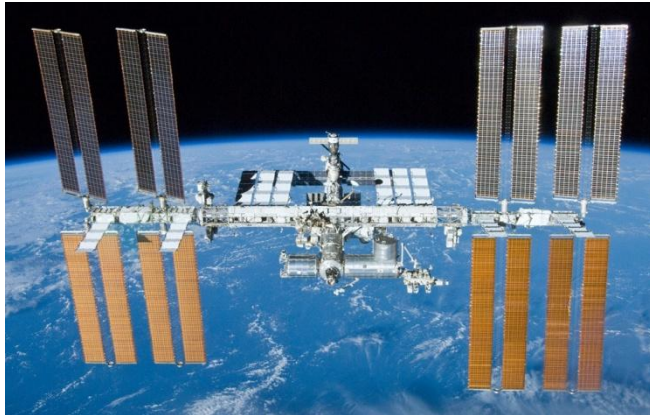


24.09.2016

# *Erdball und Universum*

Es ist alles noch viel gewaltiger, als ich es mir vorgestellt habe.

Unser Heimatplanet hat inzwischen allerdings viel von seiner ehemals gigantischen Größe eingebüßt.



Waren Fern-Segelreisen vor einigen 100 Jahren noch ein monatelanges, angsterfülltes Wagnis in völlig unbekannten Zonen, so wurde bald eine Umrundung des Globus in nur 80 Tagen denkbar. Heute könnte man es locker in weniger als 80 Stunden schaffen. Selbst als alternder Rentner könnte ich mir das noch zumuten. Die Internationale

Weltraumstation ISS braucht sogar nur rund 90 Minuten.

Ganz anders sieht es dagegen für mich aus, wenn ich versuche, mir meinen Platz im uns umgebenden Universum vorzustellen.

Unendlich? Das ist einfach keine Zahl, womit man etwas anfangen kann. Der Verstand wird flugs ausgeschaltet und das Thema abgehakt.



Dank dem Hubble-Weltraumteleskop kann man inzwischen aber konkretere Zahlen nennen. Die sind so gewaltig, dass man vor Ehrfurcht erstarren möchte. Entfernungen sind nur noch in Lichtjahren messbar. Die Ausdehnung des Universums hält

immer noch an, beschleunigt sich sogar. Über die tatsächliche Ausdehnung gibt es kaum Aussagen. Es müssen aber mehr als 10 Billionen Lichtjahre sein. Das ist so unvorstellbar, dass mir „unendlich“ schon fast lieber wäre.

Bevor ich aber versuche, mich so Begriffen wie „Raum-Zeit-Kontinuum“, „gekrümmter Raum“, „schwarzes Loch“, „Plasma“, ( und was es sonst noch an Astro-Schlagworten gibt) zu nähern, bleibe ich erst mal bei einigen irdischen Phänomenen. Die sind für mich immer noch etwas rätselhaft, obwohl sie unser Leben bestimmen und ihre Enträtselung zum Verständnis unserer Existenz beitragen würde.

Da sind so einfache Sachen, wie Erdmagnetismus, Massenanziehung/Gravitation, Gezeiten, Kontinentalverschiebung.

Jedes Kind weiß von dem Magnetfeld der Erde, und dass es uns vor kosmischer Strahlung schützt, aber wie entsteht es?

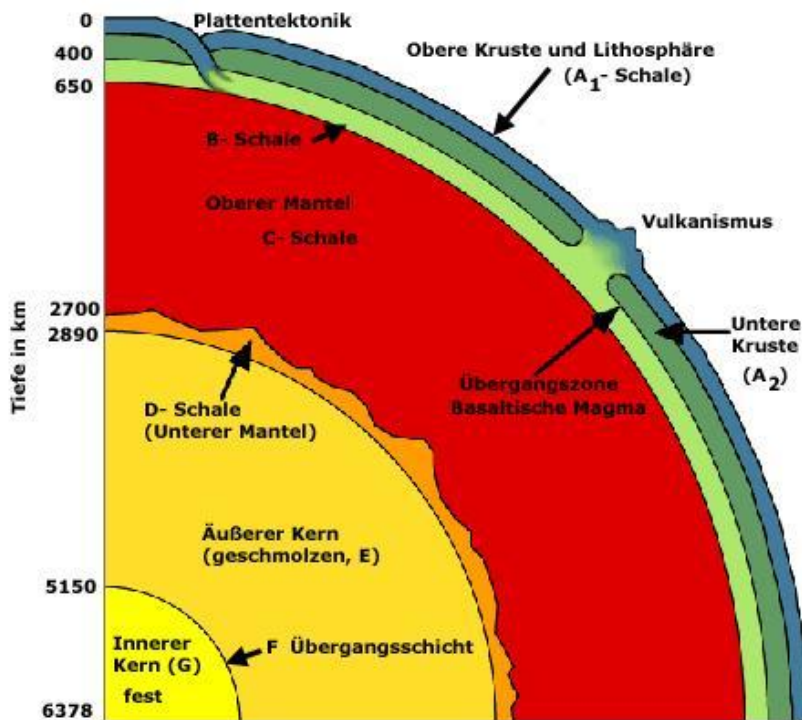
Jedes Kind weiß, dass die Kontinente sich verschieben, aber wodurch werden sie angetrieben?

Jedes Kind weiß, dass Ebbe und Flut durch die Anziehungskraft des Mondes entsteht. Problematisch wird es erst, wenn man genauer hinsieht.

## Das Magnetfeld der Erde

Keiner ist je dort gewesen, wo das Erdmagnetfeld entsteht. Das tiefste Loch, das je gebohrt wurde, reicht nur bis 12,3 km (das ist 0,2% der Strecke bis zum Erdmittelpunkt). Trotzdem hat man recht genaue Vorstellungen vom Erdinneren.

Die Dichte der Erdkruste im Vergleich zur Dichte des gesamten Planeten und



seismische Untersuchungen spielen für diese Erkenntnisse eine große Rolle.

Das aktuell wahrscheinlichste Modell vom inneren Aufbau unseres Planeten, sieht neben der Erdkruste und dem darunterliegenden Erdmantel den äußeren und inneren Erdkern vor. Der innere Erdkern ist fest und besteht aus einer fast reinen Eisenkugel. Obwohl in diesem Bereich Temperaturen von

annähernd 5000 °C angenommen werden, kann dieser innere Kern wegen der enorm hohen Drücke fest sein.

Der äußere Kern ist flüssig (kein reines Eisen, mit Verunreinigungen von Nickel,

Silizium, Sauerstoff). Die Viskosität soll sogar mit der von Wasser vergleichbar sein. Der Temperaturunterschied bis zum Erdmantel wird mit ca. 2000 °C angenommen. Dieser Temperaturunterschied erzeugt aber Konvektionsströmungen im flüssigen äußeren Erdkern.

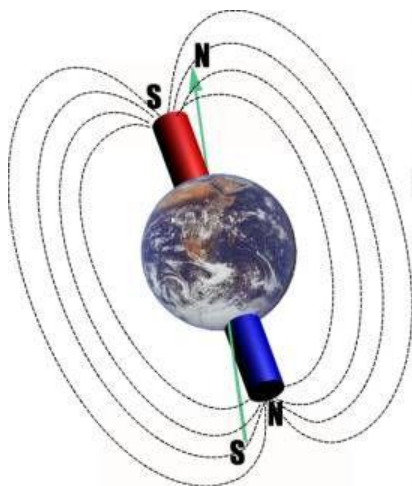
Das sind Strömungen flüssigen Materials, das von weiter innen liegenden heißeren Bereichen des Erdkerns zu weiter außen liegenden, weniger heißen Bereichen aufsteigt und nach Abkühlung wieder in heißere Bereiche absinkt. Diese Konvektionsströmungen werden durch die Corioliskraft also durch ihre eigene Massenträgheit in Verbindung mit der Rotationsbewegung der Erde, abgelenkt und auf Schraubenbahnen gezwungen. (Hier gibt es gewisse Parallelen zur Ablenkung von Luftmassen der Erdatmosphäre durch die Corioliskraft, wodurch die Rotation der Hoch- und Tiefdruckgebiete und der Wirbelstürme entsteht.)

Auch wenn Details noch umstritten sind, so zeigt die Magnetohydrodynamik dass Konvektionsströmungen im flüssigen, elektrisch gut leitenden äußeren Erdkern einen selbsterregenden Dynamo entstehen lassen.

Die Konvektionsströme haben wegen ihrer Bewegung in einem anfangs vorhandenen sehr schwachen Magnetfeld einen Induktionsstrom erzeugt, der mittels positiver Rückkopplung das schwache Magnetfeld verstärkt hat, was wiederum zu einem stärkeren Induktionsstrom führte, der wiederum das Magnetfeld verstärkte usw. bis durch einen Begrenzungseffekt ein mehr oder weniger stabiler Zustand erreicht wurde. Es wird also der für die Bildung des Erdmagnetfeldes ursächliche Strom mit Hilfe des Erdmagnetfeldes selbst erzeugt. Man spricht hier auch von einem „selbsterregten Dynamo“.

Man geht von der Vorstellung aus, dass im Laufe der Erdgeschichte das Volumen des inneren Erdkerns zu Lasten des äußeren Erdkerns wächst. Die dabei freiwerdende Energie könnte den erdmagnetischen Dynamo in Gang halten. Es ist umstritten, wie hoch der Gehalt an radioaktiven Elementen im Erdinnern ist und inwieweit die beim radioaktiven Zerfall freiwerdende Energie zur Aufrechterhaltung des erdmagnetischen Dynamos beiträgt.

Leider gibt es kein leicht verständliches, anschauliches Modell zur Dynamotheorie, an dem der Strom- und Feldlinienverlauf bei den Bewegungen der leitfähigen



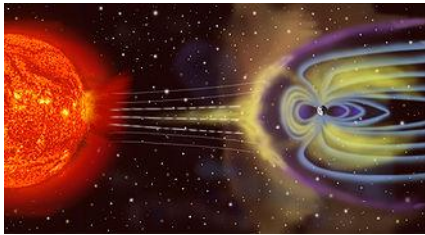
Flüssigkeit nachvollzogen werden könnte. Die Dynamotheorie stützt sich jedoch auf Berechnungen und Computersimulationen, die ein gutes Abbild der Wirklichkeit ergeben, einschließlich der im Laufe der Erdgeschichte immer wieder einmal auftretenden Umpolungen des Erdmagnetfeldes. Auch Experimente mit flüssigem, strömendem Metall bestätigen offenbar die Richtigkeit der Dynamotheorie.

Der innere, feste Erdkern dreht sich etwas schneller als der Rest des Erdballs. Das scheint aber für die Entstehung des Erdmagnetfeldes kaum Bedeutung zu

haben, denn bei den hohen Temperaturen ist Eisen nicht magnetisierbar.

Die Rotation der Erde hat auch etwas damit zu tun, das sich das Erdmagnetfeld wie ein magnetischer Bipol beschreiben lässt und sich in etwa an der Polachse orientiert. Das beim geographischen Nordpol der magnetische Südpol liegt, merken wir in der Praxis nicht.

Innere Turbulenzen der Konvektionsströme könnten auch verantwortlich sein für die Wanderung der Magnetpole, für Einbrüche in der Intensität und für gelegentliche Umpolungen (im Verlauf der Milliarden Jahre andauernden Entwicklung unseres Erdballes).



Eine weitere Komponente des Magnetfeldes entsteht durch elektrische Ströme in der Ionosphäre und der Magnetosphäre. Insbesondere während magnetischer Sonnenstürme wird dadurch die Dipolkomponente des Hauptfeldes geschwächt, an der Erdoberfläche nur um 1 bis 3 %, in 100.000 km Höhe dagegen wesentlich stärker. Die Ursache ist

das ebenfalls magnetisierte Plasma des Sonnenwindes, der jenseits der Magnetosphäre herrscht. Er staucht sie auf der Tagseite und zieht sie auf der Nachtseite zu einem langen Schlauch aus. Dieses Magnetfeld hat daher einen Tages- und Jahresgang. Es zeigt aber auch schnelle Schwankungen, wie Polarlichter eindrucksvoll zeigen.

Die dritte Komponente ist räumlich sehr variabel verändert sich aber nur in geologischen Zeiträumen. Es ist das Feld der remanenten Magnetisierung der oberen Erdkruste z. B. durch Erzlagerstätten.

In einigen geologischen Formationen lassen sich aus der örtlichen Magnetisierung zahlreiche Polsprünge ablesen. Die Magnetisierung ferromagnetischer Einschlüsse in den ältesten irdischen Mineralen zeigt, dass das Erdmagnetfeld bereits vor über vier Milliarden Jahren bestand.

### **Die Drift der Kontinentalplatten**

Schon als Volksschüler sind mir im Erdkundeunterricht die verdächtig gut zusammenpassenden Küstenformationen von Afrika und Südamerika aufgefallen. Von Kontinentaldrift hat man uns damals aber nichts erzählt (erste Hypothesen stammen aber schon aus dem 18. Und 19. Jahrhundert).

Inzwischen wissen wir, dass die Landmasse unseres Globus in seiner über 4 Milliarden Jahre andauernden Geschichte mehrfach eine zusammenhängende Fläche war. Den letzten Gesamtkontinent nennt man Pangaea, bevor die Kontinente vor ca. 230 Millionen Jahren begannen, wieder einmal auseinander zu driften.

Aber woher kommt die gewaltige Energie, welche ganze Erdteile auf die Reise schickt, an den Bruchstellen auseinanderreißt und an den Kollisionsstellen riesige Gebirge auffaltet. Diese Bewegungen sind letztlich die Ursache für Vulkanismus und Erdbeben.

Natürlich gibt es verschiedene Theorien.

Ob das heiße Herz unseres Planeten als Antrieb ausreicht, oder atomare

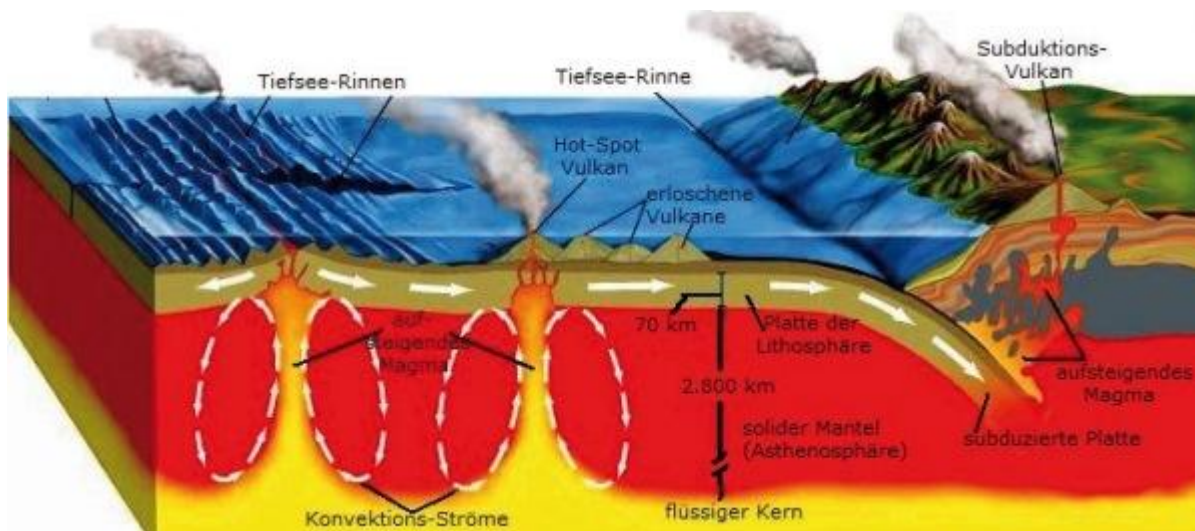
Zerfallsenergie mithilfe, ist bisher noch ungeklärt. Es wird jedenfalls eine große Energie benötigt, um diesen gigantischen Mechanismus über hunderte von Millionen Jahren aufrecht zu erhalten.



Wir unterscheiden 7 große Kontinentalplatten:

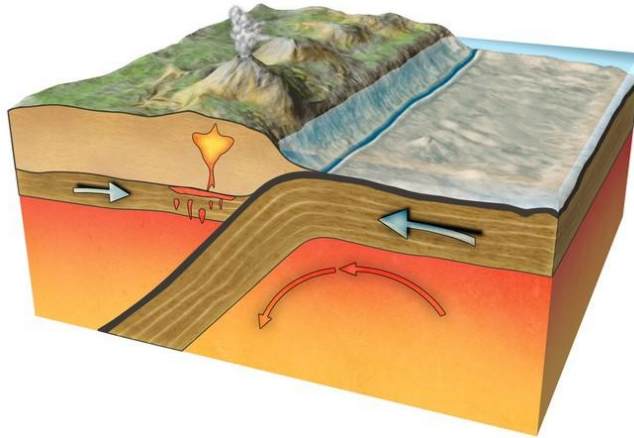
- die Nordamerikanische Platte und die Eurasische Platte,
- die Südamerikanische Platte und die Afrikanische Platte,
- die Antarktische Platte und die Australische Platte
- sowie die Pazifische Platte, die einzige der Großplatten ohne nennenswerten Anteil an kontinentaler Kruste.

Daneben gibt es noch eine Reihe kleinerer Platten wie z. B. die Nazca-Platte, die Indische Platte, die Philippinische Platte, die Arabische Platte, die Karibische Platte, die Cocosplatte, die Scotia-Platte sowie weitere Mikroplatten, über deren Abgrenzung jedoch teilweise noch wenig bekannt ist oder deren Existenz nur vermutet wird.



Die Plattengrenzen werden an der Oberfläche meist entweder durch mittelozeanische Rücken oder Tiefseerinnen markiert. An den Rücken driften die benachbarten Platten auseinander wodurch Magma aus dem oberen Erdmantel emporsteigt und neuen Meeresboden bildet.

An anderen Plattengrenzen taucht als Reaktion auf die Ausbreitung, eine Kontinentalplatte unter eine anstoßende (ozeanische oder kontinentale) Platte tief in den Erdmantel ab und bildet dort die Tiefseerinnen. Brüche in der aufgeschobenen Platte führen dort zu Vulkanismus oder zu Auffaltung von Gebirgszügen. Plattengrenzen können aber auch horizontal aneinander vorbeigleiten, sich verhaken und bei wachsendem Druck ruckartig lösen, als eine Quelle von Erdbeben.



Früher hat man als Motor für die Plattendrift eigentlich nur die Konvektionsströme im zähen, aufgeschmolzenen Material des Erdmantels vermutet. Eine neuere Theorie vermutet dagegen, dass die driftenden Platten sich selbst in Bewegung halten. Zum einen durch die Spreizkraft an den mittelozeanischen Rücken, zum andern durch die Zugkraft der schwereren Platte, die tief in den Erdmantel eintaucht, bevor das

Material wieder aufgeschmolzen wird.

Da aber noch nicht alle Einzelheiten bewiesen sind, wird vermutlich eine Kombination dieser Vorgänge für den Antrieb sorgen.

### Ebbe und Flut

Dass die Gezeiten durch den Mond verursacht werden, hat sich allgemein herumgesprochen. Erst auf den 2. Blick erkennt man verblüffende Phänomene, die erst mal nicht erklärbar sind:

- An den Küsten werden Gezeitenhübe von fast Null bis gut 16 Meter beobachtet.
- Wie hoch muss denn der Wasserberg sein, um dieses Phänomen zu erklären?
- Wasser ist inkompressibel. Wenn so ein Wasserberg um die Erde wandert, dann müssten doch enorme Strömungen das Wasser vom Ebbe-Bereich zum Flutberg transportieren? Schließlich wandert der Flutberg täglich etwa 2 Mal um die Erde.
- Wir beobachten in etwa 25 Stunden 2 x Ebbe und Flut. Wie passt das denn zusammen? Die Erde dreht sich pro Tag ja nur 1 Mal um ihre Achse (und damit auch nur 1 Mal unter dem Mond durch).

Sobald man diesen Fragen nachgeht, tauchen weitere Probleme auf, die auch mit Ebbe und Flut zu tun haben: Die Erdrotation wird abgebremst und der Mond entfernt sich allmählich von seinem Mutterplaneten.

Das wird spannend. Wir müssen uns die Bewegungen von Erde und Mond genau ansehen, denn irgendwo müssen die Antworten ja versteckt sein.



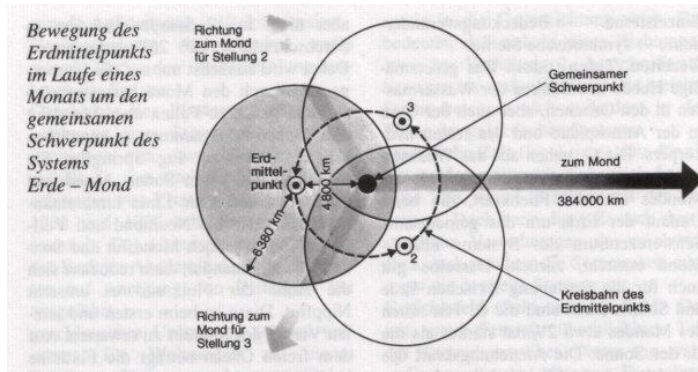
Die Erde dreht sich von West nach Ost (im Osten geht bekanntlich die Sonne auf) in 24 Stunden einmal um ihre Achse. Der Mond umkreist die Erde in der gleichen Drehrichtung in einem Monat. Der Mann im Mond würde, mit Blick auf die Erde, nach ca. 25 Stunden die Erdumdrehung beendet sehen. Die Massenanziehung des Mondes wirkt nun auf

die bewegliche Masse des Wassers und türmt sie allmählich zu einem Flutberg auf (der erreicht im freien Pazifik eine Höhe von etwa 60 cm).

Nun kommt ein ganz wichtiger Gedankenschritt!

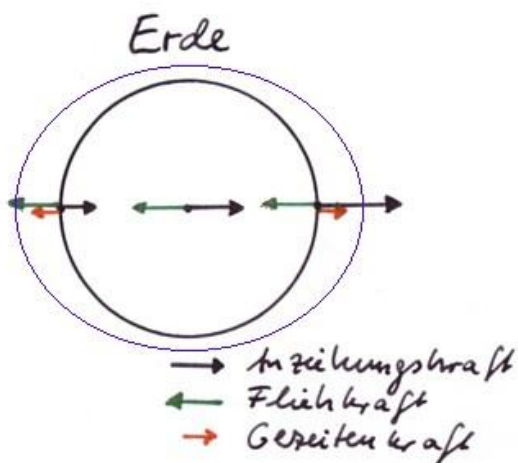
Dieser Flutberg wandert nicht um die Erde, sondern die Erde dreht sich mit ihrer festen Erdrinde unter dem Flutberg durch. Der Flutberg steht festgenagelt unter dem Mond und damit ist schon eines der Phänomene erklärt.

Damit ist aber nur einmal Ebbe und Flut in ca. 25 Stunden erklärt, woher kommt aber der 2. Flutberg?



Leider folgt noch ein zweiter, ganz wichtiger Gedankenschritt! Der Mond kreist nicht einfach um die Erde, sondern die Doppelmasse von Mond und Erde dreht sich einmal im Monat um einen gemeinsamen Masseschwerpunkt. Das ist auch der Grund, warum der Mond uns immer nur eine Seite zeigt. Dieser

gemeinsame Massenschwerpunkt liegt (wegen der wesentlich größeren Masse der Erde) noch innerhalb der Erdmasse (auf der gedachten Linie: Mond-Erde etwa 1700 km unter der Erdrinde, also im Erdmantel). Durch diese exzentrische



Umwälzbewegung der Erde (um den gemeinsamen Masseschwerpunkt von Erde und Mond) entsteht ein zweiter Flutberg durch Fliehkraft auf der dem Mond abgewandten Erdseite.

Zur näheren Erklärung: Diese Fliehkraft ist für alle Punkte auf der Erde gleich groß, aber immer

parallel zu der Linie „Mond – Erde“ vom Mond weg gerichtet. Nur im Erdmittelpunkt sind Mondanziehung und Fliehkraft im Gleichgewicht. Auf der dem Mond zugewandten Seite überwiegt die Mondanziehung und bildet den ersten Flutberg (durch Gravitation). Auf der dem Mond abgewandten Seite überwiegt die Fliehkraft (wegen der größeren Entfernung zum Mond ist dessen Gravitation hier schwächer) und bildet den zweiten Flutberg.

Beide Flutberge sind annähernd gleich groß.

Diese Futberge werden noch von der Massenanziehung der Sonne beeinflusst. Sie erreichen ein Maximum, wenn Sonne, Erde und Mond in einer Linie stehen (Springtide).

Durch die Reibung (weil die feste Erdkruste sich unter den Flutbergen durch dreht), wird die Rotation der Erde abgebremst (die Tageslänge erhöht sich um Bruchteile einer Sekunde pro Jahrhundert). Durch die festen Landmassen werden die Flutberge auch ein wenig voreilend verschoben (voreilend gegenüber dem Mondumlauf; die Erdrotation hat die gleiche Richtung wie der Mondumlauf). Außerdem ist zu bedenken, dass bei der Erdrotation (um die eigene Achse) die Wassermassen der Meere mit rotieren und ebenfalls das Voreilen der Flutberge begünstigen.

Diese voreilenden Wassermassen haben wiederum eine beschleunigende Wirkung auf den Drehimpuls des Mondes (durch Gravitation). Der Mond wird quasi von dem voreilenden Flutberg angeschleppt. Das heißt, der Mond wird schneller in seiner Umlaufgeschwindigkeit. Als Folge entfernt sich der Mond allmählich von der Erde (denn er muss sich infolge seiner größeren Umlaufgeschwindigkeit auf einer höheren Umlaufbahn bewegen).



Die manchmal gewaltigen Tidenhübe an einigen Küsten haben geographische Ursachen (wenn z.B. eine Flutwelle genau in einen trichterförmigen Küsteneinschnitt gepresst wird und sich mit dem Zurückschwappen des Wassers, bei Ebbe, und bis zum nächsten Flutberg auch noch eine Resonanz ergibt). Der Hafen im nebenstehenden Bild zeigt anschaulich die Verhältnisse bei Ebbe und Flut.

Die unterschiedlichen Tidenhübe an verschiedenen Küsten sind auch durch die Gravitationsspur des Mondes (über die Erdoberfläche) begründet. Im Zentrum des Flutberges sind große Tidenhübe wahrscheinlicher als an seinen äußersten Rändern.



## Das Universum

Seit wir wissen, dass die Erde eine Kugel ist, eingebettet in Schwerkraftfeldern mit anderen 7 (8) Planeten um unsere Sonne kreist, werden unsere staunenden Augen und unsere Erkenntnisse immer größer.

Seit 1990 werden die z.T. riesigen erdgebundenen Teleskope durch das Weltraumteleskop „Hubble“ ergänzt. Obwohl das eigentlich ein Winzling ist (Hauptspiegel nur 2,4 m) hat es den ungeheuren Vorteil aus 540 km Höhe völlig ungestört durch Atmosphäre und Lichtsmog in den Weltraum zu blicken. Zudem kann "Hubble" tagelang auf dieselbe Region des Himmels starren, das Licht extrem schwachleuchtender Galaxien einfangen (schwachleuchtend, weil sie sehr weit von uns entfernt sind) und somit weit in die Vergangenheit zurückzublicken (denn das eingefangene Licht ist u.U. schon seit einigen Milliarden Jahren unterwegs, bevor es bei uns eintrifft).

Herausgekommen sind wissenschaftliche Daten, die unser Verständnis des Weltalls und seiner Geschichte revolutioniert haben.

Schauen wir in die Weiten des Universums, so werfen wir einen Blick zurück in die Vergangenheit. Denn das Licht hat für seinen Weg zur Erde häufig mehrere Mrd. Jahre benötigt. Mit dem Sternenhimmel sehen wir also die weit entfernten Galaxien & Sterne in dem Zustand, als das Universum noch viel jünger war. Da sie allesamt von der Erde eine unterschiedliche Entfernung haben, und ihr Licht demnach unterschiedlich lange bis zur Erde reiste, sehen wir unterschiedliche Zeitpunkte der Vergangenheit, so dass wir nicht wissen können, wie das Universum im Augenblick tatsächlich aussieht.

Für unsere Sicht auf das Weltall gehen wir heute von der Theorie des Urknalls aus. Es ist wirklich schwer zu verstehen, aber der Urknall war nicht eine Explosion im Weltall, sondern eine Explosion von Raum und Zeit. Raum und Zeit entstanden erst durch den Urknall, waren vorher nicht vorhanden.

Mit der immer noch vorhandenen (beschleunigten) Ausdehnung des Weltalls fliegen die Galaxien auch nicht voneinander weg, sondern der Raum zwischen ihnen dehnt sich aus.

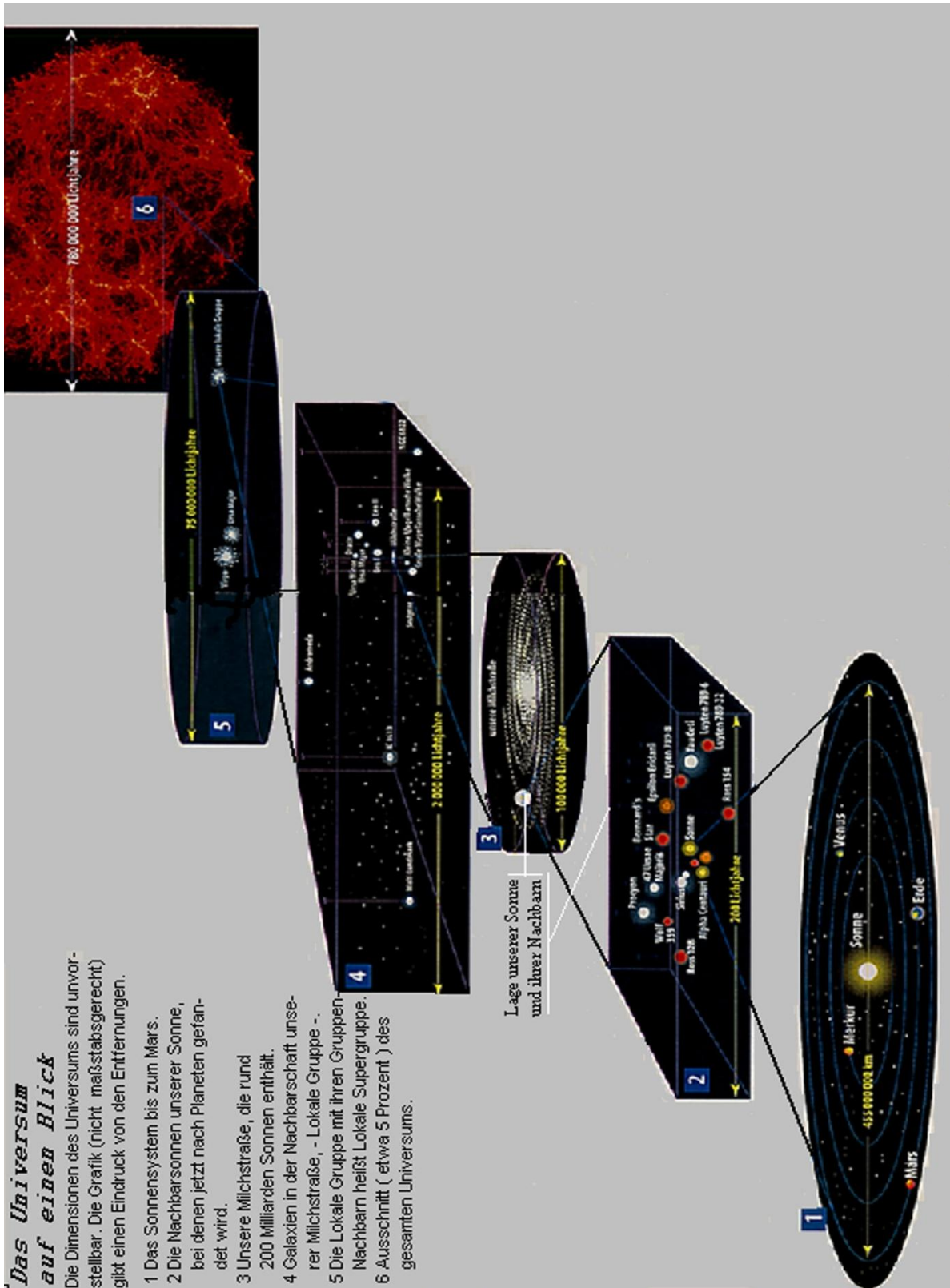
Nach den letzten Erkenntnissen hat das alles vor etwa 13,8 Mrd. Jahren mit einem Klumpen Energie begonnen. Im winzigen Bruchteil einer Sekunde wurden durch die Ausdehnung Bedingungen geschaffen, für die unsere heute bekannten physikalischen Gesetze Gültigkeit haben.

Die Hintergrundstrahlung, sie gilt als ein Nachleuchten des Urknalls, und entstand, als sich die Materie 380.000 Jahre nach dem Weltenbeginn auf etwa 3000 Kelvin abgekühlt hatte. Dadurch konnten elektrisch neutrale Atome entstehen. Endlich konnte das Licht, das zuvor von geladenen Teilchen stets absorbiert worden war, den Raum ungehindert durchfliegen – der Kosmos wurde durchsichtig.

Weiter besteht das Universum zu 23 Prozent aus Dunkler Materie, zu 72 Prozent aus Dunkler Energie und nur zu 4,6 Prozent aus der sichtbaren Materie (0,4 Prozent steuern Strahlungsteilchen wie Photonen und Neutrinos bei). Aufgrund der

beschleunigten Ausdehnung des Alls (durch die Dunkle Energie als Antrieb) währt die kosmische Expansion ewig (fragt mich nicht, wie das mal enden soll).

Kürzlich wurde eine neue, 3-dimensionale Karte des Universums vorgelegt. Sie zeigt 1,5 Millionen Galaxien. Das Weltall ist noch viel gewaltiger, als man sich vorstellen kann. Die folgenden Karten sind nicht neu, trotzdem gigantisch genug.



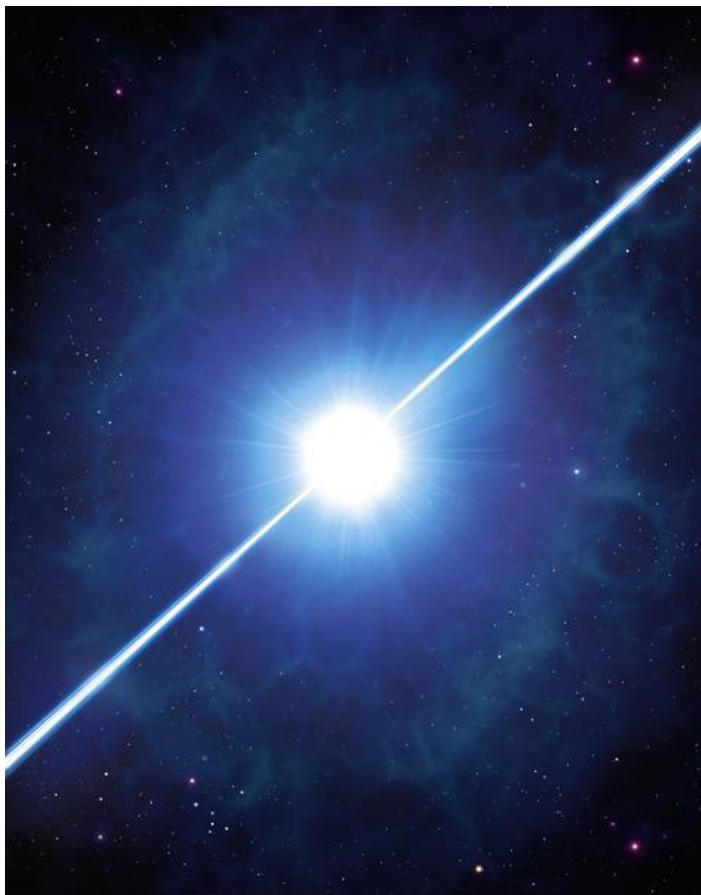
- 1 Das Sonnensystem bis zum Mars.
- 2 Die Nachbarsonnen unserer Sonne, bei denen jetzt nach Planeten gefandert wird.
- 3 Unsere Milchstraße, die rund 200 Milliarden Sonnen enthält.
- 4 Galaxien in der Nachbarschaft unserer Milchstraße, - Lokale Gruppe -.
- 5 Die Lokale Gruppe mit ihren Gruppen-Nachbarn heißt Lokale Supergruppe.
- 6 Ausschnitt ( etwa 5 Prozent ) des gesamten Universums.

Nach dem Urknall gab es zufällige Massenverdichtungen, die hauptsächlich aus Dunkler Materie bestanden. Sie zogen durch ihre Schwerkraft auch normale Materie an, die sich in diesen Bereichen verdichtete. Mit der Zeit entstand so ein Netz aus Galaxien, die sich zu Haufen und Superhaufen verbanden. Dazwischen klafften große, nahezu galaxienfreie Leerräume.

Ab 1989 wurden Ansammlungen von Galaxien-Haufen und –Superhaufen von 500 Millionen Lichtjahren Länge, 200 Lichtjahren Breite und einer Tiefe von nur 15 Millionen Lichtjahren entdeckt (die sogenannte große Mauer). Inzwischen sind 13 solcher Galaxiewände bekannt. Sie sind ungefähr parallel angeordnet und durch Leerräume von durchschnittlich 500 Millionen Lichtjahren Durchmesser voneinander getrennt

### Gammablitze

Gammablitze sind die gewaltigsten Ereignisse, die im Universum beobachtet werden. Sie können in zehn Sekunden mehr Energie freisetzen als unsere Sonne in Milliarden von Jahren. Es handelt sich um einen sehr energiereichen gebündelten Strahl. Ein Volltreffer würde der Erde nicht gut tun.



Der bislang hellste registrierte Blitz (2008) war 2,5 Millionen Mal heller als die leuchtstärkste bisher beobachtete Supernova und stammte von einem Objekt, das 7,5 Milliarden Lichtjahre von der Erde entfernt sein musste. Lange blieb unklar, was die Ausbrüche auslöst. Heute gilt als sicher, dass die lang anhaltenden Blitze durch Super- oder Hypernovae ausgelöst werden. Als Hypernova wird die Explosion eines Sterns von über 20 Sonnenmassen bezeichnet. Aus diesen Ereignissen gehen Schwarze Löcher hervor.

Kurze Gammablitze von weniger als zwei Sekunden Dauer entstehen dagegen, wenn in einem Doppelsystem zwei

einander umkreisende Neutronensterne bzw. Schwarze Löcher kollidieren und miteinander verschmelzen. Zudem senden Weiße Zwerge, die von einem Begleiter

Masse aufnehmen und aufgrund dieser Gewichtszunahme kollabieren, kurze Gammablitz aus. Für den Rekordausbruch von 2011 vermuten die Astrophysiker einen anderen Mechanismus: Ein Stern könnte dem zentralen Schwarzen Loch in einer fernen Galaxie zu nahe gekommen und dadurch zerrissen worden sein. Seine Überreste kreisten noch eine Weile um das Schwerkraftmonster und wurden dabei so sehr erhitzt, dass sie ihre Energie als Gammastrahlung abgaben

## Dunkle Energie

In den ersten 8 Milliarden Jahren nach dem Urknall bremste die Schwerkraft der im All enthaltenen Massen die Expansion. Vor etwa fünf Milliarden Jahren aber nahm die Ausdehnung Fahrt auf und beschleunigte sich seither immer mehr. Obwohl die Natur der Dunklen Energie nach wie vor unklar ist, wird sie als konstante Kraft angesehen, welche die Ausdehnung des Weltalls gleichmäßig beschleunigt.

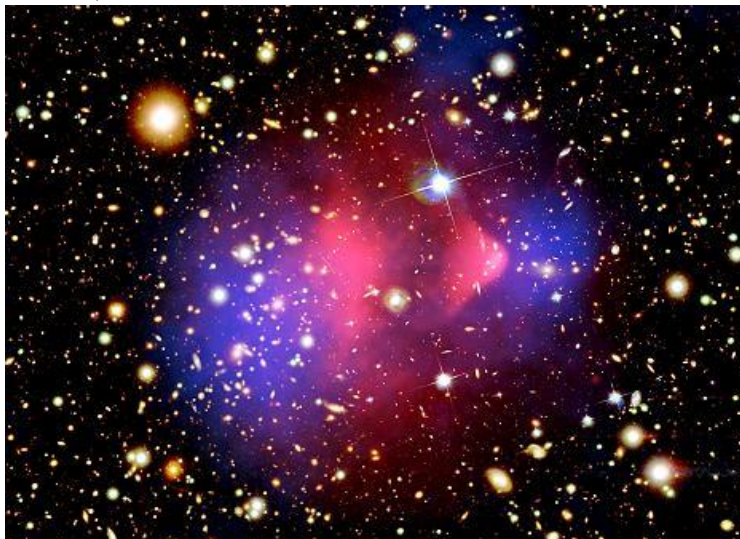
Nach der Theorie ist der leere Raum nicht absolut leer, sondern enthält eine bestimmte Menge an Energie. Deren Stärke wird von der Quantentheorie bestimmt, denn im Vakuum laufen permanent Quantenfluktuationen ab. Diese Energieschwankungen bringen fortwährend Teilchen hervor, die sich aber sofort wieder gegenseitig vernichten. Ihre Quantenfelder erzeugen eine Art innerer Spannung, die den Raum auseinander treibt.

## Dunkle Materie

Astronomen wissen schon seit Jahren, dass im Weltall Materie existieren muss, die wir nicht sehen können. Diese rätselhafte Materie kann man inzwischen auch optisch deutlich machen.

Nach einer energiereichen Kollision zwischen zwei großen Galaxienhaufen, die Materie von jeweils mehreren Billiarden Sonnenmassen enthielten, bildete sich ein neuer Galaxiehaufen. Beim Zusammenprall trafen Massen heißen intergalaktischen Gases aufeinander, die dabei abgebremst wurden und sich im Zentrum des Aufpralls sammelten. Die Dunkle Materie rauschte hingegen durch die Kollisionsstelle hindurch, da sie nur über ihre Gravitation mit der normalen Materie in

Wechselwirkung tritt.



Anhand von im sichtbaren und im Röntgenlicht aufgenommenen Bildern der Haufen berechneten die Astronomen die Verteilung der normalen sowie der Dunklen Materie darin. Wie sich zeigte, kommen beide nicht zur Deckung: Offenbar hat der Stoßprozess beide Materiearten effektiv getrennt.

*Dunkle Materie (blau eingefärbt)*



## Sternenleben

Normalerweise ist die Materieverteilung im Universum viel zu gering um sich durch Eigengravitation zu verdichten. Es gibt jedoch Nebel und ähnliches mit wesentlich größerer mittlerer Dichte. Durch Schockwellen von Supernovaexplosionen verdichten sich Teile der Nebel zu immer dichteren Materieansammlungen. Die Gravitation reicht irgendwann aus für einen beginnenden **Protostern**. Die übrige Materie beginnt den Protostern in einer flachen Scheibe zu umkreisen. Daraus kann ein Planetensystem entstehen.

Der Protostern erhitzt sich mit zunehmender Dichte immer mehr bis bei etwa bei 10 Millionen Kelvin die Fusion von Wasserstoff in Helium einsetzt. Der Protostern wird zum **Hauptreihenstern**. Sobald die Kernfusion in Gang gekommen ist, stabilisieren sich Strahlungsdruck und Eigengravitation, bis ein Großteil des Wasserstoffs verbrannt ist.



Dann kann nicht mehr genug Hitze erzeugt werden und der Stern kollabiert zum **Roten Riesen**. In seinem Inneren wird ein neuer Kernprozess in Gang gesetzt und verbrennt Helium zu Kohlenstoff und weiter zu noch schwereren Elementen. Bei Eisen ist aber auch damit Schluss.

Nun gibt es 3 Möglichkeiten, wie ein

Stern enden kann. Sein weiteres Schicksal ist von seiner Masse abhängig. Solange ein Roter Riese weniger als 1,4 Sonnenmasse hat, verliert er seine Hülle ohne Supernova und wird zu einem **Weißer Zwerg**. Durch die thermische Energie kann er aber noch bis zu 10 Milliarden Jahren weiter strahlen, bis er zu einem **Schwarzen Zwerg** abkühlt.

Unter besonderen Bedingungen (wenn er einen Doppelsternbegleiter hat) kann ein Weißer Zwerg auch in einer Supernova explodieren.

Alle massereicheren Rote Riesen kollabieren in einer Supernova. Bei einer Restmasse größer 1,4 aber kleiner 3,2 Sonnenmassen wird er zum **Neutronenstern** von extremer Dichte, nur etwa 20 bis 24 km groß und von einer mehrere hundert Meter dicken Eisenkruste umgeben.

Wenn ein Stern am Ende seines Lebens nach einem Supernovaausbruch noch mehr als 3,2 Sonnenmasse besitzt, dann fällt er immer weiter in sich zusammen bis er mit immer größer werdenden Dichte den **Ereignishorizont** unterschreitet und damit zum



**Schwarzen Loch** wird. Alle Ereignisse innerhalb des Schwarzen Loches sind für einen externen Beobachter unsichtbar, weil auch das Licht durch die extreme Gravitation so stark gekrümmt wird, dass es den Ereignishorizont des Schwarzen Loches nicht verlassen kann. Das gilt natürlich auch für Materie, die hineingerät.

Der ehemalige Stern fällt aber unweigerlich weiter in sich zusammen und wird zur **Singularität** (ein Körper unendlich großer Dichte auf unendlich kleinem Raum).

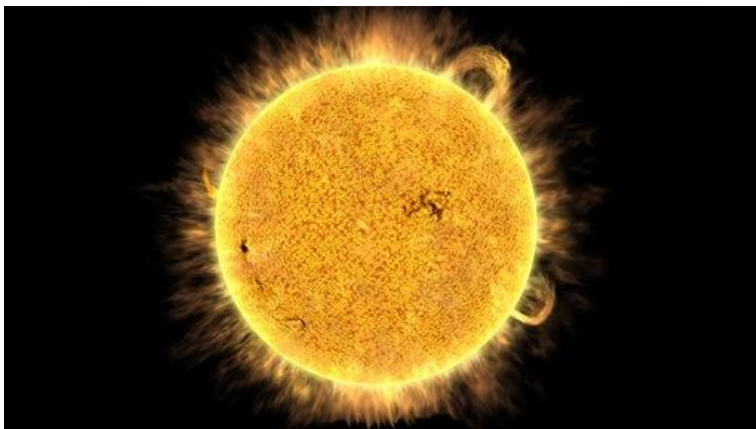
In einem Schwarzen Loch haben die Naturgesetze keine Gültigkeit mehr.

Laut Theorie können Schwarze Löcher auch **Wurmlöcher** bilden. Diese krümmen die Raumzeit durch ihre enorme Dichte derart, dass sie zwei Stellen des Raumes oder der Zeit verbinden. Es wären auch Verbindungen zu anderen Universen denkbar. Wurmlöcher konnten aber noch nicht nachgewiesen werden.

Nach der Theorie befindet sich im Zentrum aller Galaxien ein sehr massereiches Schwarzes Loch, ein **Quasar**. Die äußere Umgebung dieses Schwarzen Loches ist sehr hell strahlend.

## Neuigkeiten von unserer Sonne

Die Sonne – eigentlich ein großer Gasball – ist der universelle Energiespender für die Erde und das auf ihr entstandene Leben. Sie leuchtet seit Milliarden von Jahren ziemlich konstant. Dennoch gibt es mehrere sich überlagernde Aktivitätszyklen, von denen der elfjährige Zyklus der bekannteste ist.



Alle solaren Phänomene beruhen auf Magnetfeldern. Sie entstehen, weil im elektrisch leitfähigen Gas (einem sogenannten **Plasma**) Ströme fließen. Sie wirken wie ein gigantischer Dynamo. Die Sonne dreht sich am Äquator schneller als an den Polen, zudem ändert sich die

Umlaufgeschwindigkeit der Gasmassen mit der Tiefe. Dadurch verwirbelt sich die glühende Materie

Vor drei Jahren entdeckten Sonnenforscher, dass ein System aus Plasmaströmen Stärke und Länge der Solarzyklen bestimmt. Es erstreckt sich bis zu 7000 Kilometer unter die Sonnenoberfläche und fließt fünf Meter pro Sekunde schneller als das umliegende Material. Seine beiden Teilströme entstehen nahe dem solaren Nord-

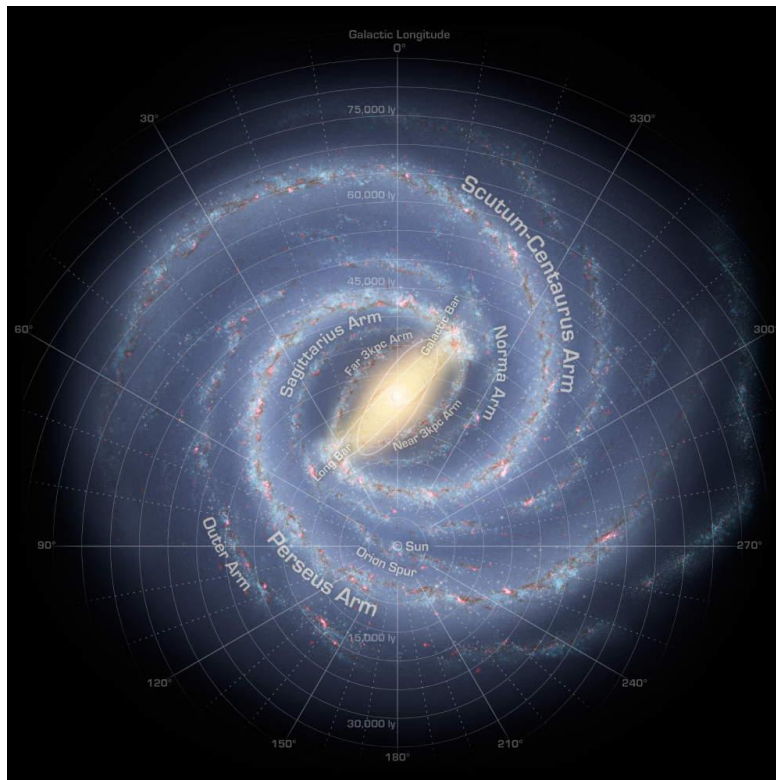
bzw. Südpol und wandern langsam zum Äquator, wo sie sich auflösen. Nach rund elf Jahren bilden sich an den Polen neue Ströme.

Dieser Rhythmus fällt mit dem Solarzyklus zusammen. Tatsächlich entstehen die Sonnenflecken – sie sind ein Zeichen für den Aktivitätszustand der Sonne – eines neuen Zyklus stets dann, wenn die Plasmaströme am 22. solaren Breitengrad ankommen. Vor einigen Jahren geriet das Strömungssystem jedoch ins Stocken. 2007 hatte der 23. Zyklus seit Beginn regelmäßiger Zählungen sein Minimum. Doch der Zyklus 24 wollte nicht beginnen, die Sonne verharrte monatelang auf dem tiefen Aktivitätsniveau. Wie sich zeigte, flossen die Plasmaströme langsamer als normal.

Nun fürchten einige Forscher, dass sich dieser Trend fortsetzt. Dann könnte die Magnetfeldstärke im Zyklus 25 nicht mehr ausreichen, um sichtbare Sonnenflecken zu erzeugen. Möglicherweise bleibt dieser Zustand einige Jahrzehnte erhalten. Dann könnte sich die Erde wieder auf jene Tiefsttemperaturen abkühlen, die während der kleinen Eiszeit herrschten. Allerdings steht dem die durch Treibhausgase verursachte globale Erwärmung entgegen. In welche Richtung sich die Erdtemperatur entwickelt, werden wir in ein paar Jahren wissen

## Neuigkeiten von der Milchstraße

Schon lange wissen die Himmelsforscher, dass unsere Sonne mit ihrem



Planetensystem um das Zentrum eines großen Spiralnebels kreist; die Milchstraße: Durchmesser 100.000 - 120.000 Lichtjahre mit 100 - 300 Milliarden Sternen. Bis vor einigen Jahren wurde angenommen, dass die Milchstraße 4 Spiralarme hat. Seit 2008 hat sich herausgestellt, dass unsere Heimatgalaxie nur 2 Spiralarme besitzt. Beide setzen am Ende des zentralen Balkens an und winden sich weit um das galaktische Zentrum. Zusätzlich gibt es noch 2

Nebenarme und kleinere Ausläufer.

Mit dieser Struktur zählt unsere Galaxie zu den Balkenspiralen mit einer



ausgeprägten balkenförmigen Struktur aus Sternen in ihrem Zentrum. Unser Sonnensystem liegt ziemlich am Rand eines Nebenarmes.

Bislang war unklar, ob Planeten im All häufig oder eher eine Ausnahme sind. Eine jüngst veröffentlichte Studie kommt zu dem Ergebnis, dass die meisten Sterne Trabanten haben, und zwar meist mehr als einen. Zudem sollte es mehr kleine Objekte geben als massereiche Planeten. Dieser Statistik zufolge kreisen in der Milchstraße Milliarden von Planeten mit erdähnlicher Masse. Dies wiederum erhöht die Wahrscheinlichkeit für die Entstehung von Leben im All.

### **Meine Meinung**

Über unseren Heimatplaneten wissen wir eigentlich schon sehr viel. Was wir noch nicht genau wissen, scheint uns erst in tausenden oder Millionen von Jahren zu berühren.

Das gilt auch für das Universum. Die neuen Erkenntnisse sind zwar spannend und der Blick auf dieses gigantische Schauspiel faszinierend, aber für unser kleines Leben nicht wirklich wichtig. Die Zeiträume, in denen Veränderungen möglich wären, sind einfach so unglaublich groß, dass sie unsere Lebensspanne nicht beeinflussen können. Sollte dagegen z.B. ein vernichtender Gammastrahl mit einem Volltreffer auf die Erde zielen (der vielleicht schon seit tausenden von Jahren unterwegs ist und in den nächsten Sekunden bei uns eintrifft), dann könnten wir mit all unserer Technik absolut nichts dagegen ausrichten. Wir würden ihn nicht kommen sehen und seine vernichtende Gewalt erst registrieren, wenn unsere Zivilisation schon vernichtet wäre.

Beteigeuze z.B. ist ein massereicher Roter Riese, der sein Leben mit einem Gammablitz beenden könnte. Er ist auch nicht allzu weit weg, nur etwa 650 Lichtjahre und er liegt in den letzten Zügen. Sein Ende kann jederzeit passieren. Wenn es gestern passiert wäre, würden wir das aber erst in etwa 650 Jahren mitkriegen, denn so lange braucht das Licht (und damit auch der Gammablitz) bis zu uns. Zum Glück ist seine Rotationsachse nicht so ausgerichtet, dass es zu einem Volltreffer kommen könnte.

All die neuen Erkenntnisse der letzten Jahrzehnte bewirken aber, dass wir eine neue, realistischere Sicht auf unsere Umwelt haben und die Rolle der Menschheit besser einschätzen können. Für mich persönlich ist der Sinn des gesamten Lebens (nicht nur des menschlichen Lebens) sehr viel klarer und kommt ohne gehirnvernebelnde Mystik aus.

Die Einblicke in die Physik des Universums machen mich demütig und bringen mich zu der Einsicht, dass die gesamte Menschheit mit allem Leben auf unserem kleinen Planeten unbedeutender Mitspieler in einem gewaltigen, unpersönlichen Chaos ist. Jederzeit können ganze Galaxien vernichtet werden, könnte auch von unserem Sonnensystem nur Sternenstaub übrig bleiben.

Der Einschlag eines großen Meteoriten ist nach statistischen Überlegungen überfällig und würde sicher große Teile des Lebens vernichten. Spätestens, wenn unsere

Sonne in ihrer späteren Lebensphase die Erde zu einem Wüstenplaneten verbrennt ist Schluss mit jeglichem Leben auf unserem noch paradiesischen Planeten.

Die Wahrscheinlichkeit, dass Homo Sapiens diese Katastrophen nicht abwartet und sich eher selber vernichtet, ist nicht von der Hand zu weisen. Schon 2 Mal ist unsere Welt dicht an einem Atomkrieg vorbei geschrammt. Seitdem wird die atomare Sprengkraft laufend optimiert und immer mehr Staaten wollen ihr eigenes Himmelfahrtsarsenal haben. Wir können nur auf die wachsende Vernunft hoffen. In einigen Teilen unseres Planeten scheint sich seit einigen Jahren dagegen eine wachsende Riesenblödheit auszubreiten.

Es bleibt ein kleiner Trost auf ein Leben nach dem Tode. Natürlich nicht im religiösen Sinne (leibliche Auferstehung am „Jüngsten Tage“ oder so). Zweifellos aber werden die Atome jeglicher Materie (auch die unserer Körper) - oder zumindest die Bausteine der Atome – überleben, um vielleicht in ferner Zukunft Bestandteil einer neuen Erde zu sein.