

Liebe Leserin, lieber Leser,

diesmal geht's, wie könnte es anders sein, um den Mond. Vor 40 Jahren, am 20. Juli 1969, setzten Menschen ihren Fuß auf seinen Boden. Auf dem Fernsehmonitor meiner Tante war es mehr zu erahnen als zu sehen, aber das Bewußtsein, einer Sternstunde beizuwohnen, war allgemein. Ein Traum wurde wahr. Einen Augenblick lang war die Menschheit eins, und man war willens, in den beiden Mondfahrern, die den letzten Schritt wagten, Neil Armstrong und Edwin E. Aldrin, Jr., Abgesandte der Menschheit zu erblicken.

Nach Apollo wurde es wieder still um den guten alten Mond. Erst neuerdings erinnert man sich seiner bei den Raumfahrtagenturen. Wieso dieses schwankende Interesse an ihm? Vermutlich wurde er noch niemals für richtig voll genommen. Schon der Antike galt er als Zwischending – zwischen Himmel und Erde. Er ist nicht makellos. Erst jenseits des Mondes, „hinter'm Mond“, ist's ohne Fehl und Tadel. Auch den Astronomen war er meist bloß ein Störenfried und Aufrührer. Doch was wären wir ohne ihn und seinem heilsamen Aufruhr, den er hier seit Jahrmilliarden veranstaltet? An dem Gerücht, wir verdankten ihm unsere Existenz, ist was dran.

Nehmen wir also den Jahrestag zum Anlass und sinnieren wir ein wenig über eine ungewöhnliche Partnerschaft, den Doppelplaneten Erde-Mond, unsere kosmische Heimstatt! (Bildquelle: <http://www.philippbauer.de/galerie>)

Ihr Hans-Erich Fröhlich

Der Himmel im Juli

Am 4. Juli erreicht die Erde wieder einmal den sonnenfernsten Punkt ihrer Jahresellipse. Von uns aus gesehen bewegt sich die Sonne dann besonders langsam bezüglich der Sterne. Das ist Keplers Flächensatz geschuldet, oder modern gesprochen: der Drehimpulserhaltung. Die Sonne schafft Anfang Juli gerade mal 0,95 Grad am Tag. Bei Beibehaltung dieses Schneckentempos beliefe sich ein Umlauf, also ein Jahr, auf 379 Tage. Der Sonne Sommerträchtigkeit

hat ihr Gutes: Sie verlängert für uns „Nordhalbkügler“ das Sommerhalbjahr. Nordbauern sind ihr dafür dankbar.

In den frühen Morgenstunden des 18. Juli bedeckt der Mond noch einmal Hauptsterne der Plejaden. Es ist das letzte Mal in einer ganzen Serie von Plejadenbedeckungen. Verpassen Sie dies Ereignis, müssen Sie bis 2024 warten. Der Zeitpunkt ist günstig: Der Mond ist abnehmend, sogar Halbmond bereits vorbei. Nur die Morgendämmerung ist in Kauf zu nehmen.

Am 22. Juli kommt es über Asien und dem Pazifik zu einer totalen Sonnenfinsternis, der einzigen in diesem Jahr. Die dazugehörige Mondfinsternis am 7. Juli ist auch nicht sichtbar in Deutschland. Doch wir verpassen nichts: Der Vollmond taucht noch nicht einmal in den Kernschatten der Erde ein.

Venus ist Morgenstern. Gegen Monatsende fällt ihr Aufgang bereits in die dunkle Nachtzeit.

Noch vor der Schwester ist der Bruder auf den Beinen, der Mars. In den Morgenstunden des 5. und 6. Juli bildet er zusammen mit Venus und den Plejaden ein fast gleichschenkeliges Dreieck.

Saturn geht unter, geht der Jupiter auf. Dieser fiebert der baldigen Opposition entgegen, jener verabschiedet sich vom Abendhimmel und zieht unaufhaltsam der Sonne entgegen. Saturns Ringe in Kantenstellung (nicht) zu schauen, was am 4. September möglich wäre, ist uns damit versagt.

Monddinge

Unser Mond ist untypisch, was das Verhältnis seiner Masse zu der der Erde anbelangt (1:81). Deshalb die Rede vom Doppelplaneten! Es gibt im Planetensystem bezüglich des Masseverhältnisses zwei Arten von Monden, solche, die verglichen mit ihrem Planeten Winzlinge sind und solche, die von der Masse an die des Planeten heranreichen. Nehmen wir die Jupitermonde. Obwohl z. T. gewichtiger als der Erdmond, fallen sie doch verglichen mit dem Jupiter nicht ins Gewicht. Das Pluto-Charon-System steht für die zweite Kategorie. In beiden Fällen verfügt man über Erklärungen. Um hingegen die Existenz unseres Mondes zu verstehen, muss man Zuflucht in einer Katastrophe suchen: Vor 4,5 Milliarden Jahren, im Hadean, kommt's zur Kollision. Die Protoerde, fast fertig, d. h. die schwereren Bestandteile wie Eisen hatten sich bereits in einem Kern abgesetzt und das leichtere Material schwamm oben auf, da wird sie von einem marsgroßen Nachbarn, der Theia, gerammt. Nichts

Schlimmes, kein Streifschuss, bloß ein saches Aneinandervorbeischrammen, wie bei der Titanic. Teile des Erdmantels werden abgesprengt. Theias Eisenkern versinkt in der Erde Schoß. Der Auswurf aus Gesteinsdampf zieht sich unter seinem Eigengewicht eilig zum Monde zusammen. Dieser besteht tatsächlich aus eisenarmen Material, was seine vergleichsweise niedrige Dichte und das Fehlen eines merklichen Eisenkerns erklärt. Auch aller leichtflüchtiger Substanzen geht er dabei, wie nicht anders zu erwarten, verlustig. Damals muss er uns noch ganz nahe gewesen sein – 22 000 km, glaubt man den Computersimulationen – und riesengroß am Himmel gestanden haben. Der Tag dauerte nur fünf Stunden. Die Gezeiten waren gewaltig.

Es war Zufall.

Wer sich für den Mond begeistert und stark macht, findet jede Menge Behauptungen, die dem Mond alles Mögliche aufbürden: vom Initiator der Plattentektonik, die die Erdnachbarn so nicht kennen, bis hin zum Geburtshelfer bei der vermeintlichen Entstehung des Lebens in flachen, Ebbe und Flut unterworfenen Gewässern. (Es geht um das Eindicken der Ursuppe. Das organische Material musste irgendwie konzentriert werden.) Das liest sich spannend und man staunt, worauf Denken so alles kommt. Doch Fakt ist, es fehlt an Fakten, um die Phantasie im Zaum zu halten. Die guten Ideen sind ein Anfang. Sie sind das Material, aus dem sich Hypothesen formen lassen. Ob diese der Wirklichkeit standhalten, entscheiden die Daten. Die aber müssen zum großen Teil erst noch beschafft werden. Unter anderem deshalb steht ja die Erkundung des Mondes wieder auf der Tagesordnung. (Die Apollo-Astronauten haben den Mond ja nur punktuell untersucht und das auch nur an ausgesucht ungefährlichen Stellen.) Dort müssen beispielsweise noch jede Menge Steine von der Erde herumliegen, die beim heftigen Bombardement vor 3,9 Milliarden Jahren – ausgelöst durch eine himmelsmechanische 2:1 Resonanz zwischen Jupiter und Saturn – aus der Erde herausgeschlagen worden waren. Vielleicht enthalten sie ja Fossilien? Aus diesen alten Zeiten gibt es auf Erden kaum Zeugnisse. Durch die Plattentektonik ist im Laufe der Zeit das Unterste zuoberst gekehrt worden. Kein Stein blieb mehr auf dem anderen. Die Einschlagskrater aus der Schöpfungsfrühe, hier sie sind längst getilgt. Die Erde ist geologisch aktiv. Der Vorteil des Mondes für die Wissenschaft: Auf ihm sind drei Milliarden Jahre Geschichte konserviert.

Ich werde mich im folgenden auf das beschränken, worüber so ein Astronom mit Fug und Recht reden zu können glaubt. Dem Leser ist es ja unbenommen, sich selbst ein Bild zu machen. Das Internet macht's möglich.

Kulturgeschichtlich ist der Mond ein Geschenk des Himmels. Von der Menschheitsdämmerung bis in die Neuzeit hinein diente er als Zeitgeber. Anders als der gleisend helle Sonnenball, dessen Stellung am Himmel man nicht unmittelbar sehen kann, tut er den Augen nicht weh. Die Babylonier vergötterten den Mond mehr als die Sonne! Auf der 3 1/2 Tausend Jahre alten Himmelsscheibe von Nebra ist die Sichel des zunehmenden Mondes nebst den Plejaden zu sehen. Die Kultscheibe hatte offenbar Kalenderfunktion. Auch wenn er unter exakten Astronomen nicht gerade als pünktlicher Patron gilt – die Berechnung der Mondbahn ist notorisch ein Problem –, unseren Vorfahren schenkte er das weithin sichtbare Zeitmaß des Monats. Der Name erinnert daran: „Mond“ ist germanischen Ursprungs und hat etwas mit „Messen“ zu tun.

Dass der Mond mit seiner synodischen Periode und dem Wechsel der Gezeiten alle möglichen biologischen Rhythmen und Perioden betreut, ist bekannt und muss hier nicht näher ausgeführt werden. Auch werde ich mich hüten, dem etymologischen Zusammenhang zwischen *Luna* und *Laune* nachzugehen.

Neben Ebbe und Flut ist der wohl wichtigste Einfluss des Mondes die Schnelligkeit, mit der er den Erdkreisel präzessieren macht. Dank seiner dauert die Zeit für einen Umlauf der Polachse unter den Sternen lediglich 26 000 Jahre. Ohne das von ihm auf die abgeplattete Erde ausgeübte Kippmoment, währte dieses „Platonische Jahr“ um ein Vielfaches länger und käme damit in die zeitliche Nähe gefährlicher himmelsmechanischer Resonanzen. Dass der Erdbahnkreisel nicht chaotisch torkelt, wie das im Falle des Mars der Fall zu sein scheint, ist des Mondes Größe und Nähe zu danken! Er verbürgt auf lange Sicht den immer gleichen Verlauf der Jahreszeiten! Wie Computersimulationen des Erdkreisels über Zeiträume von Millionen von Jahren mal mit, mal ohne Mond belegen, verhindert er katastrophale Klimakapriolen! (Die beiden Winzlinge von Marsmonden, Phobos und Deimos, haben die Achse ihres Planeten keineswegs im Griff. Ist der Mars vielleicht deswegen unbewohnbar für anspruchsvolles Leben?)

Sprechen wir es ruhig aus: Wohl möglich, dass eine mondlose Erde niederes Leben hervorgebracht hätte, „höheren“ Lebensformen aber machten harsche Klimaschwankungen höchstwahrscheinlich den Garaus. Diese Vermutung, eine durchaus naheliegende, hat Folgen: Alle Abschätzungen über die Häufigkeit von Außerirdischen, die das Vorhandensein eines die Rotationsachse stabilisierenden Begleiters außer Acht lassen, wie beispielsweise die Drake-Formel, müssten dramatisch nach unten korrigiert werden! Vergessen

wir nicht: Das Erde-Mond-System verdankt seine Existenz einem Zufall! Die Erde ist eben kein 0815-Planet!

Durch die Gezeitenreibung wird Drehimpuls der Erde entzogen und dem Mond gutgeschrieben. Am Gesamtdrehimpuls ändert sich nichts. (Da hat man etwas, woran man sich festhalten kann.) Unser Planet verliert an Schwung – die Tage werden langfristig um $16\mu s$ pro Jahr länger! –, und der Mond entfernt sich um messbare $3,79 \pm 0,07$ cm pro Jahr. Messbar, weil Apollo-Astronauten und automatisch gelandete russische Sonden diverse „Katzenaugen“reflektoren hinterlassen haben, Targets für Laserlineale. (Dass Tages- und/oder Monatslänge sich säkular ändern, hatte der Astronom Halley bereits aus vergilbten Sonnenfinsternisaufzeichnungen herausgelesen. Die unter der Annahme konstanter Tages- und Monatslänge berechneten Verfinsterungsorte hatten nicht mit den tatsächlichen übereingestimmt. Heutzutage können Paläontologen Tages- und Monatslängen aus irgendwelchen Sedimentschichtungen bis ins Kambrium und noch etwas davor zurückverfolgen!) [Die oben erwähnten *effektiven* $16\mu s$ pro Jahr gehen nur z. T. auf das Konto der Gezeitenreibung. Sie berücksichtigen die Verkürzung der Tageslänge durch das Abtauen des Eises.]

Angesichts seines Hinwegdriftens und die Tatsache bedenkend, dass das von ihm auf die Erde ausgeübte Kippmoment schneller als seine Anziehungskraft mit zunehmendem Abstand abfällt, erscheint die Frage, wie lang der Mond noch die Rotationsachse der Erde im Griff hat, berechtigt. (Sie ist aber, recht betrachtet, müßig. Schließlich kann man behaupten, was man will, man wird nicht mehr wegen Falschaussage zur Rechenschaft gezogen werden können.)

Zur Zeit ist der Mond 60 Erdradien von uns entfernt. Bei 68 Erdradien erwarten ihn himmelsmechanische Resonanzen, die Aussagen über seine und unsere fernere Zukunft sowieso zweifelhaft machen. Doch bis dahin wird noch mindestens eine Milliarde Jahre ins Land gehen. Inzwischen geht der Erde ohnehin das Wasser aus und damit die Hauptquelle der Gezeitenreibung. Die Sonne strahlt immer intensiver und macht in wenigen hundert Millionen Jahren aus dem „blauen“ Planeten eine leblose Wüste. Den anvisierten Endzustand – die Erde wendet dem Monde immer die gleiche Seite zu – wird es niemals geben. Die Gezeitenreibung ist im übrigen schwer kalkulierbar. Gegenwärtig ist sie untypisch stark, was wohl damit zusammenhängt, dass es mehrere Kontinente gibt, gegen die die vom Monde aufgetürmten Wasser anströmen müssen. Das war nicht immer so. Im Perm gab es eine einzige zusammenhängende Landmasse. Pangäa setzte dem schwappenden Pantha-

lassischen Ozean vergleichsweise wenig Widerstand entgegen.

Auf der Erde herrscht halt der Wandel, womit wir bei der Wegenerschen Kontinentaldrift wären. Ob die etwas mit dem Mond zu tun hat? Auffällig ist schon, dass weder die Venus noch der heutige Mars über eine Plattentektonik, sprich Mantelkonvektion, verfügen. Für die Lebewelt und die Klimakonstanz ist das Plattenrecycling wichtig. Auf den Temperaturregler „Kohlenstoffzyklus“ kann ich hier nicht eingehen.

Die durch Gezeitenreibung freigesetzte Wärme beläuft sich auf 4 TW (Terawatt), das ist 1/10 des geothermalen Wärmestroms aus dem Erdinnern.

Wußten Sie, dass der Primärenergieverbrauch weltweit bei 13 TW liegt? „Menschliche Wärme“ übertrifft die Gezeitenheizung! Wir sind bereits ein „global player“!

Noch ein paar Worte zu den Gezeiten.

Es gibt sie nicht nur im Wasser, sie walken auch den elastischen Erdkörper gehörig durch (was beim GPS und beim Bau von Teilchenbeschleunigern zu berücksichtigen ist).

Extrem sind die Gezeiten, die der mächtige Jupiter in Verbund mit Ganymed und Europa auf die Io ausübt. 160 TW an Wärmleistung werden in die Io gepumpt, was sich in vulkanischer Aktivität äußert. Dass der innerste der Galileischen Monde gezeitengeheizt ist, war behauptet worden noch bevor die Voyager-1-Nahaufnahmen eintrafen! Das war vor 30 Jahren.

Um Europa kommt man nicht drumrum. Ihre Eiskruste schwimmt eventuell auf einem 100 km tiefen weltumspannenden Ozean. Flüssig ist es dort wegen der Gezeitenheizung. Ich weiss nicht, ob die NASA noch das Ziel verfolgt, dorthin ein unbemanntes Tauchboot zu entsenden, das sich natürlich erst einmal durch die Eisschicht bohren müsste, um dort – weit außerhalb der sog. habitablen Zone!– nach Lebensspuren zu suchen.

Doch zurück zur Erde. Dass es selbst in den tiefsten Tiefen der Ozeane kein abgestandenes Wasser gibt – welcher Aufrührer bewirkt das wohl?

Wir kommen auf den Mond zurück, spätestens am Jahresende. Im Dezember gibt's einen rötlich verfinsterten „blauen Mond“.