, wie es uns geht in und mit dem neuen Weltbild der Physik: Erleben wir in diesem Universum Geborgenheit oder fühlen wir uns verloren? Nicht zuletzt werden wir einer Frage begegnen, die sich heute viele Naturwissenschaftler stellen:

Ist das Universum nicht erstaunlich „maßgeschneidert“ für uns Menschen?

2. Der ewige Himmel des Aristoteles

Wir Menschen sind unterwegs in der Zeit - eine unendliche Reise, die für jede Generation neu beginnt.

Unseren Vorfahren in den zurückliegenden Jahrtausenden blieb wohl selten Zeit für hochfliegende Gedanken. Das mühsame Dasein des Menschen zwang seinen Blick zur Erde. Hier musste er sich zurechtfinden, einrichten, diese Welt galt es umzugestalten.

Aber immer wieder haben Menschen den Kopf gehoben, ihren Blick zum Himmel gerichtet, zur Sonne, die zuverlässig Wärme spendete für das Leben, oder hin zum Mond, ihrem bleichen, geheimnisvollen Begleiter in der Nacht. Die „Wandelsterne“ wurden entdeckt, die Planeten, die sich am Sternenhimmel bewegen, im Unterschied zu den viel zahlreicheren „Fixsternen“ (fix = fest), die ewig und unbeweglich an der immer gleichen Stelle des Himmelsgewölbes zu verharren scheinen.

Der gestirnte Himmel wurde erlebt als großartige Kulisse des Welttheaters. Hier gab es Rhythmen, die immer wiederkehrten, der Wechsel von Tag und Nacht, die Folge der Jahreszeiten, die Wiederkehr von Sternkonstellationen – das alles war der erhabene Hintergrund für das quirlige Leben auf der Erde.

Zum Staunen kam das Fragen:

Wird unser Schicksal von dort oben her gelenkt? Sonne, Mond und Gestirne wurden als mächtige Gottheiten gedeutet und verehrt, Sternbilder sollten den Lebensweg der Menschen bestimmen (das hat sich in der Astrologie bis in unsere Tage erhalten).

Der neugierige Mensch wollte wissen: Wie funktioniert das Himmelstheater, welche Geheimnisse verbergen sich hinter den Kulissen? Mit diesen Fragen begann der Aufbruch der Philosophie, sie stehen auch am Beginn der modernen Naturwissenschaften.

Und die Beobachtung der Gestirne brachte ganz praktischen Nutzen. Die Rhythmen des Lebens (z.B. die Jahreszeiten) konnten aus dem Stand und dem Lauf der Gestirne abgelesen und errechnet werden, erste Kalender entstanden, lieferten der Landwirtschaft den richtigen Zeitpunkt für Aussaat und Ernte. Sternbilder ermöglichten Orientierung (wichtig für Nomaden in der Wüste wie für Seefahrer). In Ägypten berechnete man aus dem „Aufgang“ des Sirius (seinem Erscheinen über dem Horizont) den Termin für die regelmäßig wiederkehrende Überflutung des Nil-Tales. Um 1600 v.Chr. türmten Steinzeitmenschen in Südeuropa Steinquadern auf. Das Monument von



„Stonehenge“ ist noch heute beeindruckend: die Anlage war ein kultischer Ort und zugleich ein Observatorium zur Beobachtung des Himmels.

Bis Anfang des 20. Jahrhunderts war es allgemeine Ansicht – nicht nur im gemeinen Volk, sondern auch in den Höhen der Philosophie: Bei allem Wandel, aller Vergänglichkeit, der das Leben hier auf der Erde unterliegt – der gestirnte

Himmel über uns ist unwandelbar und ewig. Auch für Astronomen, für die „zuständigen“ Naturwissenschaftler, stellte sich die Frage nach einem Woher oder Wohin für den Kosmos nicht. Er war schon immer da, und er würde immer sein.

3. Das Weltbild bekommt neue Farben

Zu einer Revolution in der Weltsicht der Astronomen führten neue Beobachtungsmöglichkeiten im 20. Jahrhundert. Bis Anfang der 1930er Jahre war das sichtbare Licht die einzige Beobachtungsquelle für das Geschehen im Kosmos. Schon aus den damit erzielten Schwarz-Weiß-Aufnahmen waren eine Fülle von Einsichten gewonnen worden. Nun wurden neue Riesenteleskope gebaut, die auf hohen Bergen in staubarmen Regionen standen. Aber noch immer gab es störende Einflüsse der Erdatmosphäre, die durch ihre chemische Zusammensetzung verhindert, dass bestimmte Arten von Strahlung aus dem Kosmos überhaupt die Erdoberfläche erreichen. Satelliten (zuletzt das besonders leistungsfähige Weltraumteleskop HUBBLE) machten auch die Erfassung und Messung solcher Strahlungsarten möglich. Das Weltbild der Astrophysik gewann im wahrsten Sinne des Wortes ganz neue Farben: Gamma- und Röntgenstrahlung, ultraviolettes und infrarotes Licht, Mikro- und Radiowellen öffneten zusätzliche „Beobachtungsfenster“. Durch die nun möglichen neuen Ausblicke wurde das Bild, das die Naturwissenschaft vom Universum hatte, zum einen viel größer, und in der Folge geriet der Kosmos selbst in Bewegung.

4. Der Horizont wird geweitet

Der Blick des Menschen wurde geweitet, neue Horizonte taten sich auf.

Wir wissen: unsere Erde kreist zusammen mit acht weiteren Planeten um die Sonne, unseren Heimatstern, der ein ganz gewöhnlicher gelber Durchschnittstern ist.



Die Sonne ist einer von Milliarden Sternen, die zu unserer Galaxis, der Milchstraße gehören. Wir sehen in sternklaren Nächten am Himmel die Milchstraße von der Seite, als Scheibe. Von oben her gesehen ist sie spiralförmig. Unsere Milchstraße ist eine Familie von 150 Milliarden Sternen. Wir sind (mit unserer Sonne) etwa zwei Drittel des Radius vom Zentrum der Galaxie entfernt. Die Galaxis dreht sich wie ein Feuerrad, und in einem der Spiralarme umkreist die Sonne in 225 Millionen Jahren einmal das Zentrum. Die Galaxis hat einen Durchmesser von 100.000 Lichtjahren, das heißt ein Lichtstrahl, der am einen Ende ausgesandt wird, benötigt 100.000 Jahre (!), bis er auf der anderen Seite ankommt und „gesehen“ werden kann.

Und unsere Galaxis ist nicht die einzige Art. Das Weltall enthält mindestens 100 Milliarden solcher Galaxien, von denen fast alle zu noch größeren Strukturen im Universum gehören, indem sie Gruppen, Haufen und Superhaufen bilden. Diese Ansammlungen der Galaxien bilden „Fäden“ und „Wände“, die riesige leere Räume umschließen („Blasen“ genannt).

Aber da reden wir schnell und locker von Millionen und Milliarden Sonnen, die wiederum Millionen und Milliarden Lichtjahre von uns entfernt sind. Wir müssen uns klar machen: Diese Größenordnungen sind so gewaltig, dass wir sie uns nicht wirklich vorstellen können.

Das soll an zwei Beispielen deutlich gemacht werden.

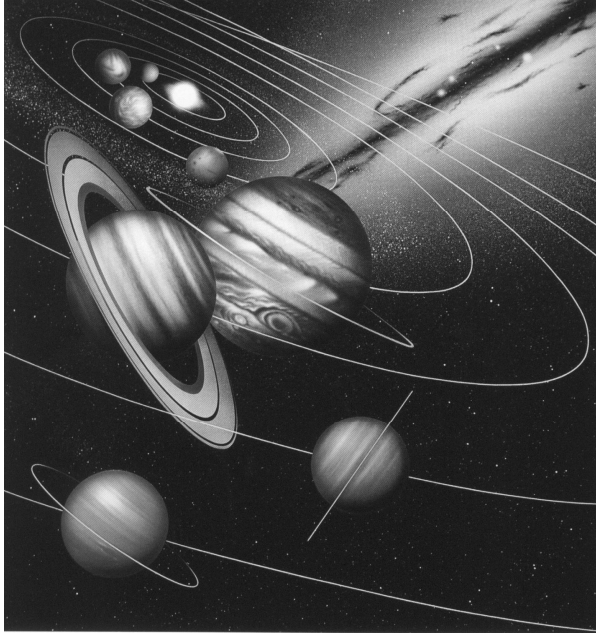
Beispiel 1: der erdnahe Kosmos - verkleinert im Maßstab 1 zu 1 Milliarde

Um die Größenverhältnisse im Kosmos für uns fassbar zu machen, verkleinern wir die wirklichen Verhältnisse im Maßstab 1:1Mrd., das heißt 1 Milliarde Kilometer schnurren auf 1 Kilometer zusammen.

Der erdnahe Kosmos im Maßstab 1 zu 1 Milliarde		
Himmelskörper	Durchmesser	Abstand
Erde	1,2 Zentimeter	-
Mond	4 Millimeter	40 Zentimeter (von der Erde)
Sonne	1,40 Meter	150 Meter (von der Erde)
Jupiter	14 Zentimeter	800 Meter (von der Sonne)
Pluto	7 Millimeter	6.000 Meter (von der Sonne)
nächste Nachbarsonne: Alpha Centauri	1,40 Meter	50.000.000 Meter (50.000 km) entspricht einem Achtel der Strecke Erde - Mond

Unsere Erde hat in Originalgröße einen Durchmesser von 12000 km (das entspricht der Fahrtsstrecke, die von einem durchschnittlichen deutschen Auto in einem Jahr zurückgelegt wird). In unserem gewählten Verkleinerungsmaßstab schrumpft die Erde auf die Größe einer Kirsche (1,2 cm). Der Mond umkreist die Erde in der Größe eines Gewürz-

korns und im Abstand von knapp einem halben Meter. Die Sonne ist jetzt ein brennender Gasballon mit anderthalb Metern Durchmesser, der von der Erde 150 Meter entfernt ist. Der Jupiter – größter Planet des Sonnensystems – umkreist in Gestalt einer Grapefruit-Frucht in fast einem Kilometer Abstand die Sonne. Der Planet Pluto, der als äußerster größerer Himmelskörper noch zum Sonnensystem gehört, schwebt in Heidelbeergröße bereits in 6 Kilometern Abstand um die Sonne, die ihn aber immer noch an sich bindet. Und nun beginnt – auch in dieser extremen Verkleinerung – die große Leere des Kosmos: Der nächste Nachbarstern unserer Sonne, Proxima Centauri, wäre in diesem Modell 50.000 Kilometer entfernt (das entspräche in unserer Realität einem Achtel des Abstandes zwischen Erde und Mond).



Und noch einmal um den Faktor 100 verkleinert (insgesamt also 1 : 100.000.000.000 (100 Milliarden): Jetzt könnten wir uns eine Handvoll Kirschen vorstellen, verstreut über den Kontinent Europa, etwa im Abstand der Hauptstädte Berlin / Paris / Rom - so würde sich das „Gedränge“ der Sterne innerhalb einer Galaxis darstellen. Wirklich vorstellbar?

Und nun beginnt – auch in dieser extremen Verkleinerung – die große Leere des Kosmos: Der nächste Nachbarstern unserer Sonne, Proxima Centauri, wäre in diesem Modell 50.000 Kilometer entfernt (das entspräche in unserer Realität einem Achtel des Abstandes zwischen Erde und Mond).

Beispiel 2: eine Reise von der Erde aus mit Lichtgeschwindigkeit

Wir wollen kurz auf eine gedachte Reise in unsere kosmische Nachbarschaft gehen. Wir wählen dafür die größte Geschwindigkeit, die im Kosmos möglich ist, um Materie und Informationen zu übertragen. Nichts kann sich schneller bewegen als das Licht, also mit etwa 300.000 Kilometern in einer Sekunde. Auch dass es eine solche nicht zu übertreffende Höchst-Geschwindigkeit gibt, ist eine merkwürdige, nicht wirklich vorstellbare Einsicht der modernen Physik.

Kosmische Reise auf einem Lichtstrahl	
Ziel der Reise	Dauer der Reise
Mond	1 Sekunde
Sonne	8 Minuten
Jupiter	43 Minuten
Pluto	7 Stunden
äußerste Grenzen unseres Planetensystems	35 Stunden
nächster Nachbarstern (Proxima Centauri)	4,3 Jahre
weitere Sterne innerhalb der Galaxis	aller 5 bis 10 Jahre
Grenzen unserer Galaxis	100.000 Jahre
nächste Nachbar-Galaxis (Andromeda-Nebel)	2 Millionen Jahre
benachbarter Galaxien-Haufen (Virgo)	43 Millionen Jahre

Auf unserer Reise fliegen wir nach 1 Sekunde am Mond vorbei. Nach 8 Minuten passieren wir die Sonne, nach einer Dreiviertelstunde den Jupiter. Bis zum letzten der großen Planeten, dem Pluto, brauchen wir (auch als Lichtstrahl) eine Reisezeit von 7 Stunden. Beim Weiterfliegen erreicht der Lichtstrahl nach 35 Stunden die äußeren Grenzen des Sonnensystems. Dann fliegen wir lange durch leeren Raum und erreichen erst nach über 4 Jahren den „nächsten“ Nachbarstern der Sonne. Beim Weiterflug begegnet uns aller 5 bis 10 Jahre ein weiterer Stern. Erst nach 100.000 Reisejahren lassen wir die letzten Sterne hinter uns, die zu unserer Heimatgalaxis gehören. Dann wird es einsam um uns her. Erst nach weiteren 2 Millionen Jahren erreichen wir unsere nächstgelegene Nachbargalaxis, den Andromedanebel, nach 43 Millionen Jahren treffen wir auf die erste größere Ansammlung von Galaxien, den Virgo-Haufen ... Für unsere Alltagserfahrungen nicht fassbare Dimensionen tun sich auf.

Medien und Science-Fiction-Literatur spekulieren immer wieder über die Existenz anderer Zivilisationen im Universum, über die Möglichkeit von Kontakten, vielleicht sogar direkten Begegnungen. Angesichts der wirklichen Dimensionen des Kosmos warnen die meisten Fachleute hier vor zu großen Erwartungen. Die Radiowellen, die wir Menschen seit reichlich 100 Jahren aussenden, sind erst 100 Lichtjahre weit vorangekommen, haben also erst wenige Nachbarsterne in unserer Galaxis erreicht. Ob dort jemand ist, der die Signale bemerken kann? Ob ihm das wichtig genug ist, um gezielt zu antworten? Und wenn, dann erreichen uns seine „Antworten“ Jahrzehnte oder Jahrhunderterte später, als wir unsere „Fragen“ losgeschickt haben (trotzdem sich Funkwellen mit Lichtgeschwindigkeit ausbreiten, dauert das so quälend lange). „Richtige“ Besuche bei möglichen Nachbarn werden wegen der riesigen Entfernungen wohl nie Wirklichkeit werden - allen Spekulationen über Abkürzungen durch „Wurmlöcher“ oder doch mögliche Überbietung der Lichtgeschwindigkeit zum Trotz.

Fotografierte Illusionen: Wir sehen den Kosmos nicht, wie er ist, sondern wie er in der Vergangenheit war

Die Geschwindigkeit des Lichtes stellt nach den Erfahrungen der Physik eine nicht überbietbare Höchstgrenze für die Übertragung von Materie wie von Informationen dar – diese Erkenntnis der Physik führt zu einer weiteren Situation, die mit unserem Alltagserleben schwer verträglich ist.

Die großartigen Bilder der Sternenwelt, die wir am Himmel bewundern und beobachten, sind alle Illusion! Es mag absurd klingen, aber wenn wir den Blick den Gestirnen zuwenden, blicken wir in lauter verschiedene Vergangenheiten. Weil das Licht nicht augenblicklich zu uns gelangt, sondern mit endlicher Geschwindigkeit unterwegs ist, sehen wir am Himmel Bilder aus der Vergangenheit. Die Planeten, die Sterne, die Galaxien, die wir beobachten, zeigen sich uns in einem Zustand, den sie vor Minuten, Jahrhunderten oder Jahrtausenden hatten. Unser Auge, unsere Fotografien zeigen ein Gemisch von Bildern aus verschiedenen Vergangenheiten. Manche Sterne, die uns heute beeindruckt, sind vielleicht schon vor Millionen von Jahren erloschen oder explodiert, das Licht anderer (das sie schon seit Jahrtausenden aussenden) hat uns noch gar nicht erreichen können. Die Kosmologie verrät uns also letztlich nichts über das derzeitige Universum, sondern über das vergangene: Je tiefer wir ins All schauen, desto tiefer blicken wir in die Vergangenheit – einfach weil das Licht immer länger unterwegs ist.

Auch die „Stern-Bilder“, die wir Menschen uns am Himmel vorstellen (und mit denen in der Astrologie Eigenschaften von Menschen auf der Erde hier und heute verknüpft werden), bestehen aus Sternen, die ganz unterschiedlich weit von uns entfernt sind und die sich unabhängig voneinander bewegen. Die „Sternbilder“ werden im Laufe von Jahrtausenden und Jahrtausenden ihr Aussehen völlig verändern

„Wir sind Sternenstaub“ -

„Zigeuner am Rande des Universums“ oder „Kinder des Weltalls“

Wie geht es mir mit den Größenordnungen im Kosmos, mit Erscheinungen am Sternenhimmel, die ich sehen und fotografieren und ausmessen kann - und die doch Illusion sind?

Was bedeutet das für mich, wenn ich erfahre: „Wir sind Sternenstaub“? Wenn ich mir klar mache, dass unsere Erde zusammen mit der Sonne als Staubkorn in diesem gigantischen Universum unterwegs ist – empfinde ich die Leere und Kälte und das Alleinsein vielleicht schmerzlich, meine Existenz als sinnlos? Oder komme ich gerade ins Staunen, empfinde Geborgenheit auf dem blauen Planeten, der mir Heimat ist, bin dankbar dafür, dass ich bei dem „Experiment Leben“ dabei sein darf, mir darüber Gedanken machen kann?

„Wenn ich ansehe den Himmel, deiner Hände Werk, den Mond und die Sterne, die du gemacht hast – was ist der Mensch, dass du an ihn denkst?“
(Die Bibel, Psalm 8, vor 2500 Jahren)

Der Nobelpreisträger Jacques Monod schrieb (in seinem Buch „Zufall und Notwendigkeit“) seine – persönlich geprägte - Deutung und Welterfahrung nieder:

„Wenn er diese Botschaft in ihrer vollen Bedeutung aufnimmt, dann muss der Mensch endlich aus seinem tausendjährigen Traum erwachen und seine totale Verlassenheit, seine radikale Fremdheit erkennen. Er weiß nun, dass er seinen Platz wie ein Zigeuner am Rande des Universums hat, das für seine Musik taub ist und gleichgültig gegen seine Hoffungen, Leiden oder Verbrechen.“

ABER:

In den letzten Jahrzehnten hat sich herausgestellt, dass diese Weltsicht in wesentlichen Zügen falsch ist. Was im Weltall geschieht, das wenige tausend Meter über uns beginnt, ist alles andere als bedeutungslos für uns und unsere Existenz. In der Welt, in der wir uns vorfinden, ist alles eng miteinander verknüpft, das Größte mit dem Kleinsten, das uns Allernächste mit dem, was sich an den (räumlichen und zeitlichen) Grenzen des für uns beobachtbaren Universums abspielt. Die Welt ist durchdrungen von Kräften und Gesetzen, unter deren Einfluss sie wirklich zu einem UNiversum wird (das Wort meint: das EINE, das GANZE, ALLES), einer geordneten Gestalt, in der das Nächste und das Fernste voneinander abhängig sind, einander bestimmen. Unsere Erde ist mit dem Universum verwachsen wie eine Pflanze mit tausend Wurzeln.

Das Universum ist nicht ein Ort in zeitloser Ruhe und Unbeweglichkeit, sondern es ist Schauplatz einer Geschichte, befindet sich ständig in Veränderung und Entwicklung.

Wir beginnen heute zu entdecken, dass dieser Weltraum in seiner räumlichen und zeitlicher Erstreckung notwendig war, um uns hervorzubringen und zu erhalten.

Wir sind: „KINDER DES WELTALLS“ (so Hoimar von Ditfurth).

Was unsere Existenz mit dem Geschehen am gestirnten Himmel zu tun hat, das ist ganz anders, als das die Astrologie vermutet und behauptet (hat). Wir werden von Geschehnissen beeinflusst, die hier und heute in unserer Nähe stattfinden, und von anderen, die vor langer Zeit und weit entfernt stattgefunden haben.

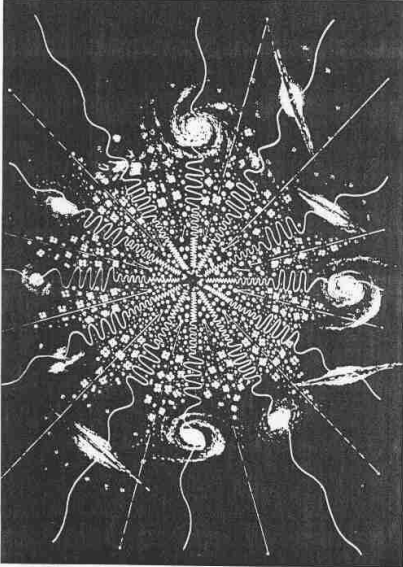
Zu berichten ist eine Geschichte von Katastrophen, die aber auch voller Überraschungen war, einer ständigen Gratwanderung zwischen der Gefahr der Vernichtung und der Chance zu immer neuen Anfängen.

Im Weiteren wollen wir den Stichworten in unserem poetisch formulierten Thema folgen: Sonne, Mond und Sterne ..., aber in geänderter Reihenfolge vorangehen, vom Großen zum Kleinen, vom weit entfernten Ereignissen zum Geschehen in unserer näheren Umgebung (vom Anfang von Allem im „Urknall“ über die Bildung von ersten Sternen und Galaxien bis zu „unserer“ Sonne und dem Einfluss, den auch der Mond und Meteoriten ausüben).

5. Ein Kosmos in Bewegung

Nicht nur unser Bild, unsere Vorstellungen von Größe und Tiefe des Kosmos haben sich verändert. Die neuen naturwissenschaftlichen Befunde führten zu einer zweiten Einsicht: Das Universum selbst erfährt ständige Veränderung. Seit den 1920er Jahren häufen sich die Hinweise und Beobachtungen dafür, dass unser Universum in Bewegung ist, dass es sich ständig weiter ausdehnt, dass es eine einmalige Geschichte durchläuft, dass es auch im Dasein der Sterne und Galaxien Werden und Vergehen gibt.

Einige wesentliche Hinweise sollen nur knapp erwähnt werden:



Galaxien dabei mitreißt.

A) Entdeckung der „Rotverschiebung“:

Die Strahlung, die von fernen Himmelsobjekten ausgesandt wird, kommt auf der Erde in Form anderer Wellenlängen an, als das eigentlich physikalisch zu erwarten wäre (sie sind im Spektrum in Richtung roter, d.h. längerer Wellenlängen „verschoben“). Je weiter Objekte entfernt sind, desto stärker ist diese Rotverschiebung. Gedeutet wird diese Erscheinung in Analogie zum so genannten „Dopplereffekt“: Wenn sich ein Rettungsauto mit Sirene nähert, nehmen wir den Ton heller wahr als wenn es sich von uns entfernt (jetzt werden die Wellenlängen der Schallwellen gedehnt und wir hören tiefere Töne). Wohin wir unsere Teleskope auch richten – alle Galaxien rücken offenbar immer weiter voneinander weg („Galaxienflucht“). Die Schlussfolgerung: Der Kosmos wird ständig größer.

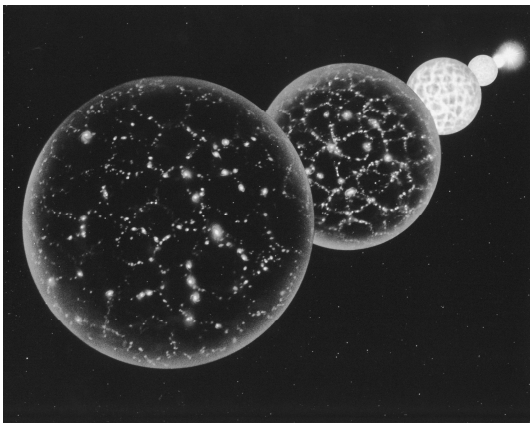
Die Kosmologen stellen sich das Weltall als eine Art Hefekuchen vor, der mit 100 Milliarden Rosinen (das sind die Galaxien) gespickt ist. Dehnt sich der Kuchen aus, entfernen sich alle Rosinen voneinander, egal, von welcher Rosine aus man die übrigen betrachtet – immer scheint alles vom eigenen Standpunkt wegzustreben. Ein Zentrum gibt es nicht. Die Entfernung zu weit entfernten Galaxien (Rosinen) nimmt danach nicht etwa zu, weil diese sich *durch* den Raum von uns weg bewegen, sondern weil sich *der Raum selbst* ausdehnt und die

B) Entdeckung der „kosmischen Hintergrundstrahlung“:

Seit den 1960er Jahren weiß man: Eine schwache Strahlung erfüllt das Weltall. Sie erreicht uns aus allen Richtungen gleichförmig. Gedeutet wird sie als das schwache „Wetterleuchten“ oder Echo, das von einem gewaltigen Energieblitz geblieben ist, in dem und mit dem unser Universum seinen Anfang nahm, und der sich inzwischen auf 2,7 Grad Kelvin über dem absoluten Nullpunkt abgekühlt hat. Die Existenz dieser kosmischen Hintergrundstrahlung war von der Urknalltheorie genau so vorhergesagt worden; ihr Nachweis stellte damit eine Bestätigung der Hypothesen dar.

C) Häufigkeit der chemischen Elemente Wasserstoff und Helium im Kosmos:

Wasserstoff-Atome haben heute im Kosmos einen Anteil an allen Atomen von etwa 92 Prozent (das entspricht einem Anteil an der Masse des Kosmos von etwa 75 Prozent), Atome des Elements Helium stellen etwa 8 Prozent (das entspricht einem Masseanteil von etwa 25%); der „Rest“ von anderen Atomen, aus denen die Planeten oder unsere Körper bestehen, spielt in der Gesamtbilanz des Kosmos fast keine Rolle. Dieses Verhältnis von Wasserstoffatomen zu Heliumatomen stimmt recht genau mit den theoretischen Berechnungen nach dem „Urknall“-Modell überein. Derart viel Helium kann aus physikalischen Gründen nur durch Kernverschmelzung von Wasserstoffatomen bei Temperaturen von Milliarden Grad gebildet worden sein – gerade solchen Bedingungen, wie es sie nur (und nur für extrem kurze Zeit) im „Superstern“ des Urknalls gegeben hat!



Diese und weitere Beobachtungen haben sich in den letzten Jahren immer mehr verdichtet zu der Vermutung: Das Universum existiert doch nicht seit Ewigkeiten. Es hat einen Anfang gehabt, im so genannten „URKNALL“ (vielleicht sollte man angemessener vom URSPRUNG sprechen). Dass es diesen Urknall gegeben hat, ist heute die Grundüberzeugung fast aller Astronomen und Kosmologen. Sie arbeiten mangels überzeugenderer Alternativen mit diesem „Standardmodell“, in das sich die meisten Beobachtungen gut einfügen. Wenn Medien trotzdem hin und wieder von heftigen Kontroversen in der Wissenschaft berichten, dann sind das Streitigkeiten über Details, die aber weiter im Rahmen der Urknall-Vorstellungen bleiben (eine der umstrittenen Fragen lautet z.B.: ist das Weltall 10 oder ist es 20 Milliarden Jahre alt? – aber niemand diskutiert ernsthaft über einen Zeithorizont von Millionen oder gar nur Zehntausenden von Jahren).

Hinter dem Urknall-Modell stehen folgende Überlegungen: Wenn wir beobachten, dass das All sich immer weiter ausdehnt, legt sich die Vermutung nahe, dass es diese Expansion auch früher gegeben hat. Wir könnten dann den „Film“

unserer Beobachtungen quasi rückwärts laufen lassen. Die Galaxien würden immer enger zusammenrücken. Das Universum würde immer mehr schrumpfen und dabei immer dichter und immer heißer werden, bis der Raum, die Materie, die Energie extrem konzentriert sind, sich letztlich in einem Punkt vereinigen. Ein Kosmos, der sich in einem Punkt findet, der unendlich dicht, unendlich heiß ist – das ist der Anfang der Welt aus der Sicht der heutigen Physik. Vor etwa 14 Milliarden Jahren sind Energie und Materie, Raum und Zeit in einer gewaltigen Explosion entstanden, die das Universum noch heute immer weiter auseinander treibt, und wahrscheinlich wird diese Ausdehnung auch in Zukunft weitergehen.

In den zurückliegenden Milliarden von Jahren hat das Universum eine einmalige Geschichte durchlaufen. Immer wieder sind neue Möglichkeiten der Entwicklung aufgetreten, aber längst nicht alle sind in der Geschichte des Kosmos genutzt worden. Die Bewegung des Kosmos hat lokal zu immer komplexeren Strukturen geführt. Und manches dabei gab Anlass zum Staunen, zum Wundern - auch für viele Kosmologen: dass diese Entwicklung scheinbar so zielgerichtet lebensfreundliche Bedingungen hervorgebracht hat, zum Menschen hinführt, und dass nichts weniger als ein ganzer Kosmos wie der unsere in seiner Größe und Dauer nötig war, damit es diese winzige Erde und uns Menschen geben konnte.

Anlass zum Staunen? – anthropisches Prinzip

WARUM hat es einen Urknall gegeben?

Warum ist überhaupt ETWAS und nicht NICHTS?

Warum gibt es ORDNUNG (z.B. in den Naturgesetzen)?

Warum gelten gerade die Naturkonstanten, die unsere Welt bestimmen (Feinabstimmung)?

Es ist wohlthuend zu wissen, dass wir gerade in einem „mittleren“ Universum leben:

- Wäre der Schwung des Urknalls stärker gewesen – das All wäre so gewaltig auseinandergestoben, dass sich nie „Klumpungen“ in Gestalt von Sternen und Galaxien hätten bilden können.
- Bei einem schwächeren Urknall wäre das Universum schnell wieder in sich zusammengestürzt, dabei wäre alle Materie zu Eisen zusammengebacken worden.
- So aber hatte das Weltall genügend Zeit für das Werden und Vergehen mehrerer Generationen von Sternen – es waren immerhin 14 Milliarden Jahre nötig, bis sich auf dem Planeten Erde intelligentes Leben entwickeln konnte.

Übrigens:

Die spannende Geschichte, die die Physiker sich heute erzählen, dass aus einem heißen Staubkorn, kleiner als ein Atomkern, unser ganzer Kosmos herausgeplatzt ist – das klingt mindestens so wunderbar und märchenhaft wie manche Geschichten von der Weltentstehung, die uns aus alten Zeiten überliefert sind!

5.1. Der Anfang: ein heißer Tanz

Hier soll knapp dargestellt werden, was die Naturwissenschaft derzeit über das Ereignis Urknall erzählt. Genau genommen beschreibt das Urknall-Modell nicht die Entstehung der Welt, sondern ihre Entwicklung nach dem Zeitpunkt Null.

Die Wissenschaftler haben sich geeinigt, die Weltuhr bei 10^{-43} Sekunden starten zu lassen (ausgeschrieben heißt das: Null Komma, dann 42 Nullen und danach eine Eins, also ein unvorstellbar kurzer Bruchteil einer Sekunde).

Warum starten sie Ihr Modell nicht zur Zeit Null? Und was sagt die Wissenschaft über die Zeit VOR dem Urknall? Die Antwort, die auch viele Naturwissenschaftler geben, heißt nüchtern: Hier sind wir nicht zuständig. Raum, Zeit, Energie – alles, was wir untersuchen können - gibt es erst seit dem Urknall. Für die erste „heiße Phase“ des Kosmos sind Beschreibungen und Berechnungen mit den uns bekannten Naturgesetzen und Erfahrungen nicht möglich. Dort spielen sowohl die Quantenphysik (gültig nur in kleinsten Dimensionen) als auch Gravitationseffekte (die normalerweise nur in kosmischen Größenordnungen wirksam werden) eine Rolle, für deren gleichzeitiges Wirken bisher keine einheitliche Theorie existiert. Natürlich versuchen auch Wissenschaftler trotz dieser schmerzlichen Einsichten immer wieder, in diesen Grenzbereichen doch zu Aussagen zu kommen, aber alles, was dazu (auch von Nobelpreisträgern) geäußert wird, hat den Charakter von kühnen Vermutungen und Spekulationen.

Am Anfang, sagt die Physik, war alles im bekannten Universum (Zeit, Raum, Materie, Energie) in einem einzigen Punkt unendlich dicht beisammen (ein wahrhaft einmaliger Zustand, die so genannte SINGULARITÄT). Das ganze Universum war viel kleiner als ein Atomkern (10^{-33} cm), und es war 10^{32} Grad heiß (ausgeschrieben eine 1 mit 32 Nullen dahinter!). „Vorstellen“ können wir uns einen brodelnden Brei, in dem Energie-Blitze und materielle Teilchen durcheinanderwirbeln. Energie materialisierte sich in Paaren aus Elementar-Teilchen, von denen jeweils eines aus Materie und das andere aus Antimaterie bestand. Kaum gebildet, prallten sie gleich wieder zusammen, vernichteten einander und zerstrahlten zu Energie. In diesem Inferno bildete sich ein geringer Überschuss an Materieteilchen, die der Vernichtung durch Zusammentreffen mit ihren Antiteilchen entgingen (warum nicht genau gleiche Anteile an Materie und Antimaterie entstanden, ist physikalisch bisher nicht eindeutig geklärt). Der Ur-Kosmos platzte auseinander und kühlte sich dabei ab (nach 1 Sekunde war es noch immer 1000x so heiß wie im Inneren der Sonne). Die Materieteilchen, zunächst einfachste Grundbausteine der Welt („Quarks“), konnten nun auf Dauer existieren, und sie lagerten

sich zu Protonen und Neutronen zusammen, aus denen einfache Atomkerne gebildet wurden. Etwa drei Minuten nach dem Urknall war diese Phase abgeschlossen.

Der Kosmos breitete sich ständig weiter aus. In seiner frühen Phase bestand das Universum aus einem heißen, dichten („ionisierten“) Gas, das noch undurchsichtig blieb, weil die Lichtteilchen ständig mit den Materieteilchen zusammenstießen. Erst nach etwa 380000 Jahren war es so weit abgekühlt, dass die Atomkerne Elektronen an sich binden und stabile Atome bilden konnten. Nun war das Universum „fertig“, und es war ein sehr einfach strukturiertes Universum. Es enthielt nur die leichtesten chemischen Elemente, bestand im Wesentlichen aus Atomen der Gase Wasserstoff (drei Viertel der Masse) und Helium (ein Viertel) – schwerere Atomkerne, die heute ganz wesentlich unseren Alltag bestimmen, gab es unmittelbar nach dem Urknall noch nicht!.

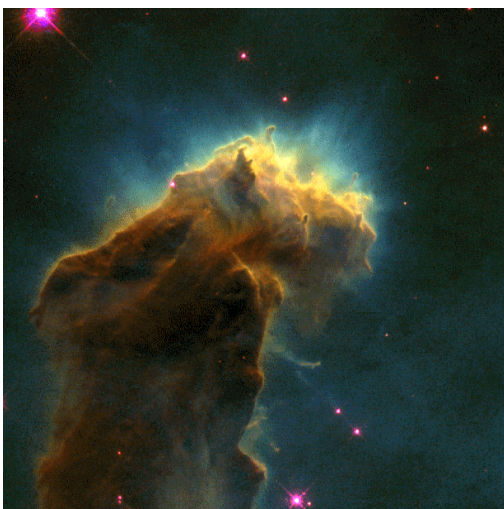
Vom Blitz des Urknalls übrig geblieben war auch Strahlung, die den Kosmos erfüllte, sich ausbreitete und dabei abkühlte.

Ein solches Universum aus einfachen Gasen ist physikalisch stabil, und es hätte ewig so bleiben und sich lediglich immer weiter ausbreiten können.

Geschichte des Universums (Modell „Heißer Urknall“)

abgelaufene Zeit	Ereignisse	Temperatur
0	„Urknall“; Raum, Zeit und Materie sind in einem unendlich kleinen und unendlich heißen Punkt konzentriert; die Zustände und Prozesse sind mit der uns bekannten physikalischen Erfahrungen und Methoden nicht vollständig zu fassen	???
10^{-43} Sekunden	Raum, Zeit und Materie entstehen; Quanten- und Gravitationstheorie stehen in Wechselwirkung (eine „vereinheitlichte Theorie“ zur Beschreibung dieses Zustandes ist bisher nicht vorhanden)	10^{32} Grad
10^{-39} Sekunden	der ganze Kosmos dehnt sich kurzzeitig beschleunigt aus (exponentielle Ausdehnung, „Inflation“)	
10^{-34} Sekunden	Quarks und Anti-Quarks werden gebildet	10^{27} Grad
10^{-10} bis 10^{-5} Sekunden	Bildung von Protonen, Neutronen, Mesonen; Verschwinden der Anti-Quarks	10^{15} Grad
0,01 bis 3 Sekunden	Protonen und Neutronen schließen sich zu Atom-Kernen zusammen (Wasserstoff und Helium)	10^{10} Grad
3 Minuten	Strahlung ist noch so intensiv, dass sie Atomkerne und Elektronen trennt (Ionisation; noch Kopplung von Materie und Strahlung)	10^9 Grad
380.000 Jahre	Elektronen und Atomkerne treten zu Atomen zusammen; Materie und Strahlung sind entkoppelt: das All wird durchsichtig	3000 Grad
200 Millionen Jahre	aus Gaswolken bilden sich erste Sterne und Galaxien; im Inneren von massereichen Sternen werden nun (die Temperaturen erreichen noch einmal Millionen und Milliarden von Grad, aber es steht diesmal viel mehr Zeit zur Verfügung als im Blitz des Urknalls) auch schwerere Atomkerne „zusammengebacken“; der „Sternenstaub“ wird bei Explosionen im Weltall verstreut	
7 Milliarden Jahre	die „dunkle Energie“ beginnt, die Ausdehnung des Universums (erneut) zu beschleunigen	
9,1 Milliarden Jahre	„unsere“ Sonne (als Stern der 3. Generation) und ihr Planetensystem entstehen aus Gas- und Staubwolken, die von früheren Sternexplosionen übrig geblieben sind	
13,7 Milliarden Jahre	Gegenwart	3 Kelvin
19 Milliarden Jahre	die Sonne bläht sich zum „Roten Riesen“ auf, dessen äußere Hülle bis zur Erdbahn reicht	
ferne Zukunft	das Universum dehnt sich immer weiter aus, wird immer dunkler und immer kälter	

5.2. Vom Leben und Sterben der Sterne



Es vergehen etwa 200 Millionen Jahre, bis sich etwas Neues ereignet. Im Großen geht die Ausdehnung des Universums ständig weiter, aber lokal beginnt nun eine zweite Kraft zu wirken, die Schwerkraft. Sie wirkt der Ausdehnung entgegen. In Regionen, in denen sich zufällig etwas größere Konzentrationen an Wasserstoff befinden, klumpt das Ur-Gas zusammen. Die Schwerkraft beginnt unerbittlich zu wirken, die Gaswolke verdichtet sich immer mehr, beginnt zu rotieren, bildet eine Scheibe. In deren Zentrum steigt die Temperatur unter dem Druck der zusammenstürzenden Moleküle immer mehr an. Bei etwa 10 Millionen Grad setzen Kernverschmelzungsprozesse ein: Im einfachsten Fall, in der ersten Stufe, bildet sich aus vier Kernen von Wasserstoffatomen der Kern eines Heliumatoms. Bei diesem Prozess „verschwindet“ ein Teil der Masse der Atomkerne – diese Masse wird als Energie (Strahlung) freigesetzt, die den neu entstandenen Stern zum Leuchten bringt. Der Druck der ausgesandten Strahlung wirkt der Schwerkraft entgegen. Es stellt sich ein Gleichgewicht ein, in dem der Stern nicht weiter zusammenstürzt, sondern mit Hilfe der erzeugten Fusionsenergie seinen Zustand stabilisieren kann. Sein atomares Feuer kann Jahrmillio-

nen mit Hilfe der erzeugten Fusionsenergie seinen Zustand stabilisieren kann. Sein atomares Feuer kann Jahrmillio-

nen oder auch Jahrtausende lang brennen. Solche Sternbildungs-Prozesse finden auch heute noch statt und können beobachtet werden. In unserer Galaxie „zünden“ etwa drei neue Sterne in jedem Jahr. Es wird also noch einmal heiß im Kosmos. Im Inneren der Sterne kommt es noch einmal zu physikalischen Verhältnissen, wie sie nur in den ersten Sekunden des Urknalls geherrscht haben, nur läuft der Prozess diesmal umgekehrt ab: es wird nicht kälter, sondern allmählich immer heißer, und es steht viel mehr Zeit zur Verfügung.

Ein **STERN** ist ein Objekt, das aus eigener Kraft leuchtet und seine Energie aus Kernfusionsprozessen bezieht (die untere Grenze für die erforderliche Masse liegt bei etwa 1/12 der Masse unserer Sonne).

Größe des Sterns (Masse „unserer“ Sonne = 1)	„Lebensdauer“ (Jahre)	Oberflächentemperatur (Grad Kelvin)
0,1	200 Milliarden Jahre	
0,3	100 Milliarden Jahre	3500
1	10 Milliarden Jahre	6000
15	10 Millionen Jahre	18000
120	wenige Zehntausend Jahre	

Der weitere Lebenslauf der Sterne, die jetzt entstehen, ist abhängig davon, wie viel Masse sie haben. Und ihr Lebenslauf hat auch Bedeutung für die weitere Geschichte des Kosmos.

5.2.1. Unsere Sonne – ein ganz normaler Stern

Bei der Entstehung einer Sonne mit der Masse unseres Heimatsterns stürzt die Gaswolke zunächst unter Wirkung der Schwerkraft zusammen. In ihrem Zentrum beginnt nach ca. 10 Millionen Jahren das Wasserstoff-Feuer stabil zu „brennen“. Über 10 Milliarden Jahre lang reichen die Wasserstoffvorräte, um diesen Prozess der Verschmelzung zu Heliumatomen aufrecht zu erhalten.

Bis heute hat die Sonne etwa die Hälfte ihrer „Lebenszeit“ hinter sich gebracht. In etwa 1 Milliarde Jahren wird ihre Leuchtkraft um 10 Prozent zugenommen haben. Für die Erde bedeutet das, dass die Jahresmitteltemperatur von heute 15 Grad auf 50 Grad Celsius zunehmen wird, mit der Folge schmelzender Polkappen, Zunahme der Verdunstung in den Ozeanen und einem dadurch bewirkten starken Treibhauseffekt. In 3 ½ Milliarden Jahren ist die Erdkruste ausgetrocknet und alles Wasser verdunstet. Und weitere 2 Milliarden Jahre später bläht sich der Stern am Ende seines Daseins in einem letzten Aufblähen auf und verschlingt die Planeten Merkur und Venus.

Wenn nämlich nach 10 Milliarden Jahren der Wasserstoff-Vorrat weitgehend aufgebraucht ist (nur etwa 10 Prozent im Kern werden tatsächlich „verbrannt“), reicht der Strahlungsdruck nicht mehr aus, um den Stern gegen den Druck der Schwerkraft zu stabilisieren. Die Kräfte der Gravitation drücken den Kernbereich des Sterns immer weiter zusammen. Die Temperatur steigt, erreicht 100 Millionen Grad, und jetzt können Heliumatomkerne zu Kohlenstoff und Sauerstoff verschmelzen. Erneut wird Energie freigesetzt, und der Strahlungsdruck von innen her bläht den Stern zum „Roten Riesen“ auf, der jetzt die 100-fache Größe und die 1000-fache Leuchtkraft im Vergleich zu vorher erreicht. Wenn die Heliumvorräte im Kernbereich „verbrannt“ sind, sind bei einem Stern mit der Masse der Sonne keine weiteren Fusionsprozesse mehr möglich. Die Gravitation drückt den Stern nun unerbittlich immer weiter zusammen. Er stößt seine Gashülle ab. Übrig bleibt ein „Weißer Zwerg“, ein Reststern aus zusammengepresster Materie mit etwa 10.000 Kilometern Durchmesser (das entspricht etwa der Größe der Erde), der langsam dunkler wird und auskühlt und dann als „schwarzer Zwerg“ durchs All treibt. Der übrig gebliebene Zwergstern hält alle chemischen Atome fest, die sich im Laufe seines „Lebens“ gebildet haben (neben Helium vor allem Kohlenstoff und Sauerstoff). Sie stehen für die weitere Entwicklung im Kosmos nicht zur Verfügung.

5.2.2. Das Schicksal von Sternen, die schwerer sind als unsere Sonne

Das Schicksal von Sternen, die etwa 10 x so schwer sind wie unsere Sonne, verläuft ganz anders, endet viel dramatischer und ist von besonderer Bedeutung für die weitere Geschichte des Universums.

Massereiche Sterne leben nicht etwa länger als leichtere Sterne, ihre Lebensdauer erreicht manchmal nur einige Millionen Jahre. Sie gehen viel verschwenderischer mit ihren Gasvorräten um, „verbrennen“ ihre Rohstoffe in einem gigantischen Feuerwerk und hauchen ihr Leben in einer gewaltigen Explosion aus.

Wenn in der ersten Phase der Wasserstoffvorrat in der Kern-Zone zu Ende geht, kann der Strahlendruck der Schwerkraft nichts mehr entgegensetzen. Der Druck nimmt unerbittlich immer weiter zu, der Kern des Sterns wird weiter zusammengepresst, wobei die Temperatur ständig ansteigt. Bei 100 Millionen Grad beginnen die Heliumatome zu Kohlenstoff zu verschmelzen. Nach dem Aufbrauchen der Heliumvorräte stürzt der Stern weiter zusammen, die Temperatur steigt. Von Stufe zu Stufe wird es heißer, und die Brenn-Phasen dauern immer kürzer (zuletzt sind es Wochen, Stunden, Minuten und schließlich Sekunden). Immer schwerere Atomkerne werden zusammengebacken, am Ende entstehen – bei einigen Milliarden Grad - Silizium und Eisen. Bis zur Bildung von Eisenatomen liefern die physikalischen Prozesse Energie, die freigesetzt wird. Damit ist jetzt Schluss – die Fusion noch schwererer Atomkerne verbraucht Energie, die von außen zugeführt werden müsste. Aber die Kraft der Gravitation drückt den Stern unerbittlich

weiter zusammen. Nun ist der Zusammenbruch nicht mehr aufzuhalten. Der Stern stürzt in weniger als 1 Sekunde in sich zusammen, um jedoch gleich wieder zu explodieren. Dabei schleudert er seine gesamte Hülle – Wolken aus Gas und Staub - ins Weltall. Am Himmel erstrahlt eine „Supernova“ (= neuer, super-hell aufstrahlender Stern). Ein solches Ereignis geschieht in unserer Galaxis etwa drei Mal in 100 Jahren. Der explodierende Stern leuchtet heller als die ganze Milchstraße, setzt in kurzer Zeit so viel Strahlung frei, wie sie unsere Sonne in 10 Milliarden Jahren produziert. Bei dieser Sternexplosion herrscht ein höllisches Inferno, in dem noch höhere Temperaturen erreicht werden als je vorher (100 Milliarden Grad). Und diese Energie reicht aus, auch sehr schwere Atomkerne „zusammenzubacken“. Erst bei der Explosion einer Supernova – und nur hier – entstehen alle übrigen der 92 chemischen Elemente, die schwerer sind als Eisen und die wir in der uns umgebenden Natur vorfinden.



Bei dem geschilderten Geschehen handelt es sich nicht um wilde Spekulationen. Alle Phasen im Leben eines Sterns können (bei der Vielzahl der zur Verfügung stehenden Objekte) auch irgendwo am Himmel beobachtet werden. Theoretische Vermutungen lassen sich im kosmi-

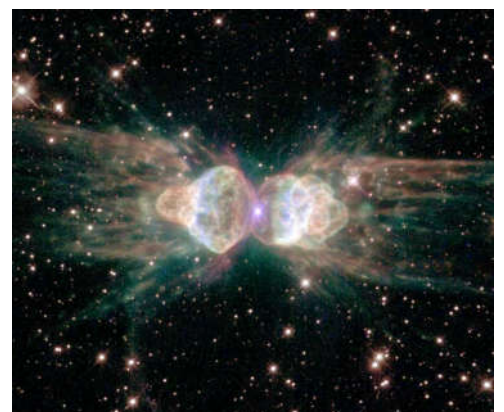
schen Geschehen nachprüfen.

Neutronensterne und Schwarze Löcher

Wenn ein Stern mit etwa 8 Sonnenmassen als Supernova explodiert, entsteht aus dem Rest-Kern (1,5 bis 2 Sonnenmassen schwer) ein „Neutronenstern“. Die Atomkerne sind jetzt dicht zusammengepresst. Der Neutronenstern hat einen Durchmesser von 10 bis 20 Kilometer, und er dreht sich 30 mal oder auch 100 mal in einer Sekunde um sich selbst und sendet Röntgenstrahlung aus (solche „Pulsare“ können beobachtet werden).

Wenn Riesen-Sterne ursprünglich mehr als 25 Sonnenmassen schwer waren, geht der Zusammenbruch noch über den Zustand des Neutronensterns hinaus. Nach der Explosion bleiben Sternkerne von mehr als 3 Sonnenmassen übrig, die unaufhaltsam weiter zu so genannten „Schwarzen Löchern“ zusammenstürzen (unsere Erde hätte als „Schwarzes Loch“ einen Durchmesser von 1,8 Zentimetern). Sie „verschwinden“ gewissermaßen aus unserem Universum, können direkt nicht mehr beobachtet werden. Die von Ihnen ausgeübte Schwerkraftwirkung ist so stark, dass nicht einmal mehr Lichtstrahlen von Ihrer Oberfläche entweichen können (sie erscheinen „schwarz“, daher der Name). Man nimmt heute an, dass sich im Zentrum aller Galaxien gigantische Schwarze Löcher befinden. Und man meint indirekte Beweise dafür zu haben, dass es diesen Materiezustand wirklich gibt. Zum einen kann man Sterne beobachten, deren Bewegungen nur zu erklären sind, wenn man annimmt, dass sie einen unsichtbaren Begleiter haben, der nicht zu sehen ist, sondern sich nur durch seine Gravitationswirkung verrät. Zum zweiten „fressen“ Schwarze Löcher ständig Materie in sich hinein, die ihnen zu nahe kommt. Aus physikalischen Gründen wird aber ein Teil der Materie, die von außen in Schwarze Löcher hineinströmt, in Strahlung umgewandelt – und diese Strahlung lässt sich beobachten.

Von besonderer Bedeutung ist, dass der größte Teil der Materie, die sich im Inneren des Sterns gebildet hat, durch die gewaltige Explosion ins Weltall hinausgetragen wird. Eine Wolke aus Gas und Staub (die nun erstmals alle chemischen Elemente enthält), rast mit einer Geschwindigkeit von einigen Zehntausend Kilometern in der Sekunde davon. Dieser „Sternenstaub“ (im Wortsinne: auch jetzt noch rieseln jedes Jahr etwa 40.000 Tonnen kosmischen Materials auf die Erde herunter) steht nun als Baumaterial für eine neue Sternengeneration zur Verfügung. Eine erste Generation von Riesen-Sternen musste entstehen und wieder vergehen, damit die Materialien zur Verfügung standen, aus denen sich unser Sonnensystem mit seinen Planeten aus Gestein und Eisen gebildet hat. Das Leben auf der Erde trägt die Stoffe in sich, die vor Milliarden von Jahren im Glutfeuer von solchen Sternen zusammengebacken wurden. Das gibt der Aussage, dass wir „Sternenstaub“ sind, eine zweite inhaltliche Bedeutung - in einem ganz handfesten und materiellen Sinne. In jedem Stickstoffatom in Zellen unserer Haut oder in den Eisenatomen in unseren roten Blutkörperchen tragen wir die Erinnerung an längst vergangene Zeiten in der Geschichte des Universums in uns. Aber auch das poetische Bild vom „Sternenstaub“ bildet nur die materielle Seite unserer Existenz ab – eine Schaufel Staub ist noch lange kein Mensch!



Explodierende „Super-Novae“ sind unverzichtbar als Zauberküche, in der es erst möglich wird, dass ALLE chemischen Bausteine für unsere Welt entstehen.

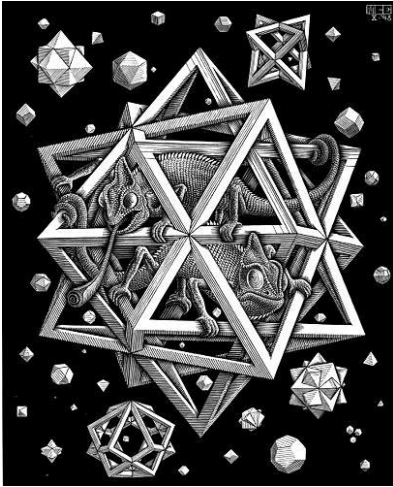
Aber sie erweisen sich auch als gefährlich für das Leben auf der Erde. Alle paar hundert Millionen Jahre explodiert ein solcher Riesenstern in der „Nähe“ unserer Erde (d.h. im Umkreis von 30 Lichtjahren). Dabei kommt es zu einer star-

ken Freisetzung von Strahlung, die Auswirkungen auf das Klima (Zerstörung der Ozonschicht), aber auch auf Lebewesen hat (direkte Strahlenschäden, Veränderungen im Erbgut). Die Strahlung ist gefährlich – sie ist aber auch zugleich Ursache für Mutationen, Veränderungen im Erbgut, durch die neue Eigenschaften in Lebewesen entstehen können, Entwicklung möglich wird ...

5.3. Die Zukunft des Universums

Auf die Frage nach dem weiteren Schicksal des Universums gibt es nur spekulative Antworten – wir wissen einfach noch zu wenig.

Nach der einen Vorstellung siegt am Ende doch die Schwerkraft. Die Ausdehnung des Universums hört nach vielen Milliarden Jahren auf. Der „Film“ beginnt gewissermaßen rückwärts zu laufen. Alle Materie bewegt sich (wieder) aufeinander zu, die Galaxien rücken zusammen, es wird immer dichter und immer heißer, bis am Ende Zustände herrschen wie zur Zeit des Urknalls: Zum Schluss wäre der ganze Kosmos wieder vereinigt in einem Punkt. Hier kann auch weiter spekuliert werden, ob das Universum vielleicht sofort wieder in einem neuen Urknall auseinander platzt, ob es vielleicht in der Vergangenheit schon mehrere solche Phasen der Ausdehnung und Kontraktion gegeben hat – eine wiederholbare, unendliche Geschichte.



Gegen dieses Modell sprachen aber derzeit die Beobachtungen der Physiker. Nach dem derzeitigen Erkenntnisstand ist einfach nicht genug Masse im Universum vorhanden, die die Umkehr erzwingen könnte (nach den heute möglichen Messungen fehlen 90 bis 99 Prozent der erforderlichen „kritischen Masse“). Neuere Beobachtungen führten zu weiteren Unsicherheiten. Man stellte fest, dass Masse und Verteilung der sichtbaren Materie in unserer eigenen Galaxis nicht ausreichen, um die Art und Weise zu erklären, wie unsere Galaxis rotiert – die Beobachtungen lassen nämlich den Schluss zu, dass die Masse des äußeren Kranzes viel größer sein muss als die für uns sicht- (und damit mess-)bare Masse der Galaxis. Die Wissenschaft ist sich inzwischen ziemlich sicher: Es gibt da weitere, für uns nicht erkennbare, nicht messbare „dunkle“ Materie“ (dunkel steht hier schlicht für „für uns verborgen“, für das Nicht-Wissen)?

Trotz solcher Unsicherheiten galt bis 1997 als herrschende Lehrmeinung: Die Ausdehnung des Kosmos verlangsamt sich ständig durch die Gravitationswirkung von sichtbarer und „dunkler“ Materie, und schließlich fällt das Universum wieder in sich zusammen. Es gibt Mutmaßungen darüber, woraus die „dunkle Materie“ bestehen

könnte (kleine Protosterne, Schwarze Löcher, Neutrinos, unbekannte Elementarteilchen: Axionen, Strings ...); Stofflichkeiten, die wir (bisher) nicht beobachten können, die aber einen Teil der „Beobachtungs-Lücken“ füllen könnten. Dann jedoch zeigten Messungen, dass sich die Ausdehnung des Universums sogar beschleunigt. Eine Kraft wirkt der Gravitation entgegen. Diese unbekannte Kraft nennen die Kosmologen „dunkle Energie“.

Derzeit gehen die Astrophysiker davon aus, dass unser Universum zu 73 Prozent aus „dunkler Energie“ und zu 23 Prozent aus „dunkler Materie“ besteht. Nur knapp fünf Prozent (ein Zwanzigstel !) des Kosmos machen demnach Stofflichkeiten aus, wie wir sie kennen: Sterne, Steine, Bäume, Menschen. Alles übrige – also fast alles, was uns umgibt – besteht aus nicht (direkt) sichtbarer (nachweisbarer) Materie und Energie. Dunkle Materie sieht man nicht, sie leuchtet nicht, sie schluckt kein Licht, sie hinterlässt keine Spuren in den Messgeräten der Physiker.

Derzeit bevorzugen die meisten Astrophysiker für die Zukunft der Entwicklung des Kosmos demnach eine zweite Hypothese: Das Universum wird danach ewig weiter auseinander fliegen. Eine Art „Anti-Gravitation“ (die „dunkle Energie“) treibt das Weltall auseinander. Wenn diese These zutrifft, dann würde das All immer größer werden, immer leerer, immer kälter, immer dunkler.

6. Unser Heimatstern SONNE mit seinen Planetenkindern



Wir Menschen erleben den Kosmos von unserem blauen Heimatplaneten aus. Rings um uns finden wir Leere, unermessliche Weiten, tödliche Kälte, explodierende Sterne, Strahlung ...

Und dennoch leben wir auf einem Planeten, der Leben trägt.

Woher kommt eigentlich unser blauer Planet mit seinem Heimatstern?

Beide sind gemeinsam geboren aus einem Inferno.

Reste eines explodierenden Sternes der ersten Generation breiteten sich in der Umgebung aus, eine Wolke aus Gas(98%) und Staub(2%). Die Materie war nicht gleichmäßig verteilt, und so begannen sich dichtere Regionen der Wolke unter dem Einfluss der Schwerkraft zusammenzuziehen. Das Zentrum zog immer mehr Materie aus der Umgebung an sich, die Teilchen rückten immer dichter

zusammen, im Inneren wurde es immer heißer, bis schließlich erneut ein Sternenfeuer zündete.

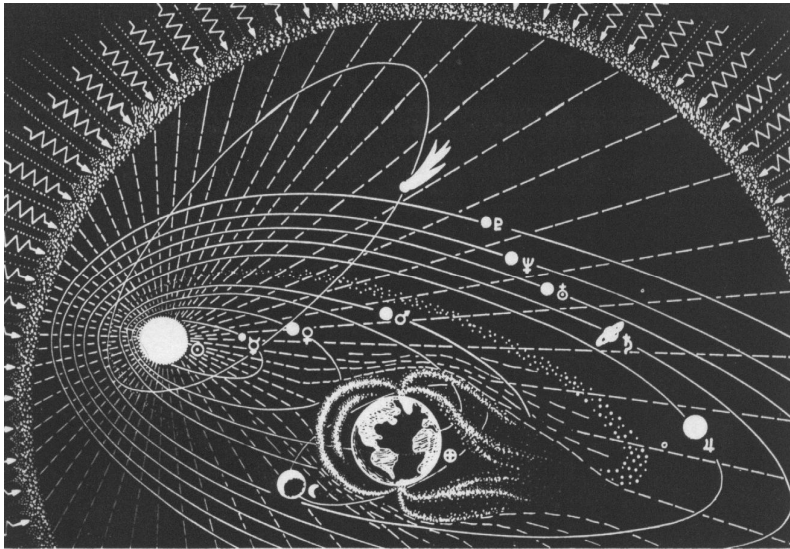
In der Umgebung der so entstandenen Sonne klumpt gleichzeitig Materie in einer großen Scheibe zusammen, dort

bildeten sich zunächst Gesteinsklumpen, die ständig weitere Materie aufsammelten und bis zur Größe von Planeten wuchsen. Einer davon war die spätere ERDE.

Schon in der Frühphase der Erde trat ein besonders dramatisches Ereignis ein: Ein Riesenbrocken schlug in den glühenden Protoplaneten ein. Er war etwa so groß wie der Mars. Die beiden Körper verschmolzen, glutflüssige Materie wurde herausgeschleudert in eine Umlaufbahn um die Erde – aus ihr bildete sich der MOND, den die Erde mit ihrer Schwerkraftwirkung festhielt.

„Unsere“ Sonne, unser Heimatstern, ist auf der einen Seite ein ganz normaler Durchschnittssterne, nicht zu groß (das Fusions-Feuer wäre in der Umgebung unerträglich; und die Lebensdauer wäre kurz), aber auch nicht zu klein (dann wäre die Leuchtkraft zu schwach und die Anziehungskraft, um z.B. den Mond oder die Atmosphäre festzuhalten, zu gering). Die Sonne hat genügend Brennstoffvorrat für 10 Milliarden Jahre; damit stand ausreichend Zeit zur Verfügung, dass auf einem Planeten in der Nachbarschaft Leben entstehen und sich entfalten konnte (bis zu hochentwickelten Lebewesen).

Unsere Sonne ist umgeben von mehreren Planeten. Einer davon – unsere Erde - hat die „richtige“ Größe (um seine Gashülle festzuhalten), befindet sich in der „richtigen“ Entfernung, und sie ist damit der einzige Planet im Sonnensystem, auf dem Wasser (Grundlage des Lebens, wie wir es kennen und uns vorstellen können) flüssig vorkommt. Weitere Kandidaten für lebensfreundliche Planeten wären grundsätzlich unsere „Nachbarn“ gewesen: Der Mars jedoch ist zu klein – er konnte seine Gashülle nicht festhalten, hat keine nennenswerten Atmosphäre. Die Venus besitzt zu viel Kohlendioxid in der Atmosphäre, was ihr einen unseligen Treibhauseffekt mit Temperaturen von 500 Grad beschert hat. Und beide haben keinen großen Mond, der ihre Drehachse stabil halten könnte.



Von der Sonne empfängt die Erde verschiedene Arten von lebensdienlicher Strahlung - Licht und Wärme – und diese hält die großen Kreisläufe auf der Erde in Gang (Wasser, Sauerstoff, Atmosphäre, Nahrungsketten).

Aber die Sonne erweist sich nicht nur lebensspendend durch die Einstrahlung von Energie auf die Erde. Sie ist es nicht weniger auch deshalb, weil sie uns vor der sonst tödlichen Strahlung schützt, die aus der Tiefe des Weltalls bis zu uns reicht. Von der Sonne geht nämlich nicht nur elektromagnetische Strahlung aus, sondern auch eine materielle Strahlung, die aus Teilchen besteht, z.B. schnellen Atomkernen und Elektronen, die mit tausendfacher Schallgeschwindigkeit losgeschickt werden (500 km/s). Dadurch entsteht der so genannte „Sonnenwind“ (sichtbar z.B. im „Schweif“ von Kometen, die immer von

der Sonne weg gerichtet sind, weil der Sonnenwind Kometenmaterie „wegbläst“). Der Sonnenwind breitet sich nach allen Seiten kugelförmig aus. Etwa in der Höhe der Bahn des Pluto, 6 Milliarden Kilometer von uns entfernt, prallen die von der Sonne abgestrahlten Teilchen auf die „interstellare Materie“, auch kosmische Höhenstrahlung genannt – energiereiche Teilchen, die aus den Weiten des Kosmos kommen und eine massive Bedrohung für das Leben auf der Erde wären. Hier, weit draußen am Rande des Sonnensystems, treffen sie nun auf die Teilchen des Sonnenwinds, werden abgebremst und weitgehend neutralisiert. So entsteht ein Schutzschirm um das Sonnensystem. Diese Kugel mit ihren 12 Milliarden Kilometern Durchmesser ist das große Raumschiff, in dem wir durch den Kosmos fliegen; kleiner geht es offenbar nicht ...

Aber stellt der energiereiche Teilchenstrom von der Sonne (Sonnenwind) nicht auch eine Gefahr für das Leben auf der Erde dar? Ja, aber im Inneren des Sonnensystems gibt es eine zweite Hülle, die den Planeten Erde schützt (und nur 200.000 km Durchmesser hat). Der Sonnenwind ist ionisiert (solares Plasma) und damit magnetisch beeinflussbar. Und er wird durch das Magnetfeld der Erde abgelenkt, die Teilchen fliegen zum größten Teil in sicherem Abstand um die Erde herum. Die Erde verdankt ihr Magnetfeld dem Mond (davon später).

Noch eine weitere Doppelwirkung hat die Sonnenstrahlung. Eigentlich sind bestimmte Anteile der ultravioletten Strahlung, die von der Sonne auf die Erde eingestrahlt werden, gefährlich für Lebewesen. Dass davon nur ein geringer Teil die Erdoberfläche erreicht (und bei Menschen für Sonnenbrand und Hautkrebs sorgt), liegt daran, dass gerade diese harte UV-Strahlung bewirkt, dass in den höheren Schichten der Atmosphäre (20 bis 50 km über unseren Köpfen) jeweils drei Sauerstoffatome sich zu Ozon-Molekülen verbinden. Und diese „Ozonschicht“ fängt ankommende UV-Strahlung ein (Absorption) und hält sie so von der Erdoberfläche fern.

(Zur langfristigen Entwicklung der Sonne siehe Kap. 5.2.1.)

7. Der Mond und das Leben auf der Erde

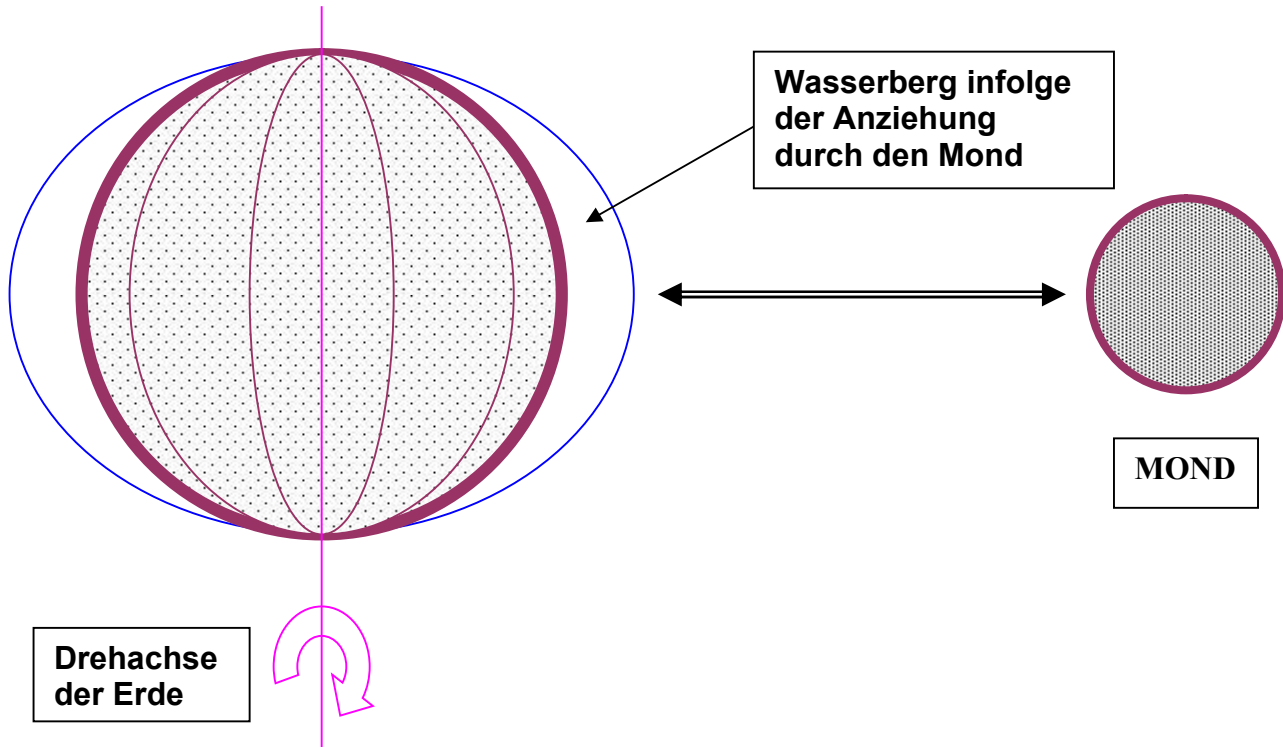
Der (Erd-)Mond verdankt seine Entstehung einer kosmischen Kollision: Schon in der Frühphase der Entstehung der Erde schlug ein marsgroßer Körper in die Ur-Erde ein, die ins All geschleuderte glutflüssige Masse wurde von der

Erde festgehalten und aus ihr bildete sich der Mond. Der einschlagende Himmelskörper wird heute „Theia“ genannt (das ist in der Mythologie die Mutter der Mondgöttin Selene).

Nach seiner Entstehung war der Mond der Erde 15 Mal näher als heute. Unter der Wirkung gewaltiger Gravitationskräfte hob und senkte sich damals die Erdkruste bei jedem Umlauf um 7 Meter, schwere lokale Beben wurden ausgelöst und das Wasser der Ozeane bildete gewaltige Flutberge.

Auch heute noch dreht sich die Erde ständig unter dem „Wasserberg“ durch, den die Gravitationswirkung des Mondes hervorruft, und sie wird dabei allmählich abgebremst. (Zugleich entsteht auf der mondabgewandten Erdseite, infolge der dort stärkeren Fliehkräfte durch die Drehung des Systems Erde-Mond um einen gemeinsamen Schwerpunkt, ein zweiter Wasserberg.) Gleichzeitig wird der Mond dabei beschleunigt, und er entfernt sich ständig weiter von der Erde (derzeit um vier Zentimeter pro Jahr). Auch die Eigen-Umdrehung des Mondes wird durch die Gravitation abgebremst. Er wendet der Erde heute schon immer die gleiche Seite zu. Auch die Erde dreht sich immer langsamer, die Tage werden immer länger, und in ferner Zukunft wird auch sie ihrem Mond immer die gleiche Seite zuwenden.

EBBE und FLUT



Der Mond hält heute die Drehachse der Erde in stabiler Lage. Diese ist um 23,4 Grad (in Bezug auf die Ebene der Umlaufbahn, auf der die Erde um die Sonne kreist) geneigt - dadurch wird einmal die Nordhalbkugel und einmal die Südhalbkugel stärker von der Sonne beschienen. So entstehen Sommer und Winter. Ohne Mond würde die Erde im Raum torkeln, es gäbe keine stabilen Jahreszeiten. Das Klima würde sich ständig und abrupt ändern (Vereisungen, Dürre, Überflutungen). Ohne stabile Achse wäre kaum Leben auf der Erde möglich (der Mars z.B. hat keinen großen Mond, seine Achse schwankt folglich stark).

Der Mond sorgt auch für das Magnetfeld der Erde (Schutz vor der Teilchenstrahlung der Sonne). Im Inneren der Erde befindet sich ein fester Metallkern, der von einer Zone flüssiger Metalle umgeben ist. Bei der Drehbewegung der Erde wirkt die Gravitation des Mondes auf diese flüssige Zone, die sich bewegt. Wo elektrisch geladenes Metall sich bewegt, kommt es zu einem „Dynamo-Effekt“, elektrische Ströme und Magnetfelder treten auf, und letztere lenken die geladenen Teilchen des Sonnenwindes um die Erde herum.

Kurz: auch ohne „ihren“ Mond wäre die Erde unbewohnbar.

8. Asteroiden, Kometen und Meteoriten

Schon in der Entstehungszeit des Sonnensystems gab es gewaltige Kollisionen:

Der Erd-Mond entstand im Ergebnis des Zusammenstoßes der Ur-Erde stößt mit einem mars-großem Himmels-Körper.

Der Merkur hat heute eine viel zu große Dichte, als eigentlich zu erwarten wäre – wahrscheinlich wurden bei ihm die äußeren leichteren Gesteinsschichten durch kosmische Einschläge weggesprengt.

Venus und Uranus drehen sich „falsch“ herum, d.h. anders als die übrigen Planeten im Sonnensystem – vielleicht sind sie durch gigantische Kollisionen „umgedreht“ worden.

Auch heute noch sind in unserer kosmischen Umgebung unzählige Gesteinsbrocken unterwegs, allerdings sind sie relativ klein, leuchten nicht, und sind so nur schwer und spät zu entdecken. Aber bewegen sich schnell (können in 3 Stunden die Entfernung vom Mond bis zur Erde überwinden) und sie können hin und wieder auch die Bahn der Erde kreuzen.



Im März 2004 kam es zur nächsten bisher beobachteten Begegnung eines Asteroiden mit der ERDE: in 40.000 km Abstand flog ein Asteroid von 30 Metern Durchmesser an der Erde vorbei, also weit innerhalb der Bahn Erde – Mond (380.000 km). Die NASA schätzte, dass es zu einer solchen Beinahe-Begegnung wahrscheinlich aller 2 Jahre kommt, wir die meisten davon aber nicht wahrnehmen.

Am 23.3.1989 kreuzte ein weit größerer Asteroid die Erdbahn. Er flog 74000 km/h schnell und war bei seiner größten Annäherung nur 650.000 km entfernt, hatte 500 m Durchmesser und wog 45 Millionen Tonnen.

Bisher wurden mehr als 120 große Einschlagkrater auf der Erde gefunden. Schätzungen besagen, dass sich etwa alle 2000 bis 10000 Jahre ein Asteroid von 100 Metern Durchmesser mit der Erde zusammenprallt, alle 1 bis 2 Millionen Jahre einer mit 1 km Durchmesser und einer mit 10 km Durchmesser ein Mal in 100 Millionen Jahren ...

In Deutschland ist z.B. im Nördlinger Ries heute noch ein Krater erkennbar, wo vor 14 Millionen Jahren ein Meteorit mit einem Kilometer Durchmesser eingeschlagen hat.

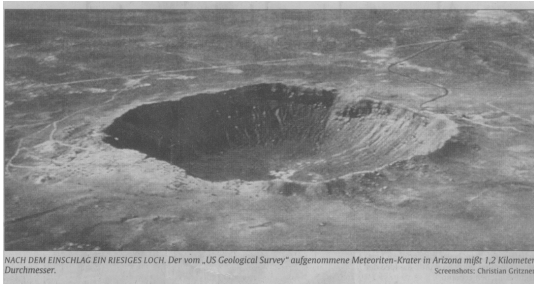
Vor 65 Millionen Jahren hat der bisher letzte „große Treffer“ die Ära der Saurier beendet. Ein 10 km großer Meteorit prallte mit einer Geschwindigkeit von 70.000 km/h bei der Halbinsel Yukatan (im heutigen Mexiko) auf die Erde. Er drang bis zu 20 km in die Erdkruste ein, dichter Staub verdunkelte die Erde, es kam weltweit zu Bränden, extrem saurer Regen fiel, und ein globaler Winter wurde ausgelöst. Interessant ist dazu aber vielleicht auch folgende Berechnung: Bei diesem Crash wurden etwa 500 Millionen Steine unterschiedlicher Größe aus der Erdkruste ins All geschleudert. 30 davon dürften (statistisch-rechnerisch) den Jupitermond Titan getroffen haben, sodass sich dort irdische Materie (und – sehr spekulativ - vielleicht auch irdische Lebenskeime) befinden könnten ...

Seit etwa 600 Millionen Jahren leben mehrzellige Pflanzen und Tiere auf der Erde. Es gab in diesem Zeitraum mindestens fünf große Einschnitte in der Geschichte des Lebens auf der Erde („BIG FIVE“ – die fünf großen Katastrophen).

Jedes Mal wurden etwa zwei Drittel aller Arten ausgelöscht. Aber danach entfaltete sich jedes Mal neues Leben. Wenn sich die Erde erholt hatte, schlug die Entwicklung jedes Mal eine ganz neue Richtung ein, neue Lebewesen erhielten eine Chance.

Über die Ursachen dieser Katastrophen wird viel spekuliert. Waren es Klimaveränderungen? Oder Vulkanausbrüche? Oder Sternexplosionen in der Nähe der Erde?

Vor allem für das 4. und 5. solche Ereignis werden aber vorrangig Meteoriten-Einschläge diskutiert, die vor 200 und vor 65 Millionen Jahren stattgefunden haben.



NACH DEM EINSCHLAG EIN RIESIGES LOCH. Der vom „US Geological Survey“ aufgenommene Meteoriten-Krater in Arizona misst 1,2 Kilometer Durchmesser.
Szenenbild: Christian Gitzner

Bestehen aktuelle Gefahren durch kosmische Kollisionen?

Ein Gürtel aus Felsbrocken befindet sich zwischen Mars und Jupiter (Asteroidengürtel). Man schätzt, dass dort 10.000 Brocken zwischen 1 km und 950 km Durchmesser unterwegs sind.

Weiter entfernt, am Rande unseres Sonnensystems, jenseits des Neptuns beginnend, befindet sich der Kuipergürtel, und noch weiter draußen (jenseits des Pluto) die so genannte Oortsche Wolke.

Im Kuipergürtel wurden erst in den letzten Jahren Himmelskörper entdeckt, die größer sind als der „Planet“ Pluto. Wenn zum Beispiel ein Nachbarstern der Sonne im Abstand von weniger als 1 Lichtjahr an der Sonne vorbeizieht (das geschieht in Jahrhundertmillionen durchaus ab und zu), dann würde er die Oortsche Wolke durcheinanderwirbeln und Asteroiden könnten auf Kollisionskurs zur Erdbahn gebracht werden.

Aber trotz der ständigen Bedrohung gibt es auch Gutes zu vermelden: Die Erde hat einen mächtigen Beschützer, den Jupiter. Er sammelt durch seine Gravitationswirkung wie ein großer Staubsauger die Brocken ein, die ins Innere des Sonnensystems unterwegs sind (zuletzt war das spektakulär zu sehen, als die Bruchstücke des Kometen Shoemaker-Levy in seine Atmosphäre einschlugen).

Kollisionen mit großen Asteroiden bedeuteten immer einen dramatischen Einschnitt, eine Katastrophe in der Erdgeschichte. Aber immer lässt sich nach großen Einschlägen in der Vergangenheit nachweisen, dass neues Leben sich entfalten konnte, neue Entwicklungswege sich eröffneten.

9. „Und darüber kann man sich nicht genug wundern“

Wir sind am Ende einer weiten Reise angekommen

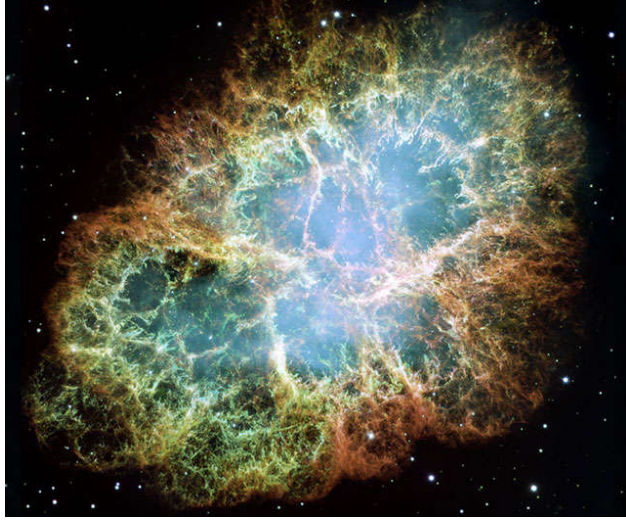
Wir haben dem Anfang von allem nachgespürt, in dem aus der Ordnung der Naturgesetze heraus ein Universum ge-

boren wurde. Es war zunächst eine sehr einfache Welt (bei diesem Aufwand!). Aber damit begann eine Geschichte, die immer wieder Überraschungen bereit hielt, bei der immer wieder Neues begann.

Es war ein langer Weg, der notwendig war vom Urknall bis zur Existenz des Menschen, eine Gratwanderung, auf der es immer wieder auch Katastrophen gab. Aber in jeder Krise stecken nicht nur Gefahren, sondern auch Chancen.

In dem Bemühen, mit Hilfe der Naturwissenschaft etwas davon zu verstehen, wie die Welt aufgebaut ist und wie sie funktioniert, kommen Menschen ins Nachdenken.

Und dabei stellen sich die gleichen tiefen Fragen, die früher auch die Astrologie beantworten wollte:



WOHER ? (Ursprung)

WOHIN ? (Ziel)

WARUM, WOZU (Sinn) ?

Welche Deutung der Welt liegt MIR jetzt nahe?

Überwiegen für mich die Gefühle von Ohnmacht, Leere, Verlorenheit (sind wir doch Zigeuner am Rande des Universums)?

Oder empfinde ich stärker Geborgenheit und Dankbarkeit

(für ein Universum, das unsere Existenz ermöglicht hat)?

Oder begegne ich den Einsichten der Naturwissenschaft eher

neutral-interessiert: mit Staunen, mit Neugier, mit der nüchternen

Frage: Was steckt dahinter? - die Frage, die Menschen

immer wieder vorangetrieben hat ...

Nobelpreisträger Manfred Eigen berichtet davon, dass sein Lehrer, der Göttinger Physiker Pohl, in seinen Vorlesungen – nachdem er einen naturwissenschaftlichen Sachverhalt erklärt hatte - zu sagen pflegte: „Und darüber kann man sich gar nicht genug wundern.“ ...

Und ähnlich geht es heute vielen Physikern, die sich mit der Entstehung und der Geschichte des Kosmos beschäftigen.

Sie denken über das so genannte „**anthropische Prinzip**“ nach, staunen über so viele „glückliche Zufälle“ und fragen sich: Ist das Universum vielleicht maßgeschneidert für den Menschen? Alles läuft scheinbar zielstrebig auf die Existenz des Menschen zu.

Es hätte an so vielen Stellen in der Entwicklung des Kosmos auch völlig anders weitergehen können, oder Stillstand wäre möglich gewesen - der Lauf, den die Welt genommen hat, ist physikalisch nicht zwingend vorgegeben.

WARUM das Universum so erstaunlich lebensfreundlich ist und unsere Erde und ihre Bewohner hervorgebracht hat - auf solche Fragen, die Menschen zu allen Zeiten bewegt haben, hat die Naturwissenschaft keine Antwort. Dafür ist Physik nicht zuständig.

Schullehrbuch zum Themenbereich „Kosmologie – Urknall“

„Was oder wer hat die Ausgangsbedingungen gesetzt? ... physikalische Letztbegründungen sind nicht möglich ...

Man kann das Auftauchen der Energie als „Schöpfungsakt“ aus dem „Nichts“ im Sinne der christlichen Religion deuten ...

das Urknall-Modell schließt einen „Schöpfer“ nicht aus ...

Hat unser Leben in diesem Universum einen Sinn? Eine Antwort kann nicht aus den physikalischen Erkenntnissen abgeleitet werden ...

Fragen nach den Zielen und Maßstäben unseres Handelns ... solche „praktischen Fragen der Philosophie“ sind nicht mit Hilfe der ... Methode der Naturwissenschaft zu beantworten ...“

(W. Kuhn: Physik, Klasse 12/13 Band 2, Westermann, S.517ff)

Hier ist Raum für philosophische, für religiöse Antworten. Wenn ich bekenne, dass für mich Gott diese Welt gewollt und ins Dasein gerufen hat, ist das eine zulässige persönliche Deutung, die durch naturwissenschaftliche Fakten nicht in Frage gestellt wird.

**„Das Weltall ist uns so unwahrscheinlich günstig gesinnt,
dass es geplant zu sein scheint.“**

(Andreas Tammann, Prof. für Astronomie, Universität Basel)

**„Die Schöpfungsgeschichte sagt uns nicht, wie der Himmel
funktioniert, sondern wie man dorthin kommt.“**

George Coyne, Astrophysiker, Leiter der päpstlichen Sternwarte

7. Anhang

Entfernungsmessungen im Kosmos		
Methode	astronomische Objekte	Entfernungsbereich
Parallaxe (irdische Basislinie)	Planeten	1 Lichtstunde
Parallaxe (Erdbahn als Basislinie)	nahe Sterne	50 Lichtjahre
statistische Parallaxe (Sonnenbahn als Basislinie)	Sterngruppen	1000 Lichtjahre
Perioden-Leuchtkraft-Beziehung	Cepheiden	65 Millionen Lichtjahre
Supernovae Typ Ia	Supernova-Explosion	einige Milliarden Lichtjahre
hellste Haufengalaxie	Galaxien-Haufen	10 Milliarden Lichtjahre

1. trigonometrische Methoden (Parallaxe):
Anpeilen eines entfernten Objekts unter verschiedenen Blickwinkeln; als Basis werden genutzt:
a) eine Linie zwischen zwei Standorten auf der Erde
b) unterschiedliche Positionen der Erde bei ihrem Umlauf um die Sonne
c) unterschiedliche Positionen der Sonne auf ihrer Bahn

2. entferntere Objekte erscheinen (bei bekannter Leuchtkraft) dunkler:
a) bestimmte Sterne („veränderliche Cepheiden“) ändern ihre Leuchtkraft streng periodisch
b) Supernova Typ Ia: in einem Doppelsternsystem saugt ein „weißer Zwerg“ (mit etwa 1 Sonnenmasse) Materie von seinem Partnerstern ab, bis er beim Erreichen einer kritischen Masse (1,4 Sonnenmassen) mit einem charakteristischen Lichtblitz explodiert
c) in einem durchschnittlichen Haufen von Galaxien wird die mit der größten Leuchtkraft gesucht

Materiedichte im Kosmos	
Art der Materie	Dichte (Gramm pro Kubikzentimeter)
Weltall (durchschnittlich)	10^{-30} (so zu lesen: Null, Komma ... und dann kommt nach 29 Nullen die erste Ziffer !)
Vakuum	10^{-18}
Wasser	1
Ziegelstein	1,6
Kern der Sonne	158
Weißer Zwerg	10^5 (so zu lesen: eine 1 mit 5 Nullen dahinter, also 100.000 !)
Neutronenstern	10^{15}
Schwarzes Loch	10^{27}

Kosmische Kennziffern

(Bild der Wissenschaft 8/2003 S.51)

Eigenschaften	Wert	Unsicherheit
Alter des Universums (Milliarden Jahre)	13,7	$\pm 0,2$
Anteil der „normalen“ Materie (Prozent)	4,4	$\pm 0,4$
Anteil der „kalten, dunklen“ Materie (Prozent)	23	± 4
Anteil der gesamten Materie (Baryonen und dunkle Materie) an der Gesamtdichte (Prozent)	27	± 4
Anteil der „dunklen Energie“ an der Gesamtdichte (Prozent)	73	± 4
Temperatur der kosmischen Hintergrundstrahlung (Kelvin)	2,725	$\pm 0,002$

Sind „Zeitreisen“ möglich?

Angenommen, es sollte auf irgendeine Weise ein Mensch in das Jahr 1800 versetzt werden. Dieser Mensch besteht aus Atomen. Diese Atome gab es im Jahr 1800 schon. Sie waren damals Bestandteile anderer Strukturen – Wasser, Luft, Mineralien, Pflanzen, Tiere. Wenn unser Versuchsmensch nun in diesem Jahr auftaucht, dann müsste jedes seiner Atome doppelt existieren, und das an verschiedenen Orten. Wohlgedenkt: Hier geht es nicht um gleichartige, sondern um identische Atome! Einer der einfachsten physikalischen Grundsätze sagt aber: Ein Körper kann nicht gleichzeitig an verschiedenen Orten sein.

(Wilfried Bresch, Leserbrief in Bild der Wissenschaft 6/2006 S.16)

Abschätzung der Zahl N kommunikationsbereiter Zivilisationen in der Milchstraße:

$$N = R \times f_p \times n_e \times f_i \times f_i \times f_c \times L$$

R = Sternentstehungsrate (neue Sterne pro Jahr in der Galaxis)

f_p = Anteil der Sterne mit Planetensystem in Prozent

n_e = Zahl der Planeten in einem Planetensystem mit lebensgeeigneten Bedingungen

f_i = Wahrscheinlichkeit dafür, dass sich dort Leben auch wirklich entwickelt hat

f_i = Wahrscheinlichkeit, dass Leben Intelligenz entwickelt hat

f_c = Wahrscheinlichkeit, dass diese intelligenten Wesen auch Fähigkeit zur interstellaren Kommunikation haben

L = Zeit in Jahren, während der eine solche Kultur um Kontakt bemüht ist

	R	f_p	n_e	f_i	f_i	f_c	L	N
optimistisch	10	1,0	1	1	1	0,2	10^8	2×10^8
zurückhaltend	10	0,5	1	1	1	0,2	10^6	10^6
pessimistisch	1	0,4	1	1	1	0,1	10^2	4

zur Einordnung:

bei $N = 10^8$ (= 100 Millionen) beträgt die durchschnittliche Entfernung in Lichtjahren zwischen zwei Planeten, auf denen intelligente Wesen leben, 50 Lichtjahre,

bei $N = 10^2$ (= 100) beträgt die durchschnittliche Entfernung in Lichtjahren zwischen zwei Planeten, auf denen intelligente Wesen leben, 5300 Lichtjahre

(Lesch/Müller: Big Bang zweiter Akt – Auf den Spuren des Lebens im All, Bertelsmann München 2003, S.339)

Anthropisches Prinzip:

Wichen in unserem Universum die Werte für die Naturkräfte (Naturkonstanten) nur leicht von den tatsächlich beobachteten Größen ab, so wäre Leben und damit der Mensch nicht möglich. Diese Erkenntnis ist als schwaches anthropisches Prinzip bekannt geworden und in dieser Form kaum bestritten.

Andere, stärkere Formen des anthropischen Prinzips gehen viel weiter, bis hin zur Behauptung, die physikalischen Grundkonstanten des Universums seien von einem höheren Willen so aufgestellt worden, dass menschliches Leben entstehen musste. ;

(Hansjürg Geiger: Auf der Suche nach Leben im Weltall, Wie Leben entsteht und wo man es finden kann, Franckh-Kosmos Verlag Stuttgart 2005, S.12)

Wichtige offene Fragen der Kosmologie

Warum gibt es überhaupt etwas und nicht nichts?

Woher kommen die Naturgesetze?

Was war vor dem Urknall?

Was geschah in der ersten Millisekunde nach dem Urknall?

Gibt es mehr als drei Raumdimensionen?

Was ist Zeit?

Woraus besteht „dunkle Materie“?

Was ist „dunkle Energie“?

Gibt es andernorts im Universum intelligentes Leben?

Wird das Universum ewig existieren?

Gibt es Parallel-Universen?

Wie sich die Sonne verändert

Stadium	Alter (Milliarden Jahre)	Leuchtkraft (heute=1)	Oberflächen-Temperatur (Kelvin)	Radius (heute=1)	Masse (heute=1)
Erstes Stadium der Hauptreihe	0,00	0,7	5596	0,89	1,000
Gegenwart	4,58	1,00	5774	1,00	1,000
Wärmstes Stadium der Hauptreihe	7,13	1,26	5820	1,11	1,000
Letztes Stadium der Hauptreihe	10,00	1,84	5751	1,37	1,000
Maximalgröße Roter Riese	12,17	2176	2606	256	0,668
Beginn des Helium-Brennens im Kern	12,17	53,7	4667	11,2	0,668
Maximum des RGB-Stadiums (Red Giant Branch)	12,30	2090	3200	149	0,546
Letzter thermischer Puls des RGB-Stadiums	12,30	4170	3467	179	0,544

in 1,6 Mrd a wird die Sonne 15% heller sein als heute; die irdischen Temperaturen steigen dann auf 60 bis 70 Grad Celsius; zu heiß für Leben; für höheres Leben kritisch: 30 Grad Celsius
 in 7 Mrd Jahren wird die Erde nicht mehr rotieren, sondern der Sonne ständig die gleiche Seite zuwenden, auf der geschmolzenes Gestein verdampft (bis 2200 Grad); Rückseite ist von einer mächtigen Eiskappe bedeckt (bis minus 240 Grad);
 (bdw 11/07 S.44ff; 52ff)

(Wir sind Sternenstaub)

*Atome ferner Sterne kommen zu uns. Sie sind Träger des Lebens.
 Der Kohlenstoff deines Körpers war in der leuchtenden Atmosphäre eines Sterns.
 Und er bestand nicht von Anfang an, der Kohlenstoff deines Körpers
 formte sich in Sternen, die starben und auseinanderstoben
 und ihn wie Pollen in den Zwischenraum streuten, und so kam er zur Erde.
 Das Leben stammt aus dem Sterben der Sterne.
 Das Eisen deines Blutes, vor Millionen von Jahren war es in einem riesigen Stern.
 Oder das Gold der Goldschmiede: aus der Explosion von Supernovas.
 Seen, Leguane, Teleskope, alles aus dem Sternenfeuer.
 Wenn die Sterne auseinanderstieben,
 streuen sie wie Sporen die Elemente des Lebens. Tod und Geburt.
 Oder: Wiedergeburt aus dem Tod.
 Sie sind wie Atomenergie - wie sehen sie dort oben -,
 Energie, die die Rosen auf der Erde öffnet.
 Welche Verwandtschaft gibt es zwischen den Sternen, den Blumen und deinem Gesicht,
 freundliches Mädchen, weißt du es denn?
 Noch das Gas zwischen den Sternen hat die gleiche Zusammensetzung
 wie eine Bakterie und ein Mädchen.
 (aus dem "Cántico cósmico" von Ernesto Cardenal)*

"We are stardust, billion years of carbon"
 (Wir sind Sternenstaub, Kohlenstoff, der Milliarden Jahre alt ist ...)
 sangen Crosby, Stills, Nash & Young in Woodstock.
 Von „Sternenstaub“ sprach auch schon der romantische Dichter Novalis im 18. Jahrhundert.

Sonne, Mond und Sterne ... in der BIBEL:

1. Buch Mose 1,14ff: „... Lichter am Himmelsgewölbe, um Tag und Nacht zu scheiden. Sie sollen Zeichen sein und zur Bestimmung von Festzeiten, von Tagen und Jahren dienen ... über die Erde hin leuchten.“
5. Buch Mose 17,3ff: „... wer anderen Göttern dient und sich vor ihnen niederwirft – und zwar vor der Sonne, dem Mond oder dem ganzen Himmelsheer (den Sternen JK), was ich verboten habe - ... dann sollst du diesen Mann oder diese Frau ... steinigen.“
- Matth. 2,1ff: „... kamen Sterndeuter aus dem Osten nach Jerusalem und fragten: Wo ist der neugeborene König der Juden? Wir haben seinen Stern aufgehen sehen und sind gekommen, um ihm zu huldigen. ... und der Stern zog vor ihnen her bis zu dem Ort wo das Kind war (Jesus in Bethlehem JK) ...“

Die verrücktesten Sterne (bdw 10/2007 S.42ff)	
Eigenschaft	Wert
Der größte Stern	VY Canis Majoris Überriese 1,2 bis 1,5 Milliarden km Durchmesser; etwa 2000 Sonnenradien
Der hellste Stern	LBV 1806-20 38.000.000-fache Leuchtkraft der Sonne
Der schwerste Stern	Eta Carinae 100 bis 150 Sonnenmassen
Der schnellste Stern	PSRJ1748-2446ad Pulsar; 716 Umdrehungen je Sekunde
Das kompakteste Paar	4U1820-30 Doppelsternsystem; 1 Umdrehung dauert 11 Minuten; Abstand 130.000 km

ASTROLOGIE

Astrologie ist, in allgemeinsten Form ausgedrückt, die Deutung räumlicher Verhältnisse und zeitlicher Abläufe in unserem Sonnensystem. Sie beruht auf der Grundannahme, dass die sich aus solchen Verhältnissen ergebenden Rhythmen im Zusammenhang stehen mit physikalischen, biologischen und psychischen Abläufen in Organismen auf der Erde.

Das bewegte Universum

Vom verspotteten "Big Bang" über die Geburt der Sterne bis zum heutigen Sonnensystem: eine sehr kurze Chronik der vergangenen 14 Milliarden Jahre.

Von Max Rauner

Am Anfang war Häme: Als »Big Bang«, zu Deutsch Urknall, verspotteten Astronomen in den fünfziger Jahren die noch junge Idee, der zufolge das Universum in einem unvorstellbar dichten Feuerball geboren wurde und sich seitdem unaufhörlich ausdehnt. Hatten nicht alle großen Naturforscher von Aristoteles über Newton bis Einstein an ein starres Weltall geglaubt? Doch die Indizien für die Urknalltheorie häuften sich, heute zweifelt kaum noch ein Kosmologe an ihr.

Geknallt hat damals, vor rund 14 Milliarden Jahren, allerdings nichts. Zum Zeitpunkt null gab es noch keine Luft, durch die sich Schall hätte ausbreiten können. Nur Energie in unvorstellbar hoher Konzentration: alle Materie des beobachtbaren Universums, komprimiert auf einem Punkt kleiner als ein Sandkorn, einhundert Quintillionen (10^{32}) Grad Celsius heiß. Über den ersten Bruchteil von 10^{-43} Sekunden dieser Schöpfungsgeschichte reden Physiker allerdings nicht so gern, die Theorie dafür ist noch in Arbeit. Mit Aussagen über die Zeit danach fühlen sie sich sicherer.

Im ersten Augenblick, 10^{-35} Sekunden nach null, bläht sich das Universum schlagartig auf wie ein Luftballon an einer Pressluftflasche – Kosmologen reden von Inflation (englisch für Aufblähung). Diese Phase dauert einen winzigen Bruchteil der ersten Sekunde. Anschließend verläuft die Ausdehnung gemächlicher. Strahlung erfüllt das All, Elementarteilchen wie Quarks und Elektronen schwirren umher. Innerhalb der ersten Sekunde formieren Quarks sich zu Wasserstoff-Atomkernen, Minuten später auch zu etwas komplexeren Helium-Atomkernen. Diese toben durchs Universum wie Sandkörner im Wüstensturm. Das All ist heiß und undurchsichtig, Lichtteilchen kollidieren ständig mit Materieteilchen.

Erst nach 400.000 Jahren legt sich der Sturm. Die Atomkerne haben sich mit den Elektronen zu neutralen Atomen vereinigt, Licht kann sich fortan ungehindert ausbreiten. Aus dieser Zeit stammt die Mikrowellenstrahlung, die noch heute das Universum erfüllt – als Echo des Urknalls.

Allerdings ist das All noch recht langweilig. Erst allmählich klumpt die Materie dank der Schwerkraft zu größeren Wolken zusammen. Etwa 400 Millionen Jahre nach dem Urknall ist es so weit: Die Wolken kollabieren. In ihrem Zentrum verschmelzen Atomkerne und strahlen dabei Licht aus. In schneller Folge entstehen so die ersten Sterne, alle paar Stunden ein neuer.

Aber die erste Generation lebt nur kurz. Nach wenigen Millionen Jahren sind die Sterne ausgebrannt, implodieren und schleudern ihr Inneres wieder ins All, darunter auch Elemente wie Sauerstoff, Kohlenstoff, Eisen, die durch Verschmelzen leichterer Atome entstanden sind. Die Sternenreste dienen als Baustoff für die nächste Generation (auch die Atome, aus denen der Mensch besteht, entstanden einst in Sternen). Zwei weitere Sternenerationen hat das Universum seitdem hervorgebracht.

Unsere Sonne entstand neun Milliarden Jahre nach dem Urknall und gehört zur Enkelgeneration. Sie ist jetzt rund fünf Milliarden Jahre alt und wird noch mal so lange leben, dann ist sie ausgebrannt. Sie wird sich vorübergehend auf mehr als das Hundertfache ihrer heutigen Größe aufblähen und die Erdkruste aufschmelzen. Dann endet sie als »weißer Zwerg«, wenig größer als die Erde und kaum heller als der Vollmond. Alle übrigen Sterne im Universum sterben einen ähnlichen Tod oder enden als Schwarze Löcher. Das Universum dehnt sich weiter aus – bis in alle Ewigkeit.

(Quelle: DIE ZEIT, 29.03.2007 Nr. 14 S. 29ff)

Quellen und weiterführende Literatur:

Lesch, H.; Müller, J.: Kosmologie für Fußgänger, Goldmann München 2001

Lesch, H.; Müller, J.: BIG BANG zweiter Akt, C. Bertelsmann München 2003

GEOWissen Nr.33: Urknall-Sterne-Leben Die Geheimnisse des Universums, Hamburg 2004

GEOKompakt Nr.6: Das Universum, Hamburg 2006

Arnold Benz: Die Zukunft des Universums – Zufall, Chaos, Gott, Patmos Düsseldorf 1997

Hoimar von Ditfurth: Kinder des Weltalls – Der Roman unserer Existenz, dtv München 1982 ff.

Joachim Bublath: Geheimnisse unseres Universums, Droemer München 1999

Joachim Bublath: Chaos im Universum, Droemer München 2001