

INHALT

Einleitung

1. Urknall und Ewigkeit

- 1.1 Die Geburt von Raum und Zeit
- 1.2 Bausteine des Weltalls
- 1.3 Wie entstehen Sterne und Planeten?
- 1.4 Warum leuchten Sterne?
- 1.5 Wie sieht unser Sonnensystem aus?
- 1.6 Wie entwickelt sich unser Sonnensystem?
- 1.7 Die Zukunft des Universums

2. Die Raumfahrt

- 2.1 Die Erde erhält einen Kunstmond
- 2.2 Der erste bemannte Raumflug
- 2.3 "That's one small step... !"
- 2.4 "Houston, wir haben ein Problem!"
- 2.5 Das Verlustgerät Rakete wird abgelöst
- 2.6 Die schreckliche 73. Sekunde
- 2.7 Wie sieht die Zukunft der Raumfahrt aus?

3. Bildanhang

4. Zusammenfassung

5. Quellennachweis

Einleitung

Schon seit ewigen Zeiten weckt der Himmel die Neugier der Menschen. Die wechselnden Mondphasen und der Auf- und Untergang der Sonne gaben viele Rätsel auf und stellten den Philosophen und Wissenschaftlern die Frage, warum sich alles so und nicht anders entwickelt hat.

Die ältesten Kulturen stellten sich den Himmel als eine Art Kuppel vor, auf der die Sterne befestigt sind. In den Sternen glaubte man Gestalten aus Mythen und Legenden wiederzuerkennen; so bekamen die Sternbilder ihre Namen. Doch unter den Sternen gab es welche, die scheinbar eine eigene Bahn verfolgten. Diese "Planeten" wurden erstmals näher in Mesopotamien erforscht.

Später, im antiken Griechenland, erweiterte sich die Vorstellung des Universums: die Kuppel wurde zu einem Raum aufgeweitet. Diese Vorstellung der Welt war so überzeugend, daß sie sich etwa 2000 Jahre lang hielt.

Erst in der Mitte des 16. Jahrhunderts führten mathematische Untersuchungen zu einer neuen Vorstellung. Die Sonne galt nun als Mittelpunkt des Universums, und die Planeten kreisten auf Bahnen um die Sonne. Sir Isaac Newton entdeckte, warum die Planeten auf ihren Bahnen gehalten werden, und Johannes Kepler fand die Gesetze, nach denen sich die Planeten bewegen.

Seit dieser Zeit hat sich die Wissenschaft mit einem Tempo entwickelt, von dem unsere Vorfahren nur träumen konnten. Durch die stetige Forschung der letzten 300 Jahre ist es den Astronomen und Physikern gelungen, unser Verständnis von der Natur sehr zu verbessern.

In der folgenden Arbeit soll mit einfachen Mitteln die Geschichte des Universums erzählt und über den Aufbau des Universums berichtet werden.

Eng verbunden mit der Geschichte der Erforschung des Universums ist in den letzten Jahrzehnten die Raumfahrt. Dem ersten einfachen und unbemannten Satellit folgten bald kompliziertere und auch bemannte Raumflugkörper. Ein Höhepunkt war das Apolloprogramm der NASA, das zum ersten Mal Menschen auf einen fremden Himmelskörper brachte. Mit der Einführung der Space-Shuttle-Flüge beendete die Raumfahrt ihre Pionierphase und trat in eine Routinenutzung durch den Menschen ein.

Die Arbeit berichtet über die Entwicklung der Raumfahrt, über Höhepunkte und Tiefschläge; sie versucht auch, einen Ausblick auf die nahe Zukunft zu geben.

1. Urknall und Ewigkeit

1.1 Die Geburt von Raum und Zeit

Zum Zeitpunkt der "Geburt" des Universums war die Materie in einem sehr kleinen Raum konzentriert und unvorstellbar heiß. Atome und Moleküle gab es noch nicht.

Den ersten Zeitpunkt, den wir mit Sicherheit nach dem Urknall angeben können, ist der nach der sogenannten "Planck-Zeit"- ein unglaublich kurzer Zeitabschnitt von 10^{-43} Sekunden. Zu der Zeit nahm das Universum einen Raum ein, der $1:10^{20}$ so groß wie ein Atomkern des Wasserstoffs war.

10^{-35} Sekunden nach dem Urknall begann die Zeit der "Inflation". Die Inflation wurde durch eine extreme Unterkühlung des Weltalls ausgelöst. Eine Unterkühlung erfolgt immer dann, wenn ein System sich unter die Temperatur abkühlt, bei der es im allgemeinen seinen Aggregatzustand wechselt, jedoch dieser Wechsel nicht eintritt. Zum Beispiel wandelt sich Dampf wieder in Wasser um, wenn er unter 100°C abgekühlt wird. Bei der Abkühlung des Dampfes wird die Bewegung der Wassermoleküle immer langsamer, bis sie sich schließlich zu größeren Molekülgruppen zusammenschließen. Dies geschieht aber nur, wenn im Dampf kleine Partikel (z.B. Staub) schweben, die als Zentren dienen, an denen sich die Tröpfchen bilden können. Gibt es solche Zentren nicht, kann der Dampf auch unter 100°C abgekühlt werden, ohne daß der Phasenwechsel eintritt. Zu Beginn der Inflationsperiode stand das Universum an einem solchen Phasenwechsel. Bis zu einem Alter von 10^{-32} Sekunden kühlte es sich jedoch weiter ab. Während es in seinem unterkühltem Zustand blieb, bildete sich ein "falsches Vakuum", dessen Eigenschaften sich wesentlich von denen eines "echten Vakuums" unterschieden. Gewöhnlich nimmt die Energiedichte - sei es in Form von Strahlung oder Materie - in jedem beliebigen System ab, sobald sich dieses vergrößert und sich die Partikel weiträumiger verteilen können. Im Zustand des falschen Vakuums jedoch bleibt die Energiedichte auch während der Expansion konstant. In dieser Zeit dehnte sich das Universum sehr rasch aus. Forscher nehmen an, daß es sich bis auf das 10^{50} fache seiner ursprünglichen Größe vergrößerte. Während der Inflationsperiode verdoppelte sich alle 10^{-35} Sekunden seine Größe, und die Temperatur stürzte von 10^{28}K auf 10^{23}K . Die Inflationsperiode war beendet, als der Phasenwechsel vollzogen war und starke Kraft und elektroschwache Kraft sich zu unterscheiden begannen (s. a. Abschnitt: Bausteine des Weltalls). Die Energie des falschen Vakuums setzte sich nun genauso frei wie die Energie, die in unterkühltem Dampf gespeichert ist, wenn der Dampf den Ag

Die Temperatur des Weltalls sank seit der Planckzeit stetig, abgesehen von einer sehr kurzen Periode einer erneuten Aufheizung, die das Ende der Inflation kennzeichnete. Sie fiel auf Werte, bei denen Quarks nicht mehr einzeln existieren konnten - sie bildeten Neutronen und Protonen, die sich zu den leichtesten Atomkernen zusammenschlossen. Später fingen die Kerne Elektronen ein, und es bildeten sich die Atome. Heute beträgt die Durchschnittstemperatur des Weltalls 3K.

gregatzustand schließlich wechselt und zu Wasser wird.

Dieser Energieausbruch, der das Universum auf Temperaturen erhitzte, die auch vor der Inflation geherrscht hatten, erzeugte eine ungeheure Menge von Elementarteilchen. In diesem Chaos aus Strahlung und Teilchen begann der Aufbau der Materie, die wir heute kennen. Das Weltall bestand noch aus einer "brodelnden" Masse von Partikeln, die erzeugt wurden und sich wieder vernichteten. Es prallten ständig Quarks und Antiquarks (s. Abschnitt Bausteine des Weltalls) aufeinander und vernichteten sich in Strahlungsblitzen. Zunächst gab es genug Energie, die neue Quarkpaare erzeugte. Doch als sich das Universum ausdehnte und damit abkühlte, kam die Quarkerzeugung aus Energie zum Erliegen. Da die Quarks in der Überzahl waren, blieben nach der Paarvernichtung Quarks über. Sie bildeten die Grundbausteine für die heutige Materie.

Später nahm die Temperatur weiter ab, so daß sich Quarks und Leptonen (eine weitere Gruppe von Elementarteilchen; s. a.: Bausteine...) nicht mehr ineinander umwandeln konnten. Eine Millionstelsekunde nach dem Urknall begannen die Quarks, sich zu Hadronen (s. a. Bausteine...) zu verbinden.

Protonen und Neutronen existierten in gleicher Anzahl. Sie wurden durch hochenergetische Reaktionen fortwährend ineinander umgewandelt. Protonen und Elektronen bildeten Neutronen und gleichzeitig auch Neutrinos. Dieser Prozeß ist heute als inverser β -Zerfall bekannt. Gleichzeitig kollidierten Neutronen mit Positronen (Antielektronen) und bildeten Protonen und Antineutrinos. Elektronen und Positronen entstanden paarweise bei der Zerstrahlung hochenergetischer Photonen. Dieser Prozeß ist heute als Paarbildung bekannt.

Als das Universum etwa eine Sekunde alt war, endete diese Paarbildung und

damit auch das Gleichgewicht von Protonen und Neutronen. Es gab weniger Neutronen als Protonen, denn die Entstehung eines Neutrons aus einem Proton benötigte mehr Energie als umgekehrt. Am Ende kam auf sechs Protonen noch ein Neutron. Neutronen allein sind aber instabil. Mit einer Wahrscheinlichkeit von 50% zerfallen sie nach 15 Minuten (sogenannte Halbwertszeit). Aus den noch vorhandenen freien Neutronen entstanden neben Protonen zwei Arten von Leptonen: Elektronen und Neutrinos.

Als das Universum einige Minuten alt war, spielte die Kernfusion beim Aufbau der Materie die entscheidende Rolle. Ein Proton und ein Neutron bildeten einen Atomkern des schweren Wasserstoffs (Deuterium). Dieser fing ein weiteres Neutron ein, und es bildete sich radioaktiver Wasserstoff (Tritium). Dieser fing nun noch ein Proton ein, und es bildete sich ein Heliumkern. Faktisch wurden alle Neutronen in Heliumkerne eingebaut. Daraus läßt sich abschätzen, daß es zu diesem Zeitpunkt 10 mal mehr Wasserstoff als Helium gab.

Im gleichen Zeitraum spielte die Strahlung nach wie vor die beherrschende Rolle. Dieses "Zeitalter der Strahlung" währte von etwa einer Minute bis zu etwa 10.000 Jahren. Am Anfang war die Quelle der Strahlung der Zerfall von Deuterium in Wasserstoff.

Während sich das Weltall weiter ausdehnte und abkühlte, wurde die mittlere Energie der Photonen geringer. Die Masse der nuklearen Teilchen (Protonen, Neutronen etc.) aber veränderte sich aber nicht. So gewann die in der Masse konzentrierte Energie etwa 10.000 Jahre nach dem Urknall die Oberhand über die Energie der Strahlung. Das Universum trat in das Zeitalter der Materie ein.

Nach ca. 300.000 Jahren gab es nur noch sehr wenig sehr energiereiche Photonen, so daß sich jetzt die ersten Atome bilden konnten. Sie konnten neben der Strahlung existieren, denn die nach außen elektrisch neutralen Atome streuten die Strahlung nicht mehr, wie es an einzelnen Protonen und Elektronen geschieht. Überall im Welt- raum wurden Strahlung und Materie "entkoppelt". Diese Phase nennt man die "Ära der Entkopplung".

Die wichtigste Folge der Entkopplung war, daß das Weltall transparent wurde. Die Energie ließ den Raum in einer Rotglut leuchten. Die Temperatur betrug etwa 3.000 K. Die Masse des Universums bestand zu drei Vierteln aus Wasserstoff. Den Rest bildete fast vollständig das Helium. Aus diesen chemischen Elementen konnten spä- ter die Galaxien entstehen.

Die Expansion des Gases aus Wasserstoff, Helium und Elementarteilchen dauerte noch etwa 2 Milliarden Jahre an. Die Dichte nahm überall ab, doch an einigen Stellen war die Dichte höher als die mittlere Dichte, und dort expandierte das Gas langsa- mer, da es durch die Schwerkraft zusammengehalten wurde. In diesen Gebieten rei- cherte sich Materie an und "kondensierte" in der Form von riesigen Materieschei- ben, die viel größer waren als die heutigen Galaxienhaufen. Nun begannen die Gas- wolken, während sie sich weiter zusammenzogen, die erste Sternengeneration zu bilden, indem in der Wolke wieder Zentren mit höherer Dichte entstanden. Die Ster- ne bildeten durch Kernfusion neue Elemente, und bei Supernovaexplosionen schleu- derten sie ihre Materie weit in den Raum. Daraus konnten neue Sonnen und Systeme entstehen.

1.2 Bausteine des Weltalls

Die Bausteine des Weltalls sind die gleichen Teilchen, aus denen ein Mensch oder ein Stein besteht.

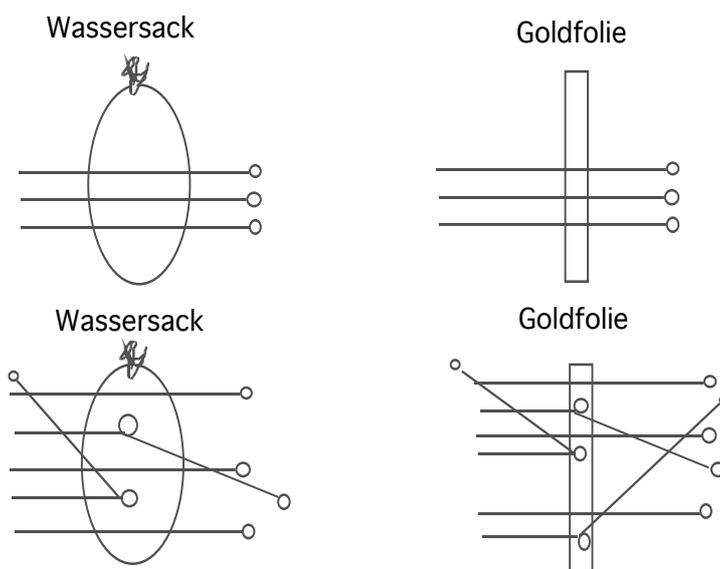
Der bekannteste Baustein ist das Atom. Das Wort "atomos" kommt aus dem Griechischen und heißt soviel wie "das Unteilbare". Heute wissen wir, daß man Atome teilen kann. Dabei gehen aber die jeweiligen Eigenschaften (chemische und physikalische) des Atoms verloren. Wenn man zum Beispiel ein Eisenatom teilt, entstehen nicht zwei Eisenatombruchstücke. Die Teilungsprodukte haben andere physikalische und chemische Eigenschaften als das Eisenatom.

Heute wird ein Atom daher folgendermaßen definiert: ein Atom ist der kleinste Baustein eines chemischen Grundstoffes, der ohne Verlust der typischen Eigenschaften dieses Stoffes nicht weiter zerlegt werden kann.

Atome sind winzig klein. Dies kann man sich folgendermaßen vorstellen: auf der Erde leben ca. 5 Milliarden Menschen. Ordnet man jedem Menschen ein Atom zu, so würden alle aneinandergereiht gerade mal eine Kette von 50 cm Länge bilden ($5 \cdot 10^9 \cdot 10^{-10} \text{m} = 5 \cdot 10^{-1} \text{m}$).

Atome bestehen aus dem Kern und der Elektronenhülle. Dabei bilden Protonen und Neutronen den Atomkern, und die Elektronen kreisen wie die Planeten auf Ellipsenbahnen um den Kern.

Die Atomkerne wurden vor ca. 75 Jahren in England von Ernest Rutherford entdeckt.



Er beschloß eine Goldfolie mit Alphateilchen (das sind Heliumkerne, die zum Beispiel beim radioaktiven Zerfall entstehen), um die Struktur der Atome zu erforschen.

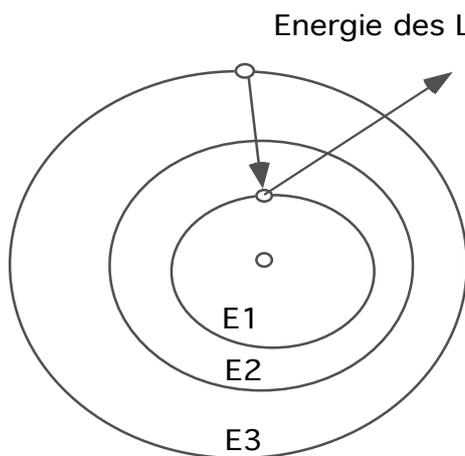
Wäre die Materie in den Atomen gleichmäßig verteilt, so würden die Heliumkerne zwar etwas abgebremst, sie

Streuexperiment von Rutherford: Eigentlich müßte bei gleichmäßig verteilter Materie die Strahlung zwar geschwächt aber nicht gestreut werden (oberes Bild). Es zeigte sich jedoch, daß die Strahlung offensichtlich an Streuzentren gestreut wird (unteres Bild).

würden aber ihre Flugrichtung beibehalten. Bei dem Versuch verhielten sich auch fast alle Teilchen so, einige jedoch wurden abgelenkt (gestreut). Daraus schloß Rutherford, daß die Masse des Atoms im Zentrum des Atoms konzentriert sei.

Heute wissen wir, daß im Atomkern fast die gesamte Masse des Atoms konzentriert ist. Der Atomkern ist elektrisch positiv geladen (Protonen). Die Elektronen besitzen sehr viel weniger Masse und sind elektrisch negativ geladen. In einem Atom sind immer soviele Protonen wie Elektronen vorhanden. Deshalb ist es nach außen elektrisch neutral. Die Neutronen haben keine elektrische Ladung und tragen nur zur Masse des Atoms bei. Von jedem chemischen Element gibt es Existenzformen, bei denen der Kern mehr oder weniger Neutronen hat, als die "Grundform" des Elements. Diese "Unterformen" nennt man Isotope eines Elements. Wasserstoff zum Beispiel kann 0, 1 oder 2 Neutronen haben. Wasserstoff mit einem Neutron heißt Deuterium, oder schwerer Wasserstoff. Wasserstoff mit zwei Neutronen heißt Tritium und ist radioaktiv.

Im Normalzustand kreist das Elektron des Wasserstoffatoms auf einer Ellipsenbahn (ca. $5 \cdot 10^{-10} \text{ m} = 5 \text{ \AA}$) um den Atomkern. Es kann sich auch auf weiter außen befindlichen Bahnen bewegen (angeregter Zustand). Springt ein Elektron von einer äußeren (also energiereicheren) Bahn auf eine innere (energieärmere) Bahn, so wird



Skizze eines Atoms: Um den Atomkern kann sich ein Elektron auf bestimmten Bahnen bewegen. Geht es von einer äußeren (energiereicheren) Bahn auf eine innere über, wird ein Photon mit der Energiedifferenz beider Bahnen abgestrahlt.

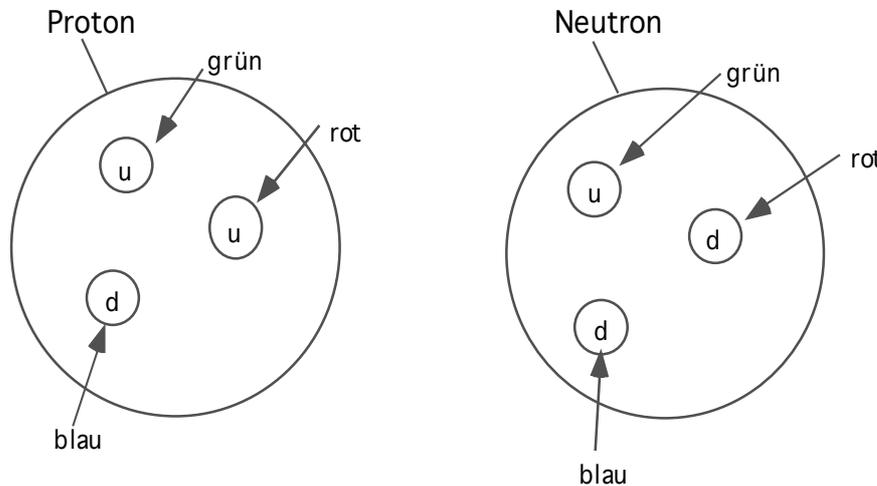
Energie in Form eines Lichtquants (Photon) abgestrahlt. Da es nur ganz bestimmte Bahnen (Energiezustände) gibt (Quantenmechanik), werden auch nur Lichtquanten mit ganz bestimmten Energien abgegeben, welche ihrerseits bestimmten Wellenlängen des Photons entsprechen. An diesen kann man dann überall im Weltall ein Photon eines Wasserstoffatoms erkennen. Dies gilt auch für alle anderen 108 bekannten Elemente. Darauf gründet sich die Spektralanalyse des Lichts oder allgemeiner des elektromagnetischen Spek-

trums, mit der man zum Beispiel die chemische Zusammensetzung der Sonne bestimmen kann.

Manche Atomkerne zerfallen in leichtere Kerne und geben dabei Alphastrahl

len oder Betastrahlen (Elektronen) oder Gammastrahlen (Photonen) ab. Dieses Abstrahlen der ionisierenden Teilchen nennt man Radioaktivität.

Lange Zeit hielt man die Protonen und Neutronen (auch Nukleonen oder Kernteilchen) für die kleinsten Bestandteile des Kerns. Heute weiß man, daß die Nukleonen



Aufbau von Proton und Neutron: Es "summieren" sich jeweils die Quarkeigenschaften Ladung und Farbe und bilden dann die Eigenschaft des resultierenden Teilchens. Rot, Grün und Blau bilden Weiß, die Ladungen addieren sich zu $+1q$ (Proton) bzw. $0q$ (Neutron).

aus noch kleineren Teilchen - den sogenannten Quarks - bestehen. Man kennt zur Zeit sechs verschiedene Quarks, aber nur zwei sind am Aufbau der uns bekannten stabilen Materie beteiligt: das u-Quark und das d-Quark. U steht für "up" und d für "down". Das u-Quark hat die Ladung $+2/3q$ und das d-Quark hat die Ladung $-1/3q$ (q ist die Elementarladung). Das Proton besteht aus zwei u-Quarks und einem d-

Quark. Das ergibt eine Ladung von $2/3q + 2/3q - 1/3q = +1q$. Ein Neutron besteht aus zwei d-Quarks und einem u-Quark, also $-1/3q - 1/3q + 2/3q = 0q$ (keine Ladung).

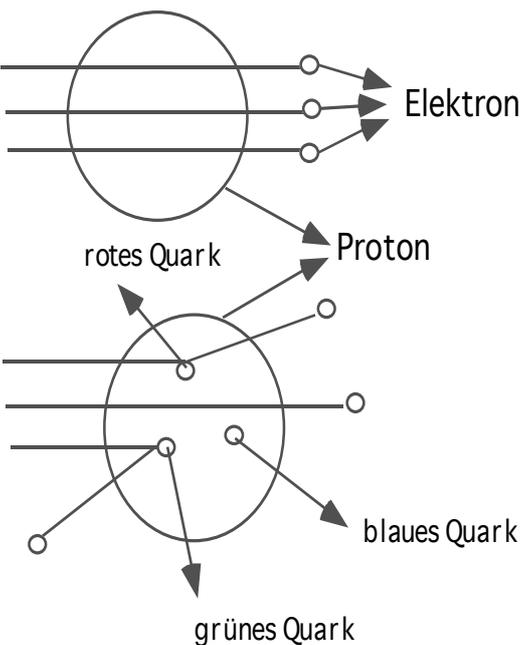
Quarks können nur in Zweier- oder Dreiergruppen existieren. Die Teilchen aus zwei Quarks werden Mesonen genannt, die Teilchen aus drei Quarks nennt man Baryonen. Quarks haben außer ihrer elektrischen Ladungen noch eine weitere sonderbare Eigenschaft, die man "Farbe" nennt. Man darf sich darunter keine echte Farbe vorstellen, sondern eine Art Ladung. Es gibt rote, blaue und grüne Quarks. Diese "Farben" können sich wie bei der additiven Farbmischung zu neuen "Farben" kombinieren. Stabil in der Natur existierende Teilchen müssen immer farbneutral sein - also die Mischfarbe weiß haben: eine Dreiergruppe aus einem roten, einem grünen und einem blauen Quark bildet zum Beispiel ein Proton. Ein rotes und ein antirotes Quark könnten ebenfalls ein Paar bilden. Da solche Paare jedoch aus Materie und Antimaterie bestünden, sind sie nicht stabil und zerfallen durch Zerstrahlung.

Drei Teilchen sind für den Aufbau der normalen Materie wichtig, die u-Quarks, die d-Quarks und die Elektronen. Quarks bilden Proton und Neutron. Diese bilden die Atomkerne, und die Elektronen kreisen um den Kern. Atome schließen sich dann zu Molekülen zusammen. Millionen dieser Moleküle bilden schließlich eine Zelle oder einen anorganischen Stoff.

Die Quarks entdeckte man, ähnlich wie Rutherford vor 75 Jahren die Atome, indem man Protonen und Neutronen mit Elektronen beschöß. Auch hier flogen die meisten Elektronen durch die Nukleonen hindurch, ohne ihre Flugbahn zu ändern. Einige wurden jedoch sehr stark abgelenkt oder sogar zurück gestreut.

Zwischen den Elementarteilchen wirken bestimmte Kräfte, die man die vier Urkräfte nennt. Die vier Urkräfte (auch Wechselwirkungen genannt) werden durch sogenannte Austauschteilchen übertragen.

1. Die starke Kraft (Farbkraft): Sie bindet die Quarks aneinander. Bei der starken Kraft heißen die Wechselwirkungsteilchen Gluonen. Diese fliegen zwischen den



Ganz ähnlich wie bei Experiment von Rutherford untersuchte man auch die Struktur von Proton und Neutron: Man streute Elektronen an Atomkernen. Wieder beobachtete man, daß die Elektronen an bestimmten Streuzentren gestreut wurden.

Quarks ständig hin und her und wirken wie ein Klebstoff. Die starke Kraft hat nur eine kleine Reichweite und ist außerhalb des Atomkerns fast verschwunden.

2. Die elektromagnetische Kraft. Sie tritt bei elektrischen Ladungen auf. Unterschiedlich geladene Teilchen ziehen sich an und gleichgeladene Teilchen stoßen sich ab. Diese Kraft wird von den Photonen übertragen, die zwischen den geladenen Teilchen ausgetauscht werden. Die elektromagnetische Wechselwirkung hat eine unendliche

Reichweite und nimmt mit dem Quadrat der Entfernung ab.

3. Die schwache Kraft. Viele Teilchen unterliegen weder der starken noch der elektromagnetischen Kraft (zum Beispiel wenn sie keine Ladung und keine "Farbe" haben). Die schwache Kraft wirkt nur auf sehr kurze Distanzen, aber ihr sind ohne Ausnahme alle Elementarteilchen ausgesetzt. Sie wird von den sogenannten W- und Z-Bosonen übertragen.

4. Die Gravitationskraft. Sie wirkt zwischen allen Teilchen, die eine Masse haben. Sie ist aber, gemessen an den anderen Urkräften, sehr schwach. Sie ist in der Astronomie die entscheidene Kraft. Wie auch die elektromagnetische Kraft hat sie eine unendliche Reichweite und nimmt mit dem Quadrat der Entfernung ab.

Die Grundbausteine der gesamten Materie sind zwölf "echte" Elementarteilchen. Sie werden in zwei Gruppen unterteilt, es gibt sechs Quarks und sechs Leptonen.

1.3 Wie entstehen Sterne und Planeten?

In unserer Milchstraße gibt es unzählige Gasnebel, zum Beispiel den Orionnebel im Sternbild Orion. Diese Nebel sind Geburtsstätten für Sterne. In einer solchen Gaswolke bilden sich Gebiete, die sich durch Gravitation weiter verdichten. Durch den steigenden Druck steigt die Temperatur an. Mit zunehmender Kontraktion dreht sich das Gebilde auch schneller. Durch die Fliehkräfte plattete sich die Kugel nach außen hin ab, und in der Mitte bleibt ein Zentrum, das die meiste Masse in sich vereinigt und sich weiter zusammenzieht. Das Zentrum nennt man Protostern. Erreicht ein Protostern durch die steigende Dichte die Zündtemperatur zur Kernfusion, so fängt er an, hell zu leuchten.

Einen solchen Vorgang kann man zur Zeit in den Plejaden beobachten. Dort ist eine Region, in der viele Sterne entstehen. Sie leuchten alle noch mit einem sehr blauen Licht, was darauf hindeutet, daß sie noch sehr jung sind. Sie sind auch noch von einer Materiewolke umgeben, die vielleicht einmal die Geburtsstätte von Planeten sein kann.

In der Scheibe, die sich um einen Stern gebildet hat, sammeln sich nicht nur Wasserstoff und Helium, sondern auch schwerere Elemente (ca. 1%). Diese Elemente stammen von früheren Supernovae, die bei ihren Explosionen diese schwereren Elemente in den Raum verteilten. Die Scheibe ist anfangs noch sehr heiß und kühlt sich erst langsam ab. Durch die Abkühlung können die Elemente kondensieren und Körnchen bilden. Die Körnchen können sich zu Klumpen zusammenschließen, die weitere Körnchen anziehen. Diese Periode von der Abkühlung bis zur Klumpenbildung dauerte etwa 1000 Jahre.

In dieser Phase stoßen die Klumpen zusammen. Sind sie sehr schnell, so brechen sie auseinander. Sind sie jedoch langsam genug, so schließen sie sich zu einem größeren Körper zusammen. So wachsen die Körper bis zu 1000 km Größe zusammen. Es entsteht eine riesige Anzahl von Protoplaneten, die sich in einem zweiten Prozeß zu richtigen Planeten zusammenfügen können. Dieser Vorgang dauert etwa 100 Millionen Jahre.

Wegen der Impulserhaltung aller sich bewegende Materieteilchen bleibt die Bewegung der Planeten mehr oder minder in der ursprünglichen Ebene. Das restliche planetarische Material kann zum Beispiel in die Umlaufbahn um einen Planeten eintreten. So entstehen Monde und Ringe. Viel protoplanetares Material sammelt sich auch in bestimmten Bereichen. In unserem Sonnensystem zum Beispiel hat sich solches Material in dem sogenannten Asteroidengürtel zwischen Mars und Jupiter gesammelt. Außerhalb der Plutobahn gibt es den sogenannten Kuipergürtel. Dort kommen die meisten Kometen her.

Kuipergürtel

1.4 Warum leuchten Sterne?

Wenn wir nachts an den Himmel schauen, sehen wir eine Vielzahl von Sternen. Unsere Sonne ist auch ein Stern, er ist uns bloß so nah, daß er uns sehr groß erscheint. Ohne die Sonne wären wir nicht lebensfähig, denn sie hält unseren Planeten angenehm warm, und Wasser kann in flüssiger Form existieren.

Was Sterne zum Leuchten bringt, ist eigentlich die in ihrer Masse konzentrierte Energie. Eine riesige Gasmenge zieht sich durch die Gravitation zusammen. Da die Dichte ständig zunimmt, fangen die Teilchen an, sich zunehmend aneinander zu reiben. Durch den steigenden Druck steigt die Temperatur der Gaswolke immer weiter an, und das Gas fängt an zu leuchten, so wie auch eine Flamme leuchtet (thermische Anregung). Steigt die Temperatur noch weiter, so wird bei einigen tausend Grad (das Gas ist im Plasmazustand - Elektronenhülle und Kern sind getrennt) die Kernfusion gezündet.

Vereinfacht dargestellt, geschieht bei der Kernfusion folgendes: aus vier Wasserstoffatomen entsteht über mehrere Zwischenstufen durch Kernverschmelzung ein Heliumkern. Erreicht ein Stern die Temperatur zur Zündung der Kernfusion nicht, so strahlt er seine ganze Energie ab. Er kühlt sehr schnell ab, und sein Leuchten wird schwächer. Solche Sterne nennt man schwarze Zwerge.

Vier einzelne Wasserstoffkerne zusammen sind schwerer als ein Heliumkern. Man spricht von einem Massedefekt. Diese "verschwundene" Masse wird bei der Kernfusion in Energie umgewandelt. In der Sonne werden pro Sekunde etwa 564 Millionen Tonnen Wasserstoff in 560 Millionen Tonnen Helium umgewandelt. Nur 4 Millionen Tonnen, also 0,7% des Brennstoffes werden in Energie umgesetzt. Aber nach der Formel $E = mc^2$ ist das sehr viel Energie.

Obwohl die Sonne schon heute im Inneren mehr Helium als Wasserstoff im Gegensatz zu den Außenbereichen aufweist, wird sie noch rund 5 Milliarden Jahre leuchten. Danach wird sie sich aufblähen und zu einem roten Überriesen werden. Noch später, wenn aller Brennstoff verbraucht ist, wird sie in sich zusammenstürzen und zu einem kleinen weißen Zwerg werden.

Die Energie wird vom Sonneninneren abgestrahlt und über Konvektionsströme nach außen transportiert. Dies kann man mit Wasser vergleichen, welches erhitzt wird. In der Mitte des Topfes steigt das warme Wasser nach oben und an den Rändern sinkt das kalte Wasser wieder ab.

Die Sonne hat eine Gesamtstrahlungsleistung von $3,83 \cdot 10^{23}$ kW. Rechnet man die Leistung auf einen Quadratmeter der Sonnenoberfläche um, sind das etwa 63.000 kW/m^2 . Dies entspricht etwa der Leistung von einer Millionen Glühbirnen, oder ca. 63.000 Heizsonnen, oder rund 63 Kraftwerksblöcke mit einer Leistung von

1.000 MW. 1 Quadratmeter der Erde bekommt durch den Raumwinkel noch etwa 1 kW Energie ab. Das reicht aus, um unseren Planeten für Lebewesen bewohnbar zu machen.

Albert Einstein entdeckte, daß Masse in Energie umgewandelt werden kann. Er erkannte, daß Masse und Energie physikalisch gleichwertig sind. Masse und Energie sind verschiedene Erscheinungsformen der Materie, die sich ineinander umwandeln können. Die Formel $E = mc^2$ beschreibt diese Äquivalenz. E ist der Energiebetrag, m die Masse und c die Lichtgeschwindigkeit im Vakuum.

Die Energiemenge, die bei der Umwandlung von Masse entsteht, ist für unsere Begriffe riesig. Bei der Fusion von einem Gramm Wasserstoff zu Helium wird 20 Millionen mal mehr Energie frei als bei der Verbrennung von einem Gramm Steinkohle.

1g Wasserstoff, das zu Helium fusioniert, gibt eine Energiemenge von ca. 25 Millionen kWh ab. Diese würde ausreichen, um eine mittelgroße Stadt einen Monat lang mit Energie zu versorgen.

1.5 Wie sieht unser Sonnensystem aus?

Unser Sonnensystem setzt sich aus der Sonne, ihren neun Planeten, den Asteroiden und unzähligen Kometen zusammen. Zu den Planeten gehören noch deren Monde und eventuell vorhandene Ringe.

Unsere Sonne hat einen mittleren Erdbstand von 149.597.896 km. Für diese Entfernung benötigt das Licht der Sonne 499 Sekunden oder 8 Minuten und 19 Sekunden. Der Abstand vom Milchstraßenzentrum beträgt ca. 25.000 Lichtjahre (1 Lichtjahr = 9,461 Billionen Kilometer). Für eine vollständige Umrundung des Zentrums braucht unsere Sonne ca. 225.000.000 Jahre, das heißt die Sonne hat in ihrem Leben schon etwa 18 mal das Milchstraßenzentrum vollständig umkreist.

Die Sonne hat etwa das 1.300.000fache Erdvolumen und die 333.000fache Erdmasse; ihre durchschnittliche Dichte liegt damit weit unter der der Erde - sie beträgt etwa $1,4 \text{ g/cm}^3$. Die Oberflächentemperatur liegt bei 6.400 K, die Zentrums-temperatur schätzt man auf 15 Millionen K.

Die Sonne hat schon die Forscher des Altertums interessiert. So stammt die erste Schätzung der Sonnenentfernung aus dem Jahre 270 v. Ch. von Aristarch von Samos. Er gab die Entfernung mit umgerechnet 4.800.000 km an. Die erste annähernd richtige Schätzung lieferte von G.D. Cassini im Jahre 1673. Er schätzte die mittlere Sonnenentfernung auf 138.300.000 km. Heute ist der Abstand mit 0,001 %iger Genauigkeit bekannt. 1971 legten die Forscher einen mittleren Abstand von 149.598.000 km fest. Diese Strecke nennt man eine astronomische Einheit (1 AE).

Nicht nur die neun Planeten weisen eine Eigenrotation auf, auch die Sonne dreht sich um sich selbst. Erste Hinweise dafür fand Galilei, der mit dem Fernrohr im Jahre 1610 Sonnenflecken beobachtete. 1863 entdeckte Richard Carrington die differentielle Rotation der Sonne - er stellte fest, daß die Sonne an den Polen schneller rotiert als an den Äquatorregionen.

Die Sonne bezieht ihre Energie aus der Kernfusion von Wasserstoff zu Helium (s.a. Abschnitt: Warum leuchten die Sterne).

1848 noch dachte man (die Kernfusion war noch nicht entdeckt), die Sonne beziehe ihre Energie aus Meteoriten, die auf die Sonne stürzen. 1884 stellte H. von Helmholtz die Theorie auf, daß die Sonne sich zusammenzieht und dadurch Energie gewinnt. Aber man errechnete, falls sich die Sonne zusammenzöge, würde sie nur etwa 15 Millionen Jahre alt werden. Das Alter der Erde war aber damals in etwa bekannt.

Von der Sonne geht ständig ein Strom elektrisch geladener Teilchen aus. Dieser Strom wird als Sonnenwind bezeichnet. Er setzt sich vorwiegend aus Elektronen,

Protonen und wenigen Alphateilchen zusammen.

Dieser "Wind" strömt mit einer Geschwindigkeit von 200-900 km/h von der Sonne fort. Der Sonnenwind tritt an den polaren Gegenden der Sonne aus. Dort sind die Feldlinien des Sonnenmagnetfeldes gegen den Weltraum offen. Hier kann das Plasma (s. Abschnitt: Warum leuchten Sterne) als Sonnenwind in den Weltraum strömen.

Bei großer Aktivität der Sonne kommt es zu magnetischen Stürmen auf der Erde. Energiereiche Teilchen dringen über die Strahlungsgürtel der Erde in die Hochatmosphäre ein und lösen die Polarlichter aus. Die Strahlungsgürtel sind Gebiete der Erdmagnetosphäre, in die hauptsächlich Elektronen und ionisierte Atome eindringen. Sie wurden 1958 durch die Auswertung der Daten des Explorersatelliten von James Alfred van Allen entdeckt. Diese Gürtel stellen eine erhebliche Gefahr für die Raumfahrt dar, da dort die Strahlungsdosis höher und für Menschen tödlich ist.

Eine interessante Erscheinung in unserem Sonnensystem sind Sonnenfinsternisse: bei einer Sonnenfinsternis schiebt sich der Mond zwischen Erde und Sonne und verdeckt dabei die Sonne. Auf der Erde wird es dunkel, und man kann die Sterne sehen. Man unterscheidet zwei Arten von Sonnenfinsternissen: die partielle und die totale Finsternis. Bei einer partiellen Finsternis verdeckt der Mond nur teilweise die Sonne, bei einer totalen Finsternis schiebt sich er sich vollständig vor die Sonne. Eine völlige Verdeckung kann wegen der Größenverhältnisse maximal 7 Minuten und 31 Sekunden dauern. 1935 war ein Jahr der Finsternisse. Es gab in jenem Jahr 5 Sonnenfinsternisse und 2 Mondfinsternisse.

Der sonnennächste Planet ist der Merkur. Er ist etwa 58 Millionen Kilometer von der Sonne entfernt. Sein Durchmesser am Äquator beträgt 4.878 km. Die Oberflächentemperatur auf der Tagseite ist sehr hoch (etwa 350 °C), während die der Nachtsei-

totale Sonnenfinsternis

te auf -170°C sinkt. Der extremste Temperaturunterschied, der je auf dem Merkur gemessen wurde, ist 610 K. Er ist damit die stärkste Temperaturschwankung, die im Sonnensystem bekannt ist.

Für einen Umlauf um die Sonne braucht der Merkur 87,97 Erdentage. Ein Merkurtag ist 58,65 Erdentage lang. Die Rotationsachse des Merkurs ist nicht gegen die Bahnebene geneigt, aber die Umlaufbahn ist um 7° gegen die Ekliptik geneigt.

Die mittlere Dichte des Merkurs liegt bei $5,42\text{ g/cm}^3$ und entspricht damit etwa der Dichte der Erde. Die Masse des Merkurs beträgt wegen seiner geringen Größe aber nur 6% der Erdmasse.

Die erste erfolgreiche Raumsonde zur Erforschung des Merkurs war Mariner 10. Sie wurde am 3.11.1973 von den USA gestartet. Sie näherte sich dreimal dem Merkur und sendete wertvolle Daten an die Erde.

Der Merkur hat wie der zweite Planet des Sonnensystems, die Venus, keinen Mond.

Der Sonnenabstand der Venus liegt bei 108 Millionen Kilometern, damit ist

Merkurkarte

Merkur halb

Übersichtskarte des Merkurs nach den Mariner-10
Aufnahmen

Merkur aufgenommen von Mariner
10 aus 200000km Entfernung.

sie etwa doppelt so weit von der Sonne entfernt wie der Merkur. Die Venus ist annähernd so groß wie die Erde, ihr Durchmesser beträgt 12.104 km. Die Dichte ist auch der der Erde ziemlich gleich und beträgt $5,24 \text{ g/cm}^3$. Damit hat die Venus 86% der Erdmasse. Die Rotationsachse ist mit $177,3^\circ$ sehr stark gegen die Bahnebene geneigt.

Eine Besonderheit der Venus ist, daß ein Venustag länger als ein Venusjahr dauert. Während ein Tag 243 Erdentage hat, ist ein Venusjahr 225 Erdentage lang.

Die erste Landekapsel, die die Venus besuchte, wurde von der sowjetischen Raumsonde Verena 3 abgesetzt. Sie konnte keine Daten senden, denn sie wurde durch den hohen atmosphärischen Druck zerdrückt.

Venusoberfläche

Von der Sonne aus ist die Erde der dritte Planet des Sonnensystems. Sie ist im Mittel 149,6 Millionen Kilometer von der Sonne entfernt. Unser Heimatplanet hat einen Durchmesser von 12.756 km. Die Rotationsachse der Erde ist um $23,45^\circ$ gegen die Bahnnormale geneigt. Ein voller Umlauf um die Sonne dauert 365,25 Tage.

Durch die durchschnittliche Oberflächentemperatur von 22°C ist die Erde für biologisches Leben geeignet.

Die Erde hat einen Mond, der einen mittleren Abstand von 384.400 km zur Erde hat. Der Monddurchmesser beträgt 3.475,6km.

Die Schwerkraftkraft an der Mondoberfläche ist rund $1/6$ kleiner als die auf der Erdoberfläche. Ein auf der Erde 60kg schwerer Mensch würde auf dem Mond nur 10kg wiegen.

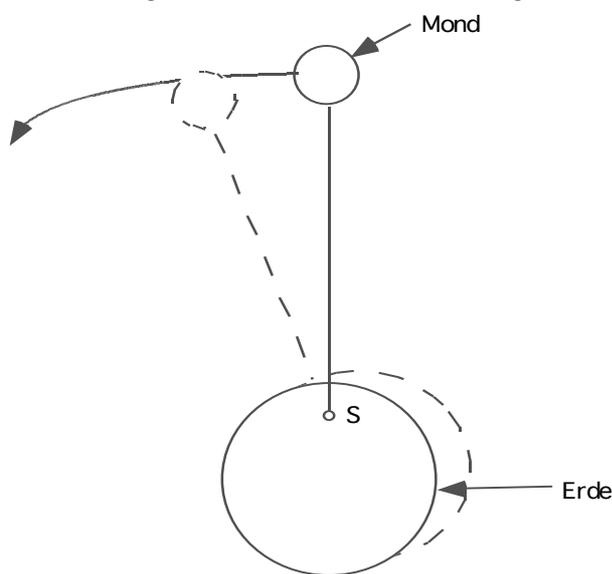
Der Mond wendet der Erde stets die gleiche Seite zu. Seine Rückseite bekommen wir von der Erde aus nie zu sehen, da eine Umdrehung des Mondes um sich selbst genauso lang dauert, wie ein Umlauf um die Erde (gebundene Rotation). Ein vollständiger Umlauf um die Erde dauert 27,3 Tage und wird siderischer Monat genannt. Die Zeit von Neumond bis Neumond heißt synodischer Monat und dauert 29,5 Tage. Der siderische Monat ist die reale Umlaufszeit um die Erde, der synodische Monat ist die scheinbare Umlaufszeit um die Er

Karte des von der Erde
aus sichtbaren Teils
des Monds

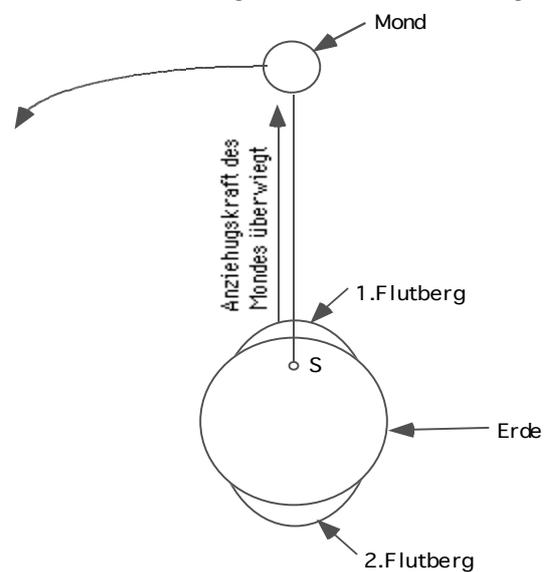
de. Dieser Unterschied kommt durch die Eigenbewegung der Erde zustande: der Mond muß die Erde erst wieder einholen, bevor er wieder an der selben Stelle relativ zur Erde steht.

Erde und Mond bewegen sich um ihren gemeinsamen Schwerpunkt. Dieser liegt etwa 10 km unter der Erdoberfläche, da die Erdmasse 81 mal größer als die Mondmasse ist. Während der Mond um diesen Schwerpunkt kreist, "eiert" die Erde um diesen Punkt. Die Verhältnisse lassen sich mit einer Wippe vergleichen: wenn man einen leichten Gegenstand ganz an das Ende der Wippe legt, so muß man einen wesentlich schwereren zweiten Gegenstand in die Nähe des Drehpunktes der Wippe legen, damit ein Gleichgewicht entsteht. So ist es auch bei Erde und Mond, nur daß der "Drehpunkt" unter der Erdoberfläche liegt.

Durch die Drehbewegung um den gemeinsamen Schwerpunkt entstehen Ebbe und Flut. Es gibt immer zwei Flutberge, einer, der zum Mond zeigt, und einer, der genau



Der Schwerpunkt Erde-Mond liegt unter der Erdoberfläche. Der Mond beschreibt annähernd einen Kreis um diesen Punkt, doch die Erde "eiert" um diesen Punkt.



Die Entstehung der zwei Flutberge durch Schwerkraft (1. Flutberg) und Fliehkraft (2. Flutberg).

gegenüber liegt. Der erste Flutberg entsteht durch die Schwerkraft des Mondes, der zweite resultiert aus der beschriebenen "eiernden" Bewegung der Erde, die eine eigene Fliehkraftkomponente bewirkt. Die Erde dreht sich unter diesen beiden Flutbergen durch, deshalb gibt es stets zwei Fluten (unterschiedlicher Ursache) am gleichen Ort pro Tag.

Durch die vom Mond verursachten Wasserbewegungen wird die Erdrotation langsam abgebremst. Die Flutberge wirken wie zwei Bremsbacken eines Autos. Vor 4 Milliarden Jahren dauerte vermutlich ein Tag nur eine Stunde, während er in 15 Milliarden Jahren schon 50 Stunden dauern würde.

Analog zu den Sonnenfinsternissen gibt es auch Mondfinsternisse. Dabei schiebt sich die Erde zwischen Sonne und Mond. Die Mondbahn ist um $5,15^\circ$ gegen die Ekliptik geneigt. Also gibt es auch zwei Schnittpunkte von Mondbahn und Ekliptik, die man Knoten nennt. Eine Mondfinsternis kann nur entstehen, wenn sich der Mond in einem der beiden Knoten befindet.

Die Menschen waren schon sehr früh in der Lage, Mondfinsternisse vorauszusagen. So sagte Kolumbus eine Mondfinsternis voraus, die ihm dann auch half, von den Indianern Proviant zu erhalten.

Auf dem Mond kann man schon mit bloßem Auge viele Einzelheiten erkennen, zum Beispiel die dunklen Gebiete des Mondes, die Mondmeere. Sie sind Täler, die vollständig mit Lava ausgefüllt sind. Die hellen Flecken auf dem Mond sind die Mondgebirge, man nennt sie auch Terra-Gebiete.

Der Mond hat heute kein Magnetfeld, es wird jedoch angenommen, daß es vor 3 Milliarden Jahren ein Magnetfeld gab.

Den ersten unbemannten Flug zum Mond sollte eigentlich Able 1 (USA) durchführen, aber beim Start am 17.8.1958 explodierte die Trägerrakete 77 Sekunden nach dem Start. Am 2.1.1959 schickte die Sowjetunion die Sonde Luna 1 zum Mond. Sie flog zwei Tage lang und umkreiste den Mond in 5.955 km Höhe. Die erste (unsanfte) Landung gelang mit Luna 2. Die erste weiche Landung auf dem Mond vollführte Luna 9 dann im Jahr 1966. Die erste bemannte Mondumrundung gelang mit dem amerikanischen Raumschiff Apollo 8, und mit Neil Armstrong betrat am 20. Juli 1969 der erste Mensch den Mond. Seine Fußabdrücke sind wahrscheinlich noch heute auf dem Mond zu erkennen, da es auf dem Mond keine Erosion durch Wind oder Wasser gibt.

Der nächstäußere Planet unseres Sonnensystems ist der Mars. Sein mittlerer Sonnenabstand beträgt etwa 228 Millionen Kilometer. Er ist fast doppelt so groß wie unser Mond. Seine Rotationsachse ist ähnlich wie die der Erde um $23,99^\circ$ gegen die Bahnebene geneigt. Ein Marstag ist 24,62 Stunden lang, aber ein Marsjahr dauert 687 Tage, ist also fast doppelt so lang wie ein Erdenjahr. Auf dem Mars gibt es auch Jahreszeiten, die auf die annähernd gleiche Neigung der Rotationsachse wie bei der Erde zurückzuführen sind. Neben der Erde bietet der Mars von allen Planeten noch am ehesten die Bedingungen für biologisches Leben

Früher glaubte man noch, auf dem Mars gäbe es Menschen. Um mit den Marsmenschen in Kontakt zu treten, hatte Carl Friedrich Gauß 1802 die Idee, große geometrische Figuren in der sibirischen Tundra auszulegen. 1819 kam J.v. Littrow auf den Gedanken, Feuer in der Sahara zu entzünden. Noch verrückter erscheint die Idee des Franzosen Charles Cros: er wollte 1874 mit Hilfe eines riesigen Brennglases Sonnenhitze auf die Marswüsten lenken und so Botschaften "zeichnen".

Der Mars hat zwei Monde, die von ihrer Form zwei riesigen Felsblöcken ähneln. Sie heißen Phobos und Deimos und sind 10 bzw. 15 km groß.

Marsoberfläche

Jupiter, der 5. Planet des Sonnensystems, hat dagegen 16 Monde. Vier dieser Monde hat Galileo Galilei schon 1610 mit dem Fernrohr entdeckt. Sie heißen Ganymed, Europa, Callisto und Io. Diese Monde werden auch die vier Galileischen Monde genannt.

Der Jupiter ist im Mittel 778,34 Millionen Kilometer von der Sonne entfernt. Er ist der größte Planet im Sonnensystem. Da er ein Gasplanet ist, hat er von Pol zu Pol einen anderen Durchmesser als am Äquator, denn die Fliehkraft der Eigenrotation flacht den Planeten ab. An den Polen mißt der Planet 133.800 km, am Äquator hat er einen Durchmesser von 142.796 km. Am Äquator rotiert Jupiter schneller als an den Polen. Ein Tag auf dem Gasriesen dauert 9,84 Stunden. Für einen Umlauf um

die Sonne braucht er 11,86 Jahre.

Das wohl auffälligste Merkmal des Jupiters ist sein großer roter Fleck. Wahrscheinlich hat ihn Robert Hook im Jahr 1664 bereits gesehen. Mit Sicherheit wurde er aber

Jupiter&Monde

Jupiter und seine vier großen Monde. Diese Bildmontage entstand aus Voyager-1 Aufnahmen aus dem März 1979, Reihenfolge von vorn nach hinten: Callisto, Ganymed, Europa, Io.

Der große rote Fleck

Der große rote Fleck, aus 2,6 Mio km Distanz aufgenommen von Voyager-2 am 6.7.1979.

von Cassini im Jahr darauf beobachtet. Der Fleck ist manchmal schwächer und manchmal stärker zu sehen. In seiner größten Ausdehnung ist der große rote Fleck etwa 40.000 km lang und 14.000 km breit. Man nimmt an, daß der Fleck ein Sturmwirbel ist, der schon über 100.000 Jahre existiert.

Der Jupiter besteht wahrscheinlich aus einem 20.000 km großen Kern aus Eis und Silikaten. Die Temperatur dort beträgt etwa 30.000 °C, aber der enorme Druck verhindert, daß das Eis schmilzt. Von innen nach außen folgt dann eine 44.000 km dicke Schicht aus metallischem Wasserstoff und Helium. Dann folgt eine Schicht mit flüssigem Wasserstoff bei einem Druck von 3 Megabar. Hier herrscht eine Temperatur von 11.000 °C. Außen befindet sich dann eine etwa 1.000 km dicke Atmosphäre.

Eine weitere Besonderheit des Jupiters ist, daß er 1,7mal mehr Energie abstrahlt, als er von der Sonne erhält. Die abgestrahlte Energie (Wärme)

stammt wahrscheinlich aus der Zeit der Planetenentstehung. Außerdem zieht sich der Jupiter langsam zusammen und gewinnt dadurch auch Energie.

Der Jupiter besitzt einen Ring, der von den Voyagersonden am 5.3.1979 (Voyager-1) entdeckt wurde. Die beiden Voyagersonden wurden 1977 in Cape Canaveral gestartet und verlassen jetzt das Sonnensystem. Voyager-2 wurde vor Voyager-1 gestartet, aber Voyager 1 flog einen ökonomischeren Kurs und überholte Voyager-2.

Der 6. Planet des Sonnensystems ist der Saturn. Er ist im Mittel 1.424 Millionen Kilometer von der Sonne entfernt. Für einen Umlauf um die Sonne braucht er ca. 30 Jahre. Ein Tag auf dem Saturn dauert 10,5 Stunden.

Das bekannteste Merkmal des Saturns sind seine Ringe. Die Ringe sind sehr unterschiedlich. Sie sind bis zu 19.000 km breit und haben Lücken von etwa 300 km. Die Ringe bestehen zum größten Teil aus Eis- und Gesteinsbrocken.

Der Saturn hat 23 Monde, er ist damit der "Rekordhalter" im Sonnensystem.

Mit 2.869,6 Millionen Kilometern mittlerem Sonnenabstand ist der Uranus der 7. Planet des Sonnensystems. Sein Durchmesser beträgt 50.532 km. Die Rotationsachse ist mit 97° sehr stark gegen die Bahnebene geneigt. Ein Umlauf um die Sonne dauert rund 84 irdische Jahre. Ein Tag dauert 17,5 Stunden.

Der Uranus wurde am 13.3.1781 mit einem 6-Zoll großen Spiegelteleskop mit einer Brennweite von 2,1 m von Wilhelm Herschel entdeckt. Durch Voyager-1, die am 24.1.1986 am Uranus vorbeiflog, wurden 10 weitere Monde und 11 Ringe entdeckt.

Der Neptun, der 8. Planet unseres Sonnensystems, ist der erste Planet, der durch Berechnungen gefunden wurde. Mit Hilfe von Störungen der Uranusbahn wurde die Bahn eines weiteren Planeten berechnet. Gefunden wurde er dann am 23.9.1846 von J. Galle und H.D. Arrest, zwei Berliner Astronomen. Hinweise auf eine Störung der Uranusbahn fand erstmalig T.J. Hussey.

Der Neptun ist durchschnittlich 4.496,7 Millionen Kilometer von der Sonne entfernt und hat einen Durchmesser von etwa 49.528 km. Der Umlauf um die Sonne dauert 165 Jahre. Ein Tag ist 0,76 Erdentage lang. Die Rotationsachse ist um $28,8^\circ$ gegen die Bahnebene geneigt.

Eigentlich ist der Neptun zur Zeit der 9. Planet des Sonnensystems. Der letzte bekannte Planet, der Pluto, kreist auf einer sehr stark exzentrischen Bahn um die Sonne. Auf seiner Bahn kommt der Pluto etwa 5 Millionen Kilometer näher an die Sonne als der Neptun. Zu einer Kollision kann es aber nie kommen, da

die Plutobahn $17,2^\circ$ über der Ekliptik steht, die des Neptuns nur $1,77^\circ$. Etwa 15% seiner Umlaufzeit läuft der Pluto innerhalb der Neptunbahn.

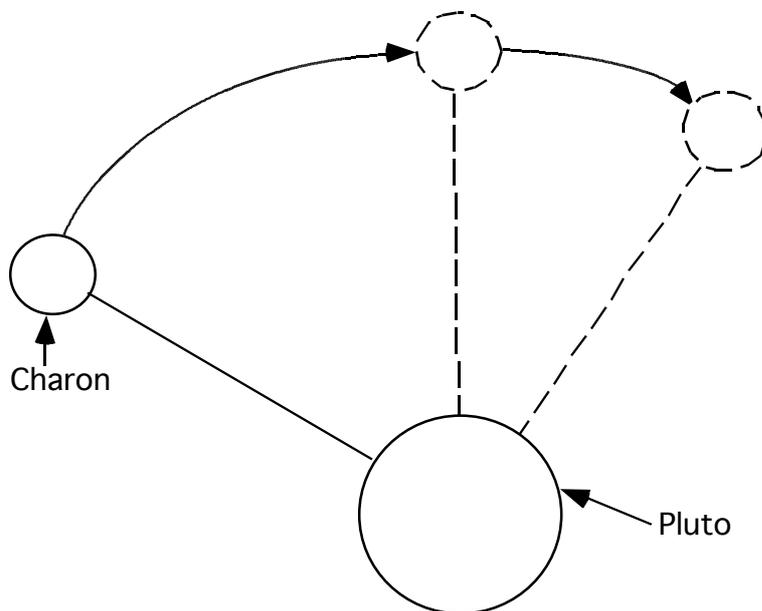
Der Pluto wurde erst am 29.1.1929 entdeckt. Clyde Tombaugh verglich zwei Photographien vom 23.1. und 29.1. . Dabei entdeckte er einen schwachen Lichtpunkt, der sich vor dem Hintergrund der Fixsterne weiterbewegt hatte.

Da der Pluto etwa 5 Milliarden Kilometer von der Sonne entfernt ist, erscheint sie von ihm aus nur noch als sehr heller Stern. Die Oberflächentemperatur des Pluto ist nahe dem absoluten Nullpunkt.

Pluto mit HST

Der Pluto hat einen Durchmesser von 2.300 km. Er hat auch einen Mond, den Charon. Ein Charontag ist genauso lang wie ein Plutotag (6,4 Erdentage). Durch die gebundene Rotation zeigt Charon immer mit der gleichen Seite zum Pluto. Außerdem steht der Charon immer gleich hoch über dem Horizont. Es scheint, als wären beide durch einen unsichtbaren Stab verbunden.

Von Pluto und Charon wird vermutet, daß es zwei ehemalige Neptunmunde sind, die durch den nahen Vorbeigang eines sehr massereichen Körpers aus der Bahn geworfen wurden.



Pluto und Charon: Planet und Mond scheinen wie mit einem unsichtbaren Stab verbunden zu sein.

Zu unserem Sonnensystem gehören außer den 9 Planeten noch zahllose Kleinkörper, zum Beispiel die Kometen. Das sind zum größten Teil aus Eis bestehende Brocken mit einer Größe von bis zu 10 km. Nichtperiodische Kometen erscheinen nur einmal und verschwinden dann wieder im Sonnensystem. Periodische Kometen erscheinen regelmäßig. Zu den bekanntesten periodischen zählt der Halleysche Komet, der nach seinem Entdecker Halley benannt ist. Halley erscheint etwa alle 76 Jahre in der Nähe der Sonne.

In der Nähe der Sonne bilden die

Kometen einen Schweif aus, der aus angetauten Eisstücken, die von dem Kometen abgelöst wurden, besteht. Der Schweif wird vom Sonnenwind zum Leuchten gebracht. Deshalb ist der Schweif stets von der Sonne abgewandt.

Halley

Von der Sonne aus gesehen gibt es zwischen den Bahnen von Mars und Jupiter den Asteroidengürtel. Asteroiden sind Felsbrocken mit einer Größe von bis zu 500 km. Die Asteroiden können sehr unregelmäßig geformt sein, was man durch die sich ändernden Lichtreflexe erkannte. Man vermutet, daß es über 50.000 Asteroiden gibt.

Außerdem findet man Meteore. Das sind winzig kleine Felssplinter, die, wenn sie in die Erdatmosphäre eintreten, sofort verglühen. Die meisten Meteore sind nicht größer als ein Stecknadelkopf und errei-

chen nach dem Eintritt in die Erdatmosphäre den Erdboden nie. Täglich treffen über 750 Millionen Meteore die Erdatmosphäre. Es gibt Eisen- und Steinmeteorite. Die Eisenmeteorite bestehen zu 90% aus Eisen, die Steinmeteorite dagegen hauptsächlich aus Silikaten.

1.6 Wie entwickelt sich unser Sonnensystem?

In etwa 5 Milliarden Jahren wird die Sonne den Wasserstoff in ihrem Inneren verbraucht haben. Dann wird sich die Fusionsreaktion bis in die Außenschichten ausbreiten, und die Sonne wird immer größer werden. Nachdem auch der Wasserstoff in den äußeren Hüllen verbraucht ist, wird das Helium "verbrannt" werden.

Die Sonne wird damit zu einem roten Riesen werden. Während sich die Sonne aufblähen wird, wird ihre Oberfläche immer kühler werden, bis sie schließlich nur noch rot leuchten wird. Die Sonne wird aber insgesamt heller strahlen, da sie sich enorm vergrößert haben wird. Sie wird so groß werden, daß sie Merkur und Venus verschlucken wird. Auf der Erde werden dann Temperaturen von 1.000°C herrschen, und alles Wasser wird verdampft sein. Viele Astronomen nehmen an, daß der Sonnenwind des roten Riesen die Atmosphäre der Erde "wegblasen" wird. Der Stern Betelgeuze im Sternbild Orion ist ein solcher roter Riese. Er ist allerdings so groß, daß die Umlaufbahn des Jupiters noch bequem in ihm Platz fände.

Am Ende dieses Prozesses wird die Sonne instabil werden, und die äußeren Hüllen werden wegen des gestörten Gravitationsgleichgewichts abgestoßen werden. Sie werden dann einen planetarischen Nebel bilden, in dessen Mitte die Sonne stehen wird. Die Sonne wird dann so heiß sein, daß sie weiß leuchten wird. Damit wird sie ein weißer Zwerg sein, dessen Masse nicht mehr ausreicht, um die Kernfusion aufrecht zu erhalten. Solche weißen Zwerge haben eine extrem hohe Dichte (mehrere Tonnen pro Kubikzentimeter). Weiße Zwerge leuchten nur noch solange, wie ausreichend thermische Energie im Inneren vorhanden ist. Sie werden dabei ständig schwächer und verblassen schließlich vollkommen und werden zu schwarzen Zwergen. Sie lassen sich dann nur noch indirekt durch ihre Gravitationswirkung beobachten.

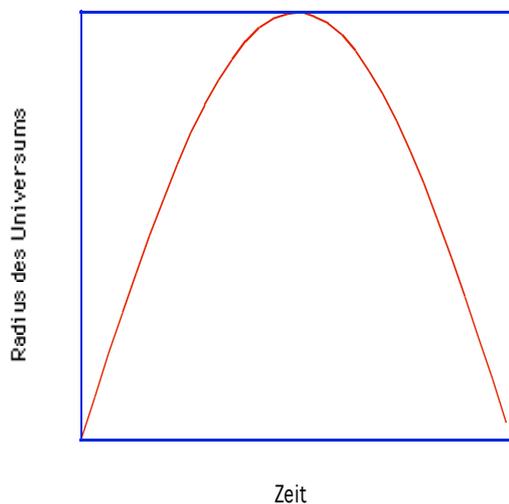
Nicht alle Sterne nehmen diese typische Entwicklung. Haben sie zum Beispiel eine Masse, die etwa fünfmal größer ist als die der Sonne, so enden sie in einer Supernova. Der Strahlungsdruck bei einer Supernova ist so groß, daß der Gravitationsdruck nicht in der Lage ist, den Stern stabil zu halten. Der Stern verbraucht seinen Brennstoff sehr schnell, und nach etwa 5 Milliarden Jahren endet sein Leben in einer riesigen Explosion. Dabei werden die schweren Elemente, die in der letzten Lebensphase des Sterns entstanden sind, weit in den Raum hinaus katapultiert. Diese Elemente können die Grundstoffe für spätere Planetenbildungen sein. Im Jahre 1054 wurde eine Supernova beschrieben, die so hell leuchtete, daß sie sogar am Tage zu sehen war.

1.7 Die Zukunft des Universums

Die Kosmologie stellt sich drei Szenarien vor, nach denen sich das Universum entwickeln kann.

Im ersten Szenario ist die Krümmung der Raumzeit (Einsteinsche Relativitätstheorie) größer als Null. Das heißt, das Universum hat einen Anfang und ein Ende. Der Raum ist in sich geschlossen, aber doch unendlich groß. Dies läßt sich folgendermaßen erklären: würde man eine Ameise auf einen Ball setzen, würde die Ameise nie an die Grenze dieses Balls kommen. Für die Ameise wäre der Ball unendlich, aber für einen äußeren Betrachter hätte er eine endliche Oberfläche. Würde die Ameise nun stets geradeaus krabbeln, so käme sie irgendwann wieder an ihrem Ausgangspunkt an, ohne dabei die Grenzen "ihres Universums" erreicht zu haben. Ähnlich könnte es bei einem Raumschiff sein, welches immer geradeaus fliegt. Es käme aufgrund der Raumkrümmung irgenwann wieder an der Erde an, ohne je die Grenzen des Alls erreicht zu haben.

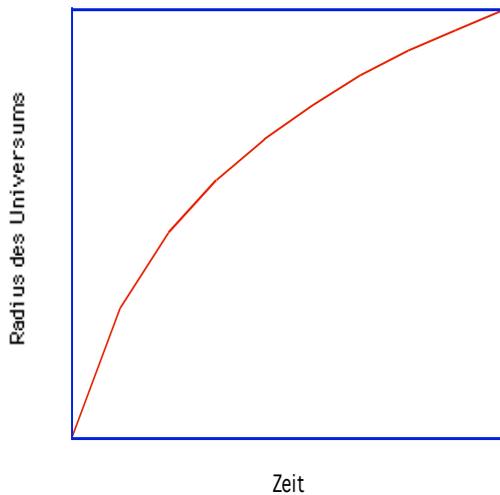
Bei einem geschlossenem Universum muß der Raum irgendwann wieder in sich zusammenstürzen. Der Zeitpunkt des Zusammenstürzens des Raumes, hängt von seiner Gesamtmasse ab. Ist die Masse oberhalb eines bestimmten Wertes (kritische Masse), so entsteht ein geschlossenes Universum, da die Gravitationskraft die



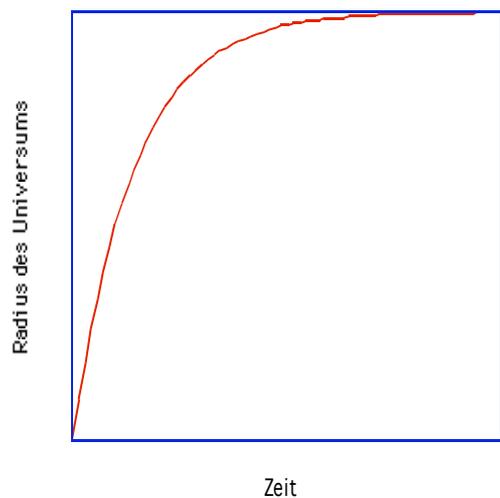
Die Masse des Universums reicht aus, um die Ausdehnung in eine Kontraktion umzuwandeln.

Expansion des Alls irgendwann in eine Kontraktion umwandelt. Ist die Masse unterhalb des kritischen Wertes, so gibt es zwei Varianten, wie das Universum weiter bestehen kann: ein flaches Universum oder ein offenes Universum. In einem flachen Universum liegt die Materiemenge knapp unterhalb des kritischen Werts. Die Ausdehnung des Universums käme hier nie zum Stillstand, sie würde sich aber immer mehr verlangsamen. In einem offenem Universum ist die Materiedichte so gering, daß die Ausdehnung annähernd gleichmäßig wäre. Die Masse des Universums entscheidet also über seine Zukunft.

Bei den unendlichen Universen gibt es wahrscheinlich irgendwann keine Ma



Die Masse ist weit unter der kritischen Masse.
Die Ausdehnung ist anähernd gleichmäßig.



Die Masse ist knapp unterhalb der kritischen Masse. Die Ausdehnung wird zwar immer langsamer, kommt aber nie zum Stillstand.

Zur Masse können möglicherweise auch die Neutrinos beitragen. Sie sind sehr sonderbare Teilchen. Sie sind so inaktiv (ihre Wechselwirkung mit anderen Teilchen ist sehr unwahrscheinlich), daß sie durch einen ganzen Planeten hindurchfliegen können, ohne auch nur mit einem einzigen Atom in Wechselwir

terie mehr. In sehr ferner Zeit werden alle Sterne erloschen sein, und die Planetensysteme sind zerfallen. Die Galaxien werden zu gewaltigen schwarzen Löchern zusammenschrumpfen. Neue Theorien behaupten, daß die Protonen, eigentlich stabile Kernbausteine, nach einer Lebenszeit von etwa $6 \cdot 10^{31}$ Jahren zerfallen können. Die Neutronen würden ebenfalls zerfallen, da sie ohne Protonen nicht existenzfähig sind. Um sich diesen Zeitraum zu verdeutlichen, ein Beispiel: Käme alle 10.000 Jahre ein Vogel auf die Erde und nähme jedesmal ein Gramm Erde mit, so hätte er nach $6 \cdot 10^{31}$ Jahren die ganze Erde abgetragen.

Nach noch längerer Zeit wären sogar die schwarzen Löcher zerfallen, wobei die enthaltene Masse zu Strahlung umgewandelt würde. Das Universum wäre dann eine tote Strahlungswüste.

Gegenwärtige Beobachtungen ergeben das Bild, daß wir in einem flachen Universum leben. Astronomen und Physiker entdecken jedoch immer wieder weitere Materie. So sind Galaxien offenbar in sogenannter interstellarer Materie (hauptsächlich Gas und Staub) eingebettet. Da die interstellare Materie nur in anderen Wellenbereichen des Lichts, als sie bisher zur Beobachtung benutzt wurden, sichtbar wird, nennt man sie auch dunkle Materie. Sie wurde deshalb auch erst später entdeckt.

kung zu treten. Bis jetzt weiß man nicht, ob Neutrinos eine Masse haben (bisherige Experimente konnten zwar eine Obergrenze für eine Masse angeben, eine Masse konnten sie jedoch nicht bestimmen). Haben die Neutrinos eine Masse, so würde diese möglicherweise ausreichen, das Universum in sich zusammenstürzen zu lassen, denn Neutrinos kommen überall im Weltall vor. In jeder Sekunde durchqueren etwa 65 Millionen Neutrinos einen Quadratcentimeter Materie, zum Beispiel auch unsere Haut. Da die Neutrinos so wenig wechselwirken, bräuchte man eine mehrere Lichtjahre dicke Bleiplatte, um alle Neutrinos mit Sicherheit auffangen zu können.

2. Die Raumfahrt

2.1 Die Erde erhält einen Kunstmond

Das Wort Satellit kommt aus dem Lateinischen und heißt so viel wie "Gefolge" oder "Begleiter". Ein Satellit im heutigem Sinne ist ein kleinerer Körper, der einen größeren umkreist.

Der erste Satellit der Erde ist also unser Mond, und bis zum 3.10.1957 war er der einzige Satellit der Erde. Am 4.10.1957 schoß die damalige Sowjetunion Sputnik 1 in eine Erdumlaufbahn. Sputnik heißt auf deutsch "Weggenosse".

Sputnik 1 (Zeichnung)

Sputnik 1 wurde genau 15 Jahre und einen Tag nach dem Start der ersten Großrakete im deutschen Peenemünde von dem sowjetischen Weltraumbahnhof Baikonur (westlich des Aralsees) aus ins All geschossen. Auf seiner Bahn entfernte sich Sputnik 1 956 km von der Erde und näherte sich ihr bis auf 229 km.

Sputnik 1 war eine 83,6 kg schwere Kugel mit einem Durchmesser von 58 cm. Der Satellit bestand aus einer Aluminiumlegierung, und er war mit Stickstoff gefüllt. Die Kugel, die von einer zweistufigen T-3- Rakete ins All geschossen wurde, war mit zwei Sendern ausgestattet, die ununterbrochen auf den Frequenzen von 40,002 und 20,005 Megahertz sendeten. Nach 21 Tagen waren die Bordbatterien erschöpft, und der erste Satellit verstummte. Nach 91 Tagen schließlich trat er in dichtere Luftschichten ein und verglühte.

Nicht einmal einen Monat dauerte es, bis die Sowjetunion eine weiteren Satelliten in eine Erdumlaufbahn beförderte. Zum ersten Mal war ein Lebewesen an Bord und damit im All: es war die Polarhündin Laika.

Sputnik 2 war ein kegelförmiger Körper mit 1,7 m Durchmesser. Der Satellit war schon 508,3 kg schwer. Nach 7 Tagen war der mitgeführte Sauerstoff verbraucht und Laika ging an Sauerstoffmangel zugrunde. Eigentlich hatte man vor, die Kapsel zurückzuholen, doch die Experten in Baikonur gaben an, die Bremsraketen hätten nicht präzise genug gezündet, und der Tod wäre nicht zu vermeiden gewesen.

Am 5.12.57 schien es, als könnten die Amerikaner den Vorsprung der Sowjetunion aufholen. In Cape Caneveral stand die 10 t schwere Vanguard-Rakete. Der Satellit war nur 1,5 kg schwer. Doch der Start gelang nicht. Nach mehreren Startverschiebungen explodierte schließlich die Rakete auf der Startrampe. 80 Tage später hatten die Amerikaner eine bessere Rakete und einen schwereren Satelliten gebaut. Die Jupiter-C-Rakete brachte 29,6 Tonnen auf die Waage und war 25 m hoch. Der "Explorer"(Entdecker) Satellit sollte in eine Höhe von 320 km gebracht werden.

Am 31.1.58 um 22:58 Uhr hob die Rakete ab. Der Explorersatellit war zwar kleiner als Sputnik 1, aber er verfügte über zahlreiche Meßinstrumente. So wurden mit ihm die Van-Allen-Gürtel entdeckt, um die Erde verlaufende Strahlungsgürtel (Teile der Magnetosphäre, in denen sich Teilchen des Sonnenwindes sammeln).

2.2 Der erste bemannte Raumflug

Der 27 jährige Juri Gagarin sollte der erste Mensch sein, der mit Hilfe einer Rakete in einer Kapsel die Erde umkreisen würde.

Am 12. April 1961 gegen 9 Uhr sollte er starten. Am Tag zuvor hatte er wie

Das sowietische Raumschiff Wostok vor dem Start in Baikonur

gewohnt mit Freunden Karten und Billiard gespielt. Auf eine Schlaftablette verzichtete er, und am nächsten Morgen um 5.30 Uhr wurde er geweckt. Er frühstückte und wurde noch einmal von einem Arzt untersucht. Nachdem man ihm seinen Raumanzug angelegt hatte, wurde er mit einem Bus zur Startrampe gefahren. Dort meldete er sich bei seinem Vorgesetzten ab und bestieg den Aufzug, der ihn zu seiner Kapsel beförderte.

Die Wostok-Kapsel, die Gagarin's Flugobjekt darstellte und auf deutsch "Kapsel des Ostens" bedeutete, war eine Kugel mit 2,65 m Durchmesser, zwei Luken und drei Bullaugen. Die äußere Schicht bestand aus isolierendem Kunststoff, und innen war die Kapsel mit Instrumenten zur Kursbestimmung und einem Funkgerät ausgestattet. Der Sauerstoff und die Energie wurden von einem Geräteteil geliefert, das während des Fluges mit der Kommandokapsel verbunden war und beim Wiedereintritt abgesprengt wurde. Insgesamt wog die Raumschiffkombination 4,7 t, wobei 2,5 t auf die Kapsel mit dem Astronauten entfielen.

Juri Gagarin

Nachdem Gagarin in die Kapsel geklettert war, prüfte er alle Meßeinrichtungen, so wie er es in seiner Ausbildungszeit gelernt hatte. Um 9.07 Uhr Moskauer Zeit hörte Gagarin die Befehle, die den Start vorbereiteten. Dann gaben die Raketentriebwerke dumpfe Geräusche von sich, und Gagarin spürte, wie sich die Rakete allmäh-

lich vom Boden entfernte. Außer einem kleinen Stückchen Himmel konnte er nichts erkennen, denn er war mit dem Rücken zur Erde festgeschnallt.

Nach dem Start drehte sich die Rakete in eine waagerechte Lage, und Gagarin schilderte mit sich überschlagender Stimme, was er sah: *"Ich sehe die Erde, Wälder, Flüsse, Wolken. Die Sicht ist gut. Der Flug geht normal weiter. Ich fühle mich gut. Alles an Bord funktioniert wie geplant."* Kurz nachdem sich die Trägerrakete vom Raumschiff getrennt hatte, erkannte Gagarin, daß die Temperatur um ein Grad von der Norm abwich und der Druck um eine Atmosphäre gestiegen war. Er spürte zum erstenmal den Zustand der Schwerelosigkeit und berichtete zur Erde: *"Es ist ungewohnt, aber auch angenehm. Man*

paßt sich schnell an. Ich fühle eine außergewöhnliche Leichtigkeit in jedem Glied."

In 42 Minuten überflog Wostok 1 das Hindukusch-Gebirge, den Indischen Ozean, die Südspitze Australiens und Feuerland. Bei etwa der Hälfte der Flugzeit gab es kurze Zeit keinen Funkkontakt, da ein Funkschiff ausgefallen war.

Über das Eintauchen in den Nachtschatten der Erde berichtete Gagarin später sehr eindrucksvoll: *"Die üblichen Orientierungshilfen, wie die Himmelsrichtungen, hatten für mich keine Bedeutung mehr. Orientieren mußte ich mich an einem sehr hellen Stern, den ich ein paarmal anpeilte, um mich zu vergewissern, daß ich die richtige Bahn einhielt. Die Sterne waren weitaus besser als von der Erde aus zu sehen, und die größten von ihnen hatten eine hellblau leuchtende Aureole, wie man es von der Sonne her kennt. Langsam wechselten die Farben von schwarz über violett und dunkelblau in ein zartes hellblau. Beim Heraustreten aus dem Erdschatten war der Horizont von einem orangefarbenden Streifen bedeckt, während sich die Morgensonne, die für mich nun zum zweiten Mal in kurzer Zeit hintereinander aufging, ankündigte. Der Streifen ging schnell in alle Regenbogenfarben über und machte schließlich dem glühenden Sonnenball Platz."*

Nach 68 Minuten Flugzeit kündigte der Flugplan die Rückkehr zur Erde an. Die Bremsraketen wurden gezündet, und das Raumschiff verlangsamte seinen Flug. Als Funken durch die Reibung an der dichter werdenden Atmosphäre entstanden und an dem Bullauge vorbeispritzten, wurde das Geräteteil, an dem sich auch die Bremsraketen befanden, automatisch abgesprengt. Nun flog die Kapsel allein, ohne das Gagarin irgendetwas an dem Kurs ändern konnte, ihrem Landeplatz entgegen und schlug dann in der Nähe des Dorfes Smelowka auf, etwa 30 km südwestlich der Stadt Engels an der Wolga.

Anna Akimowna, eine Bäuerin, und ihre sechsjährige Enkelin beobachteten die Landung des ungewöhnlichen Flugobjekts, welches etwa 350 m von ihnen entfernt aufschlug.

Aus der Luke stieg ein Mann in einer roten Uniform und ging auf die beiden zu und stellte sich als Luftwaffenoffizier vor. Sie boten ihm Milch an, doch er lehnte ab und sagte, daß er nur ein Telefon benötige. Traktoristen brachten ihn zu dem nächsten Telefon.

Die Kapsel war um 10.55 Uhr an der berechneten Stelle aufgeschlagen. Gagarin hatte die zweite von zwei Landemöglichkeiten ausgewählt. Mit der ersten hätte er sich mit dem Schleudersitz herauskatapultieren lassen können und wäre dann aus 700m Höhe mit dem Fallschirm gelandet. Gagarin entschied sich aber für die Alternative, mit der Kapsel aufzusetzen. Der Aufprall war zwar härter, aber dafür risikoloser. Er hatte die Landung ohne Verletzungen überstanden.

2.3 "That's one small step..."

Am 25. Mai 1961 meinte der amerikanische Präsident, daß sich die USA das Ziel stellen sollten, noch im gleichen Jahrzehnt einen Menschen auf den Mond zu bringen und ihn sicher wieder auf der Erde zu landen.

Sieben Jahre später begannen die insgesamt 15 geplanten Flüge des Apolloprogramms. Zuvor waren Flüge mit den Gemini-Kapseln durchgeführt worden, die aber lediglich zwei Personen aufnehmen konnten. Die Apollo-Kapseln konnten drei Personen aufnehmen.

Mit Apollo 7 wurde die Raumtauglichkeit des Apollosystems erprobt. Mit Apollo 8 wurde die erste Mondumkreisung verwirklicht. Apollo 9 und 10 sollten die inzwischen fertiggestellte Mondfähre testen.

Am 16. Juli 1969 startete Apollo 11 mit Neil Armstrong, Edwin Aldrin und Michael Collins an Bord. Sie sollten am 20. Juli auf dem Mond landen. Neil Armstrong war der Kommandant von Apollo 11 und Michael Collins war der Raumschiffpilot. Edwin Aldrin war der Steuermann der Mondfähre.

Erste Mondbesucher: Kommandant Neil Armstrong(Mitte), Raumfährenpilot Edwin Aldrin(links) und Raumschiffpilot Michael Collins(rechts).

Der Flug bis zum Mond verlief ohne große Probleme. In der Mondumlaufbahn wurde die

Mondfähre abgeworfen, und sie begann den Anflug zur Oberfläche. Als sich die Mondfähre nun dem Mond auf 1.500 m genähert hatte, ertönte in der Landefähre die Alarmglocke. Der Bordcomputer, der die gemessenen Entfernungen mit den gespeicherten Werten verglich und eventuelle Fehler beseitigte, war ausgefallen. Das Programm geriet total durcheinander, und da der Computer versuchte, alle Operationen noch einmal durchzuführen und darum keine Zahlenangaben mehr annahm, fiel er für die letzte Anflugphase ganz aus.

Die Navigationsexperten im Kontrollraum in Houston aber beruhigten die Astronauten, indem sie auf Programm 28 umschalteten und so die Überwachung des Landeanfluges übernahmen. Doch wenige Sekunden später drohte eine neue Gefahr. Bei einer Geschwindigkeit von 8 m/s und einer Höhe von 150 m über dem Mondboden erkannte Neil Armstrong mit einem Blick durch die dreieckigen Bullaugen, daß der vorgesehene Landeplatz, der noch 600 m entfernt war, mit Felsblöcken übersät war, die eine sichere Landung gefährdeten.

Wie er es schon tausendmal geübt hatte, schaltete er die manuelle Steuerung ein und mußte in 85 Sekunden einen geeigneten Platz finden. Hinter einem kleinen Krater meldeten die 1,7m langen Spürsonden schließlich Bodenberührung, und nachdem Armstrong das Triebwerk ausgeschaltet hatte, setzte der "Eagle" mit einem sanften Ruck auf.

Nachdem die Astronauten alle Systeme, die Landerichtung, die Landegeschwindigkeit und den Landewinkel überprüft hatten, gaben sie die Informationen an Houston durch. Neil Armstrong sprach ganz ruhig: *"Houston, hier ist die Station Tranquillitatis! Adler ist gelandet! Wir befinden uns hier an einer ziemlich ebenen Stelle, die jedoch viele Krater aufweist. Es gibt hier tausende dieser Krater, die meisten sind nur einen Meter breit, doch manche haben einen Durchmesser von 15m. Die Koordinaten sind 0° 42' 50" n.B. und 23° 42' 28" ö.L.."*

Nun sollten die Astronauten ihrem Arbeitsplan nachgehen, der vier Aufgaben vorsah. Die erste Aufgabe bestand darin, auf der Mondoberfläche einen Fahnenmast aufzustellen und die amerikanische Flagge zu hissen.

Dann sollte ein Laser-Reflektor aufgestellt werden, der eine genaue Messung der Mondentfernung erlauben sollte. Das Aufstellen eines Seismographen sollte ermöglichen, daß Mondbeben und ihre Stärke zur Erde übertragen werden.

Die amerikanische Flagge auf dem Mond, aus der Mondfähre fotografiert

Die 4. Aufgabe bestand lediglich darin, 27 kg Mondgestein einzusammeln und zu verpacken.

Sechseinhalb Stunden nach der Landung begannen Armstrong und Aldrin, sich auf den Ausstieg vorzubereiten. Es war inzwischen Montag, der 21.7.69, geworden, als Armstrong die Ausstiegsluke öffnete, auf die äußere Plattform trat und die neun Stufen zur Mondoberfläche herunter kletterte. Als er denn linken Fuß auf die Mondoberfläche setzte, schilderte er über Funk seine Eindrücke: *"Ich stehe auf der unteren Sprosse. Die Schalen der Landebeine sind nur drei bis fünf Zentimeter in den Boden gesunken. Die obere Staubschicht scheint sehr feinkörnig zu sein. Der Boden sieht wie Pulver aus. Ich trete jetzt von der Mondfähre herunter."* Dann sagte er den wohl berühmtesten Satz der Raumfahrt: *"That's one small step for man, one giant leap for mankind!"* - Dies ist nur ein kleiner Schritt für einen Menschen, aber es ist ein großer Schritt für die Menschheit. Armstrong hatte den Auftrag, diesen Satz zu sagen, damit er später einmal in den Geschichtsbüchern stehen sollte. Dann fuhr er fort: *"Die Oberfläche ist lose und pulvrig. Ich kann sie mit der Stiefelspitze aufwirbeln. Der Sand klebt wie Holzkohlenstaub daran. Ich sinke nur ein paar Millimeter in den Boden ein. Die Abdrücke meiner Schuhsohlen sind gut in den feinen Sandpartikeln zu sehen. Es macht keine Schwierigkeiten, sich hier zu bewegen. So wie wir es erwartet haben. Es geht sogar noch leichter, als wir es auf der Erde simuliert haben. Es macht überhaupt keine Mühe, hier herum zu laufen. Das Landetriebwerk hat auf dem Boden keine Krater hinterlassen, aber es sind einige Flammenspuren zu erkennen."*

Dann setzte Armstrong eine Fernsehkamera in Gang, deren Bilder alle Menschen auf der Erde am Fernseher verfolgen konnten. Insgesamt schauten etwa 1 Milliarde Menschen der Mondlandung am Fernseher zu. Houston aber drängte darauf, das Mondgestein einzusammeln, damit man bei einem eventuellen Notstart vorgesorgt hätte.

Inzwischen war auch Aldrin ausgestiegen und schilderte seine Eindrücke: *"Eine großartige Einöde hier oben. Man muß vorsichtig gehen, um die beabsichtigte Richtung einzuhalten zu können."*

Während dieser Zeit kreiste der Kommandokapselpilot um den Mond und versuchte, die Mondfähre unter sich auszumachen. Er bekam sie aber nicht zu Gesicht. *"Der Mond hat mehr Krater, als man uns erzählt hat,"* lautete die enttäuschte Antwort von Michael Collin.

Houston hatte inzwischen die Sprechverbidung zwischen dem Kommandanten Neil Armstrong und dem Weißen Haus hergestellt. Der Präsident Richard M. Nixon sprach mit stolzen Worten in Richtung Mond: *"Neil Armstrong und Edwin Aldrin, hier spricht der Präsident der Vereinigten Staaten. Ich spreche aus meinem Büro im Weißen Haus zu ihnen. Dies ist ein historisches Fernge*

spräch, wie es wahrscheinlich kein zweites geben wird. Ich habe die Hoffnung, daß die Eroberung des Mondes zum Frieden auf der Welt beiträgt."

Zweieinhalb Stunden nach dem Ausstieg schlossen die Astronauten die Luke wieder, und nach weiteren 12 Stunden begannen sie den Rückflug zum Mutterschiff, welcher auch ohne Probleme endete. Am Donnerstag, dem 24. Juli, um 17.50 Uhr MEZ landeten die Astronauten in dem vorgesehenen Landegebiet im nördlichen Pazifik.

Drei Wochen mußten die Astronauten in einer Quarantänestation bleiben, um sie auf mögliche Krankheitserreger vom Mond hin zu untersuchen, bevor sie zu ihren Familien zurückkehren durften.

In dem selben Jahr noch wiederholte Apollo 12 die Mondlandung erfolgreich und landete 180 m neben einer Mondfähre, die zweieinhalb Jahre vorher niedergegangen war. Apollo 13 hatte eine Explosion an Bord und die Mission mußte abgebrochen werden (siehe auch: "Houston, wir haben ein Problem!"), aber es kam glücklicherweise niemand zu Schaden. Apollo 14 wurde am 31. Januar 1971 gestartet und brachte 44 kg Mondgestein mit zur Erde. Mit Apollo 15 wurde das erste Mondauto zum Mond gebracht. Apollo 16 und 17 waren bis auf kleine Pannen auch erfolgreich. Mit Apollo 17, der letzten Mondmission, kamen 113 kg Mondgestein mit auf die Erde.

2.4 "Houston, wir haben ein Problem!"

Es ist Montag, der 13. April 1970, kurz nach 21 Uhr Houstoner oder 4 Uhr mitteleuropäischer Zeit. Die dritte Crew, die auf dem Mond landen soll, rast mit einer Geschwindigkeit von 3540 km/h dem Mond entgegen. Es sind James Lovell, Fred Haise und John Swigert.

Bis jetzt sind sie 55 Stunden und 50 Minuten im All unterwegs. Der Flug ist bis dahin ein Bilderbuchflug gewesen, zu uninteressant, befanden die großen amerikanischen TV-Sender, denn sie hatten auf eine Liveübertragung einer Fernsehsendung von Apollo 13 verzichtet. Im Gegensatz dazu: bei Apollo 11 kamen noch 1 Million Zuschauer nach Cape Kennedy in Florida. Etwa 1 Milliarde Menschen hatten die erste Mondlandung am Fernseher verfolgt. Zum Start von Apollo 13 kamen nur noch 70.000 Menschen, unter anderem Willy Brandt, der damalige deutsche Bundeskanzler.

Die Bodenstation funkte an Apollo: *"Wir langweilen uns zu Tode."* Dies sollte sich aber schlagartig ändern.

Die drei Männer hatten gerade eine Livesendung zur Erde beendet, und Swigert gab technische Daten an die Mission Control im NASA Manned Spacecraft Center in Houston, Texas, durch. Ein System meldete einen zu geringen Druck in einem der Sauerstofftanks. Houston wies Swigert an, die Heizelemente und Ventilatoren in dem Tank zu aktivieren. Dies war alles reine Routine.

16 Sekunden nach dem Anstellen der Heizelemente brach der Funkverkehr zur Erde zusammen. Das System schaltete automatisch auf die kleineren Hilfsantennen um. Swigert meldete: *"Okay, Houston. Hey we've got a problem here."*

Dies war wohl die größte Untertreibung in der Geschichte der Raumfahrt. Die drei hatten eine Explosion gehört und Lovell, der durch die Fenster nach draußen sah, meldete: *"Sieht aus, als würden wir etwas nach draußen blasen... , es ist irgendein Gas."* In Houston sagte ein Controller: *"Ich mag es nicht sagen, aber ich fürchte wir haben einen Tank verloren."*

Am 20. Juli '69 erst war Neil Armstrong mit Apollo 11 als erster Mensch auf dem Mond gewesen. Apollo 12 war nur wenige Monate später erfolgreich zum Mond geflogen. 1967 hatte sich einmal ein schwerer Unfall am Boden ereignet. Damals waren 7 Menschen in einer Apollokapsel verbrannt, nachdem man die Tür nicht mehr aufbekam.

Apollo 7 war dann als erstes ins All gestartet. Die folgenden Missionen bis Apollo 10 bauten die Mondlandung Schritt für Schritt auf. Ziel der NASA war es, mit Apollo 20 den Abschluß des Apolloprojekts zu bilden. Als nächstes Ziel

war

Schema der Odyssee

Schematischer Aufbau der Kommandokapsel und des Servicemoduls.
dann der Mars anvisiert.

An Apollo 13 hatten tausende von Spezialisten mitgewirkt, und es waren die besten, aber auch kompliziertesten Systeme verwendet worden. Die Rakete bestand aus 9 Millionen meist speziell angefertigten Teilen. Im Juni '69 kam

Schema des LM

Mondlandefähre im schematischen Aufbau: oben die Aufstiegsstufe, unten die Abstiegsstufe.

Apollo nach Cape Kennedy, und am 15.12. wurde sie auf der Startrampe A aufgestellt. Die Crew taufte die Mondlandefähre "Aquarius" und das Servicemodul "Odyssey". Dann wurden noch verschiedene Tests mit der Rakete gemacht und genau da begannen die Probleme.

Ende März arbeitete ein Team der Firma North American Rockwell an den bereits gefüllten Sauerstofftanks. Einer der beiden Tanks war schon in Apollo 10 ein-, aber wegen Modifikationen wieder ausgebaut worden. Während

dieser Zeit war er 5 cm tief aus seiner Halterung gefallen. Der Tank wurde für unbeschädigt befunden und in das Raumschiff eingebaut. Die Tanks mußten extrem belastbar sein, da während der Startphase Temperaturen von bis zu 100°C an der Außenhaut entstehen, während im Inneren ca. -180 °C herrschen.

Die Leerung der Tanks gelang nur bei einem vollständig, der andere gab lediglich 8% seines flüssigen Sauerstoffs heraus. 3 Tage später wurde es erneut versucht, doch auch diesmal ging das Vorhaben schief. Daraufhin entschied man sich für den sogenannten "boil off". Die Heizelemente des Tanks wurden aktiviert und der Sauerstoff sollte gasförmig herausgedrückt werden. Das Vorhaben gelang, aber es dauerte ungewöhnlich lang, nämlich 8 Stunden. Die NASA entschied, den Tank nicht zu wechseln, da man annahm, das lediglich der Einfüllstutzen kaputt sei und ein Wechsel des Tanks möglicherweise Komponenten des Raumschiffes beschädigen würde.

Damit war das Schiff verloren. Ein Pfennigartikel hatte versagt.

Die Firma North American hatte den Tank zwar gebaut, aber die Beech Aircraft Corporation einen Teil der darin installierten Elektronik, unter anderem zwei Sicherheitsschalter an den Heizelementen. Sie sorgten dafür, daß die Temperatur nie über 27°C stieg. Diese Schalter waren für eine Betriebsspannung von 28 Volt ausgelegt. 1965 änderte North American seine Vorgaben und legte jetzt 65 Volt an die Heizelemente. Die Beech Aircraft aber versäumte, die Schalter dementsprechend zu ändern.

Beim "boil off" stieg die Temperatur nun immer weiter an. Bei 27°C hätten die Schalter eigentlich öffnen sollen, doch sie waren von der höheren Spannung längst zerstört. Außerdem hätte die höhere Temperatur angezeigt werden müssen, doch der Anzeigeschirm ging nur bis 80°F, 27°C.

Experten schätzten später, daß die Temperatur in dem Tank auf über 540°C stieg. Diese enorme Hitze zerstörte wahrscheinlich Teile der Teflonschicht, die die Stromkabel der Ventilatoren isolierte. Dieser Tank sollte nun bald wieder mit Sauerstoff gefüllt werden, einem hochexplosiven Gas.

Die Crew trainierte derweil im Simulator. James A. Lovell war der Kommandant von Apollo 13. Er war schon über 572 Stunden im All unterwegs gewesen, damals länger als jeder andere Mensch. Lovell war verheiratet, und Apollo 13 sollte sein letzter Raumflug werden. Der Steuermann der Aquarius war Fred W. Haise. Der 36jährige gehörte zum NASA Testpilotenteam. Auch er war verheiratet, und seine Frau war im 7. Monat schwanger. Haise war Neuling im All. Der Pilot von Odyssey sollte eigentlich Thomas K. Mattingley werden, doch Anfang April kam die Crew trotz ihrer teilweisen Quarantäne in Kontakt mit Kinderkrankheiten. Lovell's Sohn hatte die Röteln und Mattingley's Blut wies keine Antikörper auf. Es bestand die Gefahr, daß er während des Fluges erkranken würde.

Die Vorschriften der NASA verlangten eigentlich den kompletten Wechsel des Te-

ams gegen eine sogenannte "backup crew", doch das ging nicht, da einer der Männer aus der "backup crew" Masern hatte. Nun hätte die NASA den Flug um einen Monat verschieben können, doch es war extrem schwierig, die Rakete solange störungsfrei auf der Startrampe zu lassen. Außerdem würde eine Verzögerung rund 800.000 \$ kosten.

Die NASA beschloß, ihre eigenen Vorschriften zu ignorieren und John L. Swi

Odyssey nach Explosion

Die Mondfähre mit Kommandokapsel und Servicemodul und die Stelle der Explosion.

gert aus der "backup crew" zu nehmen. Er war 38 Jahre alt, und auch er gehörte zum NASA Testpilotenteam. Er war zwar Neuling im All, doch er brachte zwei Dinge mit für den Flug, die mitentscheidend waren: er hatte zwei schwere Unfälle physisch und psychisch völlig unbeschadet überstanden, und er war Mitverfasser der Notfallkapitel im Bordbuch.

72 Stunden vor dem Start wurde Swigert offiziell zum Piloten der Odyssey ernannt. 28 Stunden vor dem Start begann der Countdown. Alle Systeme wurden noch einmal geprüft, die Batterien noch einmal geladen und die Tanks gefüllt. 4 Stunden und 17 Minuten vor dem "Take off" wurde die Crew geweckt, noch einmal untersucht, und sie frühstückte ein letztes Mal auf der Erde. 2 Stunden und 40 Minuten vor dem Abheben gingen die Männer in das Raumschiff. 15 Minuten vor dem Start wurden die externen Versorgungsleitungen gekappt. Das Schiff schaltete auf Bordbatterien um. 8,9 Sekunden vor dem "Lift off" zündeten die Triebwerke und bei "T minus 2 Sekunden" hieß es: "All engines running". Am 11.4.1970 um 14.13 Uhr Ortszeit Florida, oder 13.13 Uhr bei Mission Control in Houston hob die mit Treibstoff über 3.000 t wiegende Saturn-V-Rakete ab. Die fünf Triebwerke der ersten Stufe, die fast 13.000 l Kerosin pro Sekunde verbrauchten, arbeiteten 145 Sekunden lang. 5 Sekunden später war das Raumschiff bereits 9.800 km/h schnell und in einer Höhe von 65 km über dem Erdboden. Ein Triebwerk der zweiten Stufe hörte zu früh auf zu brennen, doch die blitzschnell arbeitende Automatik ließ die anderen fünf Triebwerke einfach 32 Sekunden länger an, um den Schubverlust auszugleichen. Als die zweite Stufe abgetrennt wurde, war das Schiff bereits 22.300 km/h schnell und 165 km von der Erde entfernt. Die dritte Stufe brachte das Schiff in eine Erdumlaufbahn.

12 Minuten nach dem Start hatte Apollo die Erdumlaufbahn erreicht. Nach der 2. Erdumkreisung zündete die 3. Stufe erneut und brachte Apollo auf Mondkurs. Um 17.14 Uhr CST (Houstoner Zeit) trennte sich die 3. Stufe ab und flog allein zum Mond, um dort ein künstliches Beben auszulösen, welches von den Seismometern der Apollo 12 Mission registriert werden sollte. Das Raumschiff war jetzt 38.800 km/h schnell.

Für die nächsten 2 1/2 Tage war es der langweilige Raumflug, für den sich niemand interessierte. Dies änderte sich schlagartig am 13.4. um 21.07 Uhr CST. Fernsehstationen aus aller Welt schickten ihre Teams nach Houston und Cape Kennedy. Die ganze Welt nahm Anteil. In Gottesdiensten wurde für die glückliche Rückkehr der drei Astronauten gebetet, Baseballspiele durch Gedenkminuten unterbrochen. Ein dutzend Staaten boten ihre Hilfe an, unter anderem die damalige Sowjetunion.

Amateurastronomen konnten das Schiff mit ihren Teleskopen verfolgen. Normalerweise wäre das Schiff zu klein gewesen, um gesehen zu werden, aber jetzt war Apollo von einer Wolke aus Trümmern und gefrorenem Sauerstoff

umgeben, die das Sonnenlicht reflektierte.

In Houston saß zum Zeitpunkt des Unglücks das "white team" unter der Leitung des 36 jährigen Flugdirektors Eugene Kranz. Die 15 Controller hatten sich eigentlich auf das Ende ihrer 10 stündigen Schicht gefreut, als Swigerts Funkspruch jegliche Routine beendete. Sie mußten die ersten lebenswichtigen Entscheidungen treffen. Den Spezialisten im Mission Operations Control Room (MOCR) war schnell klar, daß einer der LOX-Tanks (LOX=Liquid Oxygen=flüssiger Sauerstoff) explodiert war und zwei von drei Treibstoffzellen zerstört hatte. In den Treibstoffzellen wurde mit Hilfe eines Platinkatalysators aus Sauerstoff und Wasserstoff Energie gewonnen. Houston wies die drei Astronauten an, Energie aus der dritten Treibstoffzelle zu beziehen. Später erkannte man, daß auch die dritte Treibstoffzelle leck war. Die drei sollten auch diese Ventile schließen. Doch waren die Ventile erst einmal zu, konnten sie weder vom Schiff noch von Houston wieder geöffnet werden.

Apollo wirkte wie ein harpunierter Wal, der langsam ausblutete.

In Houston derweil überlegte man, die Mondfähre als eine Art Rettungsboot zu verwenden. Am 13. April um 22.50 Uhr CST wurde die Apollo 13 Mission offiziell als gescheitert erklärt.

18 Minuten vor dem totalen Zusammenbruch aller Systeme von Odyssey wechselten Lovell und Haise hinüber zu Aquarius. Zuerst schalteten sie den "life boat mode" ein. Dies waren alles Situationen, die nie im Simulator geübt worden waren. Ein Totalausfall aller Brennstoffzellen und zweier Sauerstofftanks galt als unrealistisch. Dann schalteten die Männer in Aquarius die Sauerstoffversorgung ein und aktivierten den Computer und übertrugen die Daten des Navigationscomputers der Odyssey in den Computer der Aquarius. Nie zuvor war eine Mondfähre so schnell in Bereitschaft versetzt worden.

Swigert unterdessen schaltete in Odyssey alle Systeme ab. Damit er noch atmen konnte, hatten sie kurzerhand aus einem Raumanzug einen Schlauch ausgebaut und an die Sauerstoffversorgung der Mondfähre angeschlossen und zu Swigert hinüber gelegt. Dann befand sich Odyssey im "zero-zero" Zustand.

In Houston wechselte derweil das "white team" mit dem "black team" unter der Leitung des 33jährigen Flugdirektors Glynn Lunney.

Fast 10.000 Menschen waren mit der Rettung der drei Männer beschäftigt, unter anderem auch Leute vom Massachusetts Institute of Technology (MIT). Sie hatten das Navigationscomputerprogramm geschrieben. Rund eine Stunde nach Alarm hatten sich 30 Spezialisten in Cambridge eingefunden, um eventuell auftretende Probleme zu besprechen. Ein paar 100 km südwestlich lag die Entwicklungszentrale der Grumman Aircraft. Sie hatten die Mondfähre gebaut und waren direkt mit Houston verbunden, um Problemlösungen zu er-

örtern.

In Houston trafen derweil etliche NASA Offiziere und Raumfahrer ein, um im Simulator Manöver zu testen. Manche Astronauten waren fast pausenlos im Simulator, doch es mußte ständig improvisiert werden, da an Apollo sehr viel zerstört war. Es wurde fieberhaft gerechnet, wieviel Vorräte an Sauerstoff und Wasser noch zur Verfügung standen. Erst schien es, als hätten sie nur noch für 38 Stunden Vorräte. Doch dann konnte Entwarnung gegeben werden: es waren noch 29 kg Sauerstoff und sechs voll geladene Batterien vorhanden. Nur Wasser würde knapp werden.

Nun stand eine Kursänderung auf dem Plan. Ein "deep space abort", also Kehrtwende mitten im Flug, kam nicht in Frage, da man nicht wußte, wie der Zustand des Triebwerks der Odyssey war. Man entschied, das Schiff auf einem "hybriden" Kurs zu lassen. Dieser führte um den Mond herum und beschleunigte das Schiff wieder in Richtung Erde. Allerdings würde so Apollo die Erde um rund 64.000 km verfehlen und in eine parabelförmige Umlaufbahn einschwenken, die Astronauten wären für alle Zeit im All gestrandet. Apollo mußte auf einen "free return trajectory" gebracht werden, einen Kurs, der so um den Mond führte, daß sie danach punktgenau auf die Erde zusteuerten. Es stand aber lediglich das Triebwerk der Aquarius zur Verfügung, und dieses war für diese Art von Manövern nicht gebaut und nur halb so stark wie das der Odyssey.

In Houston wurde in den Computern die Zeit für die Zündung berechnet. Da die NASA Techniker das Wort Improvisation nicht mochten, nannten sie dies "realtime mission planing". Am 14. April um 2.43 Uhr CST wurde das Triebwerk der Fähre für genau 30,7 Sekunden aktiviert. Jetzt war Apollo 354.000 km von der Erde entfernt und auf Erdkurs. Sie flogen in einer Höhe von 220 km über den Mond hinweg.

Jetzt waren ihre Chancen auf Heimkehr gewaltig gestiegen. In Houston gingen die Rechnungen derweil weiter. Die Fähre war jetzt zwar auf Erdkurs, würde aber rund 74 Stunden unterwegs sein und im Indischen Ozean wassern. Dies war weit ab jeglicher geplanter Zielgebiete.

Es wurden mehrere Varianten diskutiert: 1. Hinter dem Mond wird das Triebwerk der Odyssey gezündet. Sie wären rund 38 Stunden unterwegs und würden im Atlantik vor der Küste Brasiliens wassern. Diese Variante wurde verworfen, da man weiterhin nicht wußte, wie der Zustand des Triebwerks der Odyssey war. Außerdem würde dies alle Treibstoffreserven verbrauchen. Die zweite Variante sah die Abspaltung der Versorgungseinheit vor. Das Schiff wäre um rund 23,5 t leichter, und dies würde eine längere Zündung des Triebwerkes der Aquarius erlauben. Die Flugzeit läge bei rund 40 Stunden und sie würden im Südatlantik wassern. Diesmal aber wäre das Hitzeschild der Kommandokapsel schon 1 1/2 Tage eher den Gefahren des Weltraums

ausgesetzt. Würde aber das Hitzeschild beschädigt werden, würden die Männer beim Wiedereintritt "gekocht". Schließlich entschied man sich für einem Kompromiß zwischen zu langer Flugzeit und zu starker Belastung des Triebwerks. Das Triebwerk sollte nach der Mondumrundung gezündet werden. Sie würden dann nach 63 Stunden Flug rund 900 km südöstlich von Samoa wassern.

Nach 5 1/2 Stunden ununterbrochener Notmaßnahmen konnten sich die Männer erstmals zu einer Pause zurücklehnen. Am Abend des 14.4. flogen sie hinter den Mond, und als sie wieder hervorkamen, stand die Zündung bevor. Die Vorbereitungen erinnerten aber eher an die christliche Seefahrt, als an ein High-Tech-Unternehmen.

Zuerst mußte man die genau Position des Schiffes kennen. Normalerweise war dies kein Problem, da man sich an den Fixsternen orientierte. Doch jetzt war das Schiff von einer Wolke aus gefrorenem Sauerstoff umgeben, die das Sternenlicht reflektierte. Schließlich peilte Lovell Erde und Sonne an. Zur zeitlichen Orientierung dienten ihnen mechanische Armbanduhren, die 1965 offiziell als Weltraumuhren ausgewählt worden waren - eine der wenigen Nichtspezialanfertigungen. Mit der Stoppfunktion waren sie in der Lage, die Zeitdauer der Zündung zu überwachen.

Kurz später kollidierte die 3.Stufe der Saturn-V-Rakete mit der Wucht von 10 t TNT mit dem Mond. Die Seismometer registrierten ein starkes Beben.

Die Zündung sollte manuell gesteuert werden. Inzwischen war Apollo schon wieder 10.054 km vom Mond entfernt und 4.996 km/h schnell. Um 20.40 Uhr CST wurde das Triebwerk zum 2. Mal gezündet, und zwar genau für 2 Minuten und 24 Sekunden. Diese Zündung beschleunigte das Schiff auf 5.472 km/h.

Nun sah es aus, als hätten sie das Schlimmste überstanden, doch am Morgen des 15. Aprils zeigte sich eine neue tödliche Gefahr: Kohlendioxid. Die Luftfilter in Aquarius waren nur für zwei Personen ausgelegt. In Odysseus waren zwar genug Filter vorhanden, aber deren Einsätze waren eckig und die in Aquarius rund. In Houston arbeitete man heftig an einer Lösung.

In der Fähre war mittlerweile der kritische Wert erreicht, und das hieß, in spätestens 8 Stunden Ohnmacht und dann Tod durch Ersticken. Kurz später präsentierte man in Houston den "Wisconsin Milchfarm Fix". Dies war eine wirre Konstruktion aus Schläuchen von Raumanzügen, Pappe und Plastiktüten. Houston gab eine detaillierte Bauanleitung durch, und Lovell und Swigert bauten es nach. Die in weniger als 8 Stunden entworfene Konstruktion funktionierte; der Kohlendioxidwert sank.

Die nächsten 50 Stunden waren zermürend für die Männer. Aquarius war kaum geräumiger als eine Telefonzelle. Auf der Sonnenseite des Schiffes stieg

die Temperatur auf 120 °C, während auf der "Nachtseite" -130 °C herrschten. Korrekturdüsen versetzten das Schiff in den sogenannten "barbecue roll", ein Dreh um die eigene Längsachse. Da die Heizungen abgestellt waren um Strom zu sparen, sank die Temperatur in Odyssey auf 3 °C und in Aquarius auf 11 °C. Überall bildete sich Schwitzwasser, und die Sachen der Männer wurden

klamm. Die Männer hatten Odyssees erst Schlafzimmer genannt, aber dann in Eisschrank umgetauft. Haise litt am stärksten unter der Kälte. Er holte sich eine Blasenentzündung und bekam Fieber.

Außerdem litten die Männer an starkem Wassermangel. Jeder durfte nur noch 0,17 l Wasser pro Tag trinken, und es waren nur noch 35 Becher mit gelöstem Fruchtsaft da. Das meiste Wasser verbrauchten die Instrumente zur Kühlung. Swigert hatte ausgerechnet, daß sie 5 Stunden vor dem Wiedereintritt keine Kühlung mehr haben würden.

Am nächsten Tag gab Houston die Anweisung für den Wiedereintritt durch. Die Konzentration der drei Männer ließ ständig nach. Am folgenden Tag war noch eine kleine Kurskorrektur nötig. Lovell startete versehentlich Programm 40 statt 41. In Mission Control bemerkte man den Fehler und korrigierte ihn.

Dann wurde Odyssee aus dem "zero-zero" Zustand geholt, denn nur in der hitzegeschützten Kommandokapsel war der Wiedereintritt möglich. Dazu war die Trennung von Fähre, Kapsel und Versorgungseinheit nötig, aber in anderer Reihenfolge als üblich. Normalerweise blieb nämlich das Mondlandegefährt beim Erdtrabant zurück. Die Astronauten am Boden hatten ein Szenario ausgearbeitet, und es hing von den drei Astronauten ab, wie präzise sie arbeiteten, deshalb nahmen sie ein Aufputzmittel aus dem Medikamentenschrank der Fähre.

Swigert kroch zuerst zu Odyssee hinüber. Nach dem Umlegen der Schalter erwartete er eine Kaskade von Kurzschlüssen, aber nichts dergleichen geschah. Odyssee erwachte aus ihrem Tiefschlaf. Dann wurde das Schiff in seine Bestandteile zerlegt. Am 17.4 um 7.14 Uhr wurden die Explosivkörper gezündet, die das Servicemodul absprengten.

Jetzt konnten die Astronauten zum ersten Mal auf das Servicemodul schauen. Die Männer machten viele Fotos, die später zur Aufklärung des Unglücks beitrugen.

Kurz vor Erreichen der oberen Atmosphärenschichten stiegen sie in die Kommandokapsel um und sprengten die Fähre ab. Houston: "*Auf Wiedersehen Aquarius, wir danken dir.*" Lovell: "*Sie war ein gutes Schiff.*" Kurz darauf verglühte sie in der Atmosphäre.

Jetzt wurde die Erdanziehungskraft stärker und die Männer saßen in einer Dusche. Das Schwitzwasser regnete ab. Am 17.4. 1970 um 10.43 Uhr CST begann der Wiedereintritt, und 14 Minuten später wasserte Apollo nach 142 Stunden und 55 Minuten nur 750 m vom errechneten Zielpunkt im Pazifik. Der Flugzeugträger "Iwo Jima" war nur 6 1/2 km entfernt, und innerhalb von 10 Minuten hatten Kampfschwimmer, die aus Hubschraubern abgesprungen waren, die Männer geborgen.

Ein Untersuchungsausschuß der NASA fand noch im selben Jahr heraus, daß die blanken Drähte in einem der Sauerstofftanks die Explosion verursachten. Lovell meinte skeptisch: "*Ich fürchte, das war für lange Zeit das letzte Mondunternehmen.*" Doch dann wurden alle folgenden Missionen bis Apollo 17 ein voller Erfolg. Apollo 18-20 konnten aus Budgetgründen nicht mehr ausgeführt werden, da Präsident Nixon die NASA 1970 zu einem starken Sparprogramm zwang.

Mit der Mission hat die NASA einen alten Aberglauben gestärkt. Das Schiff hieß Apollo 13, es startete um 13.13 CST und die Explosion ereignete sich am 13 April. Da half die 5 mal 5 cm² kleine Mikrobibel von Lovell, die er eingeschmuggelt hatte, wohl auch nichts, oder vielleicht doch... ? Hätte sich die Explosion zu einem späteren Zeitpunkt ereignet, etwa beim Abstieg der Fähre zum Mond, dann wären die Männer wären einen Tod gestorben, den nie ein Mensch zuvor gestorben ist.

2.5 Das Verlustgerät Rakete wird abgelöst

Anfang der siebziger Jahre bewilligte der amerikanische Präsident Richard M. Nixon die Pläne der NASA für den Bau eines wiederverwendbaren Raumtransporters.

Die NASA Ingenieure sahen ein Raumfahrtgerät vor, welches wie eine Rakete starten und wie ein Flugzeug landen sollte. Die Wahl fiel auf ein "Orbiter" genanntes Raketenflugzeug mit drei Triebwerken. Den Treibstoffverbrauch sollte ein außen angebrachter Tank decken, der im Weltraum abgesprengt werden sollte. Zusätzlichen Schub sollten zwei externe Feststoffraketen liefern, die nach Brennschluß ins Meer fallen und von dort zur Wiederverwendung geborgen werden sollten.

Das eigentliche Transportmittel sollte der Orbiter werden. Er war 38 m lang, 17 m

Testflug des Raumtransporters Enterprise auf einer Boeing 747.

hoch und hatte eine Spannweite von 24 m. Das gesamte Space Shuttle (Raumpendler) war 2.000 t schwer. Die Raketen lieferten einen Schub von 3.000 t. Dies würde ausreichen, um eine 30 t schwere Nutzlast in eine niedrige Umlaufbahn zu befördern. Die Last sollte in einer 18 m langen Ladebucht

Platz finden.

Die Kosten für dieses Projekt sollten sich auf 5 Milliarden Dollar belaufen, doch dies konnte, wie bei fast allen technischen Großprojekten, nicht eingehalten werden. Bis zum Start am 12.4.81 kostete das Shuttleprojekt rund 15 Milliarden Dollar.

Zunächst baute die NASA ein Testfahrzeug, mit dem innerhalb der Erdatmosphäre Testflüge gemacht wurden. Das Testflugzeug hieß Orbiter 1 und wurde auch Enterprise genannt. Am 12. August 1977 wurde die Enterprise von ei

23

Der Orbiter im Weltraum aufgenommen von einem Satelliten.

ner Boeing 747 in eine Höhe von 7.000 m getragen und dort ausgeklinkt. Sie kehrte in einem 5 1/2 minütigem antriebslosen Flug zur Erde zurück und landete, wie später fast alle Shuttles, in der Mojave Wüste nordöstlich von Los Angeles.

Der Raumfahrtkonzern North American Rockwell, welcher auch die Gemini.- und Apollokapseln gebaut hatte, war mit der Endmontage des Raumtransporters beauftragt.

In den folgenden Jahren wurde der Transporter auf alle erdenklichen Notfälle hin getestet. Die mitgeführten Treibstoff- und Sauerstoffreserven gestatteten eine Flugdauer von 7 Tagen. Diese Zeit konnte maximal auf zwei Wochen ausgedehnt werden.

Probleme bereiteten den Ingenieuren die Triebwerke. Sie mußten jetzt über 55 mal pro Flug zünden. Bei den alten "Einwegraketen" mußten sie lediglich eine Zündung über wenige Minuten überdauern. Die Shuttletriebwerke mußten zusammengerechnet eine bis zu 7 1/2 Stunden lange Brenndauer überstehen und danach noch wiederverwendbar sein.

Die Außenhaut des Shuttles mußte auch gegen die enorme Reibungshitze beim Wiedereintritt geschützt werden. Früher verwendete man dazu eine abschmelzbare Hartphenolschicht. Für den Transporter entschied man sich für Keramikplatten. Insgesamt benötigte man über 27.500 Kacheln, die eine Temperatur von etwa 1.200°C überstehen mußten. Jede Kachel kostete mit Klebearbeit zusammen etwa 500 Dollar.

Für den Jungfernflug mit dem Shuttle "Columbia" ins Weltall waren der 50 jährige John Young (Mondflugerfahrung) und der 43 jährige Bob Crippen ausgewählt. Der Start war für den 10. April 1981 vorgesehen, doch kurz vor dem Start spielte die hochgezüchtete Elektronik verrückt, und der Start mußte wegen des knappen Startfensters auf den 12. April verschoben werden. Am 12.4.1981 dann klappte die Rückkehr Amerikas in den Weltraum auf Anhieb. Der Start war ein Bilderbuchstart, und während der 36 Erdumläufe wurde das Shuttle auf Herz und Nieren geprüft. Außerdem testeten die Astronauten einen 220 Millionen Dollar teuren Greifarm, mit dem defekte Sateliten eingefangen werden, in der Ladebucht repariert oder mit zur Erde zurückgebracht werden konnten. Die Landung klappte perfekt.

Die folgenden zwei Missionen dienten noch zur Erprobung des Shuttles. Danach begann der offizielle Flugverkehr. In den folgenden Jahren wurden noch drei weitere Shuttles in Dienst gestellt. Die NASA hatte vor, die Shuttles bis zu 50 mal pro Jahr starten zu lassen. Wegen technischer Probleme und anderen Dingen kommt es aber nur bis zu 10 mal pro Jahr zu einem Start.

2.6 Die schreckliche 73. Sekunde

Die Raumfahrt war inzwischen zu einem alltäglichen Geschäft geworden, und am 28. Januar 1986 sollte das 25. Unternehmen gestartet werden. Ausgewählt für dieses kleine Jubiläum war die flugerprobte Challenger. Sie war schon 10 mal im All und hielt damit einen Rekord.

Unter den sieben Besatzungsmitgliedern waren diesmal auch zwei Frauen, die Astronomin Judy Resnik und die Lehrerin Christa Mc Auliffe, der erste vom Präsidenten Ronald Reagan persönlich eingeladene private Passagier.

Die beiden Feststoffraketen nach der Explosion.

Obwohl der Start mehrmals verschoben werden mußte, gab es keinen Grund zur Besorgnis, denn Startverschiebungen waren bei der Challenger nichts Neues. Am 28.1 1986 um 17.38 Uhr mitteleuropäischer Zeit hob die Challenger von der Startrampe 39B in Cape Canaveral ab. 73 Sekunden nach dem Start breitete sich der weiße Kondensstreifen, den die Challenger hinter sich herzog, zu einer flamingofarbenen Wolke aus. Es schien, als wäre irgendetwas explodiert. Der Himmel im Nordosten

glich einem Meer aus Feuer, und zwei davon fließende Rauchfahnen breiteten sich wie die Arme eines Krebses aus. Die beiden Feststoffraketen schienen von der Explosion nicht betroffen zu sein, denn sie lieferten sich ein Wettrennen, ehe sie ins Meer stürzten.

Die Katastrophe erschütterte ganz Amerika, das den Start am Fernseher verfolgte. Selbst Fachleute wollten die

Sache erst nicht wahrhaben. Der Sprecher meinte: "Die Startkontrolle prüft die Situation," und dann, "wir haben keinen Kontakt zu Challenger mehr."

Kurz später stellte man sich den Unglückshergang so vor: der Tank, der mit 710 t hochexplosiven Treibstoff gefüllt war, hätte acht Minuten nach dem Start abgeworfen werden sollen und dann ins Meer stürzen sollen. Bis zu diesem Zeitpunkt ritten die Astronauten auf einer Bombe. Da ausreichend Filmmaterial zur Verfügung stand, stellte man fest, daß aus einem Dichtungsring der beiden Feststoffraketen eine Flamme geschlagen war und die Explosion verursacht hatte. Der beim Start 2.050 t wiegende Raumtransporter hatte zum Zeitpunkt der Explosion eine Höhe von 16 km und eine Geschwindigkeit von 3.000 km/h erreicht.

Die Nacht des 27. Januars war sehr kalt gewesen. Es herrschten Temperaturen von -4 °C in Cape Canaveral. Dadurch wurden die Dichtungsringe an den Feststoffraketen spröde und brüchig und somit undicht. Außerdem ging eine Halterung kaputt, die die Raketen hielt und damit brach eine Raketenspitze in den Tank ein. An den undichten Stellen traten heiße Gase aus und lösten die Explosion in dem Tank aus.

Die anderen drei Raumtransporter der NASA wurden daraufhin von Experten unter-

sucht, und sie stellten über 800 Schwachstellen im System fest, Es waren Fehler, die der NASA-Spitze seit Jahren bekannt waren, die aber nicht beseitigt wurden, weil man die Flugpläne einhalten wollte. Für die wichtigsten Systeme waren keine Ersatzsysteme vorhanden.

Das Unglück erschütterte die gesamte NASA. Der Chef P. Culberten und der für das Raumtransporterprogramm verantwortliche J. Moore wurden strafversetzt.

Nun folgte eine zweijährige Pause, in der die Raumtransporter für 2 Milliarden Dollar umgebaut und verbessert wurden. Es wurden 210 Umbauten vorgenommen und das Haupttriebwerk wurde an 50 Stellen verbessert.

2.7 Wie sieht die Zukunft der Raumfahrt aus?

Die Ingenieure der Raumfahrtkonzerne untersuchen zur Zeit theoretische Voraussetzungen für Raketen, die mit atomarem, elektrischem oder mit Lichtantrieb ausgerüstet werden sollen. Es gibt auch eine Studie, die sich mit einem Ionenantrieb beschäftigt. Bei diesem Antrieb wird das Element Cäsium verdampft und gegen eine glühende Platinplatte geblasen. Die Cäsiumatome würden ein Elektron abgeben und den Zustand eines einfach positiv geladenen Ions annehmen. Ein positiv geladenes Gitter stößt die Ionen ab, die dann die Rakete mit hoher Geschwindigkeit verlassen würden. Dieser Antrieb wäre in der Lage, das Schiff auf bis zu 150.000 km/h zu beschleunigen. Die Raketen mit Lichtantrieb sollen noch schneller werden, doch das Prinzip ist sehr kompliziert, und es ist selbst theoretisch noch nicht vollständig geklärt. Bei diesem Prinzip sollen Photonen als Rückstoßmasse genutzt werden, und die Rakete soll annähernd Lichtgeschwindigkeit erreichen können.

Doch diese Projekte werden alle von dem Geldmangel der NASA in Frage gestellt. Einer Finanzuntersuchung zufolge soll die NASA 14 Millionen Dollar zuviel an Zulieferer und Firmen gezahlt haben. Die neue Parole des NASA-Chefs Daniel S. Goldin heißt deshalb: "*Wir müssen schneller, besser und billiger werden!*" Was anderes wird der NASA auch gar nicht übrigbleiben. Neuesten Plänen zufolge wird sich die NASA nur noch mit der Erforschung des Universums und der Entwicklung neuer Technologien beschäftigen. Die Industrie soll in Zukunft die Aufgabe übernehmen, Raketen mit Besatzungen in den Weltraum zu befördern oder Satelliten auszusetzen.

Im Jahr 2005 soll eine neue Generation von Raumfahrzeugen die inzwischen veralteten Space Shuttles ablösen. Die Raumfähre der Zukunft trägt vorläufig die Bezeichnung X-33 und soll starten und landen können, ohne Weltraummüll zu produzieren. Die NASA hat drei Raumfahrtkonzerne (Lockheed, Rockwell und Mc Donnell Douglas) beauftragt, ein X-33 Konzept zu entwickeln und vorzustellen. Die Konzerne erhalten für diese Entwicklung jeweils 8 Millionen Dollar.

Die NASA entwickelt zur Zeit auch ein Konzept mit einer Art Raketenflugzeug. Das unbemannte 26 m lange Raumfahrzeug soll von einer Boeing 747 bis in eine Höhe von 10 km getragen werden und dort wie eine Bombe abgeworfen werden. Nach einem kurzen antriebslosen Flug werden die Raketentriebwerke gezündet, und der Flugkörper rast mit 1.300 km/h in eine erdnahe Umlaufbahn. Dort setzt er einen Satelliten aus und kehrt wie ein Flugzeug zur Erde zurück. Diese Idee stammt von "Rockwell" und der Orbital Sciences Corporation. Unterstützt wird dieses Projekt mit 70 Millionen Dollar von der NASA. Dieses Projekt heißt X-34. Mit einem solchen Gleiter kann aber nur 1 t Nutzlast in einen Orbit befördert werden. Deshalb müssen schwerere Lasten mit der X-33 befördert werden.

Die NASA hat auch ihren guten Ruf, den sie bei der Apolloreihe erworben hatte, mit dem Challengerunglück verspielt. Das Risiko eines Unfalls liegt immer noch bei 1:78. Die größte Gefahr geht vor allen Dingen von den Feststoffraketen aus, denn sind diese erst einmal angeschaltet, so lassen sie sich nicht mehr abstellen.

Die ursprüngliche Idee eines hyperschnellen und wiederverwendbaren Raumflugzeugs stammt von dem Raumfahrtprofessor Eugen Sänger. 1986 wurde ein Modell angefertigt, wobei eigentlich nur die Idee erhalten blieb. Dieses "Orient Express" genannte Flugzeug soll in einer Höhe von 35km auf siebenfache Schallgeschwindigkeit beschleunigen können.

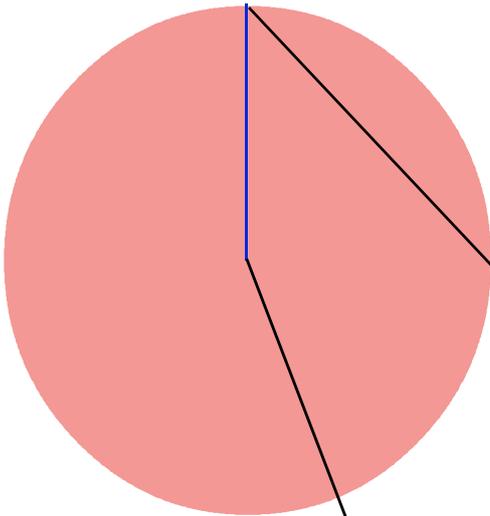
Die NASA hat auch vor, eine Raumstation in einer Erdumlaufbahn zusammenzubauen und ständig zu betreiben. Über viele Jahre hinweg entstand das Konzept der Raumstation "Freedom". Sie soll in einer Höhe von 400 km kreisen und ständig bemannt sein. Sie sollte eigentlich schon Ende 1995 fertiggestellt werden, doch Geldprobleme der NASA führten dazu, daß bis heute noch nicht damit begonnen wurde. Die Raumstation wurde so konzipiert, daß auch Langzeitaufenthalte möglich sind. Ihre Energie soll aus den Solarzellen gewonnen werden, die rund um die Station angebracht werden.

Es wird von der NASA auch eine bemannte Mission zum Mars Anfang des nächsten Jahrhunderts in Erwägung gezogen. Da die ehemalige Sowjetunion (das heutige Rußland) auch eine Mission anstrebt, gab es schon mehrere Verhandlungen, zwischen den beiden Großmächten, bei denen eine eventuelle Zusammenarbeit vereinbart wurde. Ein Vorteil des Mars ist, daß er schon zwei natürliche Raumstationen besitzt, nämlich seine zwei Monde Phobos und Deimos. Diese beiden Körper mit einer Größe von je etwa 20 km Durchmesser wären ideale Ausgangsstationen für Oberflächenerkundungen.

Der erste Schritt zur Erforschung des Mars' wird wahrscheinlich die Entsendung eines automatischen "Mars-Rovers" sein, der den eventuellen Landeplatz im Umkreis von etwa 100 km erkunden soll. Später sollen dann bemannte Flüge folgen. Die Missionszeit läge bei etwa 2 1/2 Jahren. Die Energie, die gebraucht wird, wird kaum höher sein, als die Energie, die benötigt wurde, um zum Mond zu reisen, wenn das Schiff auf der sogenannten Homannbahn fliegen würde.

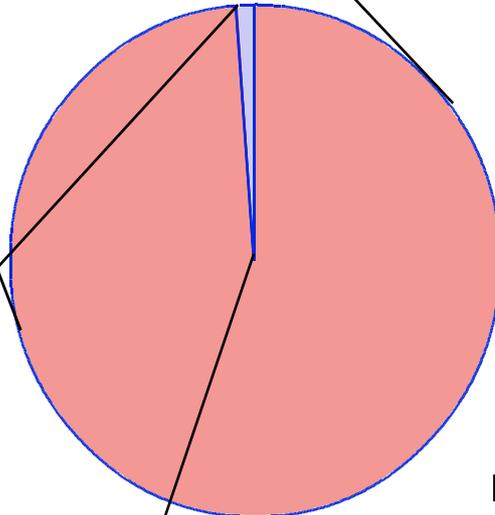
3. Bildanhang

Massenvergleich Sonne - Planeten



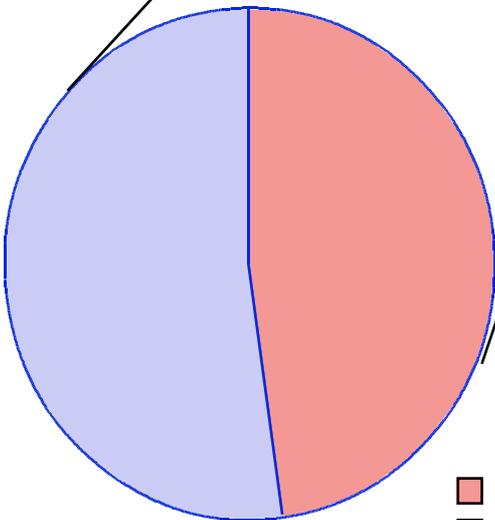
- Sonnenmasse
- Planetenmasse

Massenvergleich Jupiterähnliche-Erdähnliche



- Jupiterähnliche
- Erdähnliche

Massenvergleich Erde - Restkörper



- Masse der Erde
- Masse Restkörper

4. Zusammenfassung

Die drei Elementarteilchen u-Quark, d-Quark und Elektron sind die Bausteine, aus denen alle uns bekannte Materie besteht. Sie entstanden zum Beginn des Universums beim Urknall aus einem Strahlungskontinuum.

Mit fortschreitender Abkühlung des Universums entstanden die ersten chemischen Elemente - Wasserstoff und Helium -, aus denen sich Galaxien und Sterne bildeten. In einer zweiten Entwicklungsstufe entstanden auch schwerere Elemente, aus denen sich Planeten entwickeln konnten.

Unser Sonnensystem besteht aus der Sonne als Zentralgestirn und neun bekannten Planeten. Es wird noch etwa 5 Milliarden Jahre existieren bis die Sonne ihren Brennstoff verbraucht hat und über das Stadium des roten Riesen zu einem weißen Zwerg werden wird.

Die Raumfahrt ist dem Menschen neben den herkömmlichen Beobachtungsmethoden zu einem außerordentlich leistungsfähigen Instrument zur Erkundung des Weltalls geworden. Neben direkten Beobachtungen und Experimenten im All wurden auch die klassischen Beobachtungsverfahren auf eine neue Stufe gehoben. Das Hubble-Space-Teleskop ermöglicht Aufnahmen mit bisher nicht gekannter Auflösung. Damit lassen sich sowohl mehr Einzelheiten als auch Objekte in größeren Entfernungen erforschen.

In der Zukunft werden Menschen in außerirdischen Raumstationen mit umfangreichen Forschungen zum Fortschritt der Menschheit beitragen.

5. Quellennachweis:

- Bild "Merkur" Seitenansicht aus "Guinness Buch der Sterne" S. 39;
- Bild "Diamantringeffekt" & "Sonnenfinsternis" aus "Guinness Buch der Sterne" S. 21;
- Bild "Jupiter & die Gallileischen Monde" aus "Guinness Buch der Sterne" S. 79; Bild "Mondkarte" aus "Guinness Buch der Sterne" S. 51;
- Bild "Großer roter Fleck" aus "Guinness Buch der Sterne" S. 78;
- Bild "Pluto-Charon" aus "Guinness Buch der Sterne" S. 95;
- Bild "Merkurkarte" aus "Guinness Buch der Sterne" S. 40;
- Bild "Supernova" aus "Guinness Buch der Sterne" S. 156;
- Bild "Meteorschauer" aus "Guinness Buch der Sterne" S. 101;
- Bild "Saturnringe" aus "Guinness Buch der Sterne" S. 85;
- Bild "Mars" aus "Guinness Buch der Sterne" S. 53;
- Bild "Halleyscher Komet" aus "Guinness Buch der Sterne" S. 105;
- Bild "Venus" aus "Guinness Buch der Sterne" S.45;
- Bild "Kurve: offenes Universum; Kurve: flaches Universum; Kurve: geschlossenes Universum aus "Naturgeschichte des Universums" S.169(mit "Kaleidagraph" gezeichnet);
- Bild "Atomkernentdeckung" aus "Moderne Physik" S.25;
- Bild "Lichtquant" aus "Moderne Physik" S.27;
- Bild "Proton/Neutron" aus "Moderne Physik" S.30;
- Bild "Quarkentdeckung" aus "Moderne Physik" S.33;
- Bild "Urbausteine der Materie" aus "Moderne Physik" S.33;
- Bild "Flutentstehung" Eigenentwurf mit "Canvas";
- Bild "Knoten aus "Guinnessbuch der Sterne" S. 52;
- Bild "Schwerpunkt Erde/Mond" Eigenentwurf mit "Canvas";
- Bild "Kernfusion" aus "Moderne Physik" S.23;
- Bild "Pluto-Charon" aus "Naturgeschichte des Universums" S.153;
- Infos zu "Wie sah das Universum am Anfang aus", aus "Die ersten drei Minu

ten" und aus "Naturgeschichte des Universums";

Infos zu "Bausteine des Weltalls" aus "Moderne Physik";

Infos zu "Wie entstanden Sterne und Planeten?" aus "Naturgeschichte des Universums";

Infos zu "Warum leuchten Sterne?" aus "Moderne Physik" und aus "Naturgeschichte des Universums";

Infos zu "Wie sieht unser Sonnensystem aus?" aus "Guinness Buch der Sterne"; Infos zu "Was geschieht mit dem Sonnensystem?" aus "Naturgeschichte des Universums";

Infos zu "Was geschieht einmal mit dem Universum?" aus "Naturgeschichte des Universums";

Infos zu "Die Erde erhält einen Kunstmond" aus "Herausforderung Weltraum"; Infos zu "Der erste bemannte Raumflug" aus "Herausforderung Weltraum";

Infos zu "It's just a little step... !" aus "Herausforderung Weltraum";

Infos zu "Houston wir haben ein Problem!" aus "GEO Ausgabe 2/95";

Infos zu "Das Verlustgerät Rakete wird abgelöst" aus "Herausforderung Weltraum";

Infos zu "Die schreckliche 73. Sekunde" aus "Herausforderung Weltraum";

Infos zu "Wie sieht die Zukunft der Raumfahrt aus?" aus "Herausforderung Weltraum";

Bild "Juri Gagarin" aus "Herausforderung Weltraum" S.18;

Bild "Wostok-Rakete in Baikonur" aus "Herausforderung Weltraum" S.16;

Bild "Apollo 11 Besatzung" aus "Herausforderung Weltraum" S.64;

Bild "Amerikanische Flagge auf dem Mond" aus "Herausforderung Weltraum" S.64;

Bild "Explodierende Challenger" S.148;

Bild "Reste der Challenger" aus "Herausforderung Weltraum" S.153;

Bild "Struktur von Apollo 13" aus GEO Ausgabe 2/95;

Bilder "Schematische Darstellung der Apollokonstruktion" aus "Herausforderung Weltraum" S.60/61;

Broschüre "Apollo 13 Mission" aus dem Kino Königs Wusterhausen;

Bild "Orbiter im Weltraum" aus "Herausforderung Weltraum" S.134;

Bild "Enterprise auf Boing 747" aus "Herausforderung Weltraum" S.135;

Bild "Sputnik (Zeichnung)" aus "Herausforderung Weltraum" S.28;

Bild "Elementarteilchen" aus "Zeit" Ausgabe Nr.43 '95;

Bild "Strahlung" aus "Naturgeschichte des Universums" S.34;

Bild "Temperaturschema des Universums" aus "Naturgeschichte des Universums" S.37;

Bild "Massenvergleich" mit "Kaleidagraph" umgesetzt und mit "Canvas" weiterbearbeitet;