

Liebe Leserin, lieber Leser,

am 6. März schwenkt NASAs ionen-getriebene Raumsonde Dawn in eine Umlaufbahn um den Kleinplaneten Ceres ein. Bereits jetzt macht die Ceres von sich reden. So gibt es zwei helle Punkte im Innern einer Kratermulde zu bestaunen. Dass es auf der Ceres helle, optisch unaufgelöste Partien gibt, war dank Aufnahmen mit dem Hubble-Teleskop bekannt. Nun stellte sich heraus, dass trotz immer detaillierterer Aufnahmen der Ceres, die hellen Regionen unaufgelöste „Punkte“ bleiben. Der Kosmos-Bote wird in den kommenden Monaten auf die Nah-Erkundung der Ceres zurückkommen.

Das Märzereignis ist sicherlich die Sonnenfinsternis am 20., wenige Stunden vor Frühlingsanfang. Für „Hyperboreer¹“ ist sie total, für den Mitteleuropäer wird die Sonnenscheibe nur teilweise bedeckt (in Norddeutschland immerhin bis zu über 80%). Die Zone der Totalität verläuft zwischen Skandinavien und Island im Nordatlantik, überstreicht die Färöer-Inseln und Spitzbergen und berührt fast den Nordpol. Die Finsternis ist total, weil der Mond 13,5 Stunden zuvor den erdnächsten Punkt (Perigäum) seiner elliptischen Bahn durchlaufen haben wird und der Neumond entsprechend groß am Himmel steht. Die Finsternis beginnt hierzulande, abhängig vom Ort, gegen 9 Uhr 40, und endet gegen 12 Uhr. Offizieller Höhepunkt ist 10 Uhr 46 Minuten und 47 Sekunden. Die Finsternis am 20. März ist die vorletzte totale einer ganzen Serie, die im Mai 933 mit einer (unmerklichen) partiellen begann und im Juli 2195 mit einer solchen enden wird. Schon im alten Babylon wusste man, dass sich eine Sonnen- oder Mondfinsternis nach 223 synodischen Monaten, also $6585 \frac{1}{3}$ Tage fast identisch wiederholt. Das sind 18 Jahre, 10 bzw. 11 Tage und 8 Stunden, je nach Anzahl der Schaltjahre. Die nächste Finsternis dieses 120. Saroszyklus findet entsprechend am 30. März 2033 statt, wegen des $\frac{1}{3}$ Tags erst am späten Nachmittag. Die dritte Wiederholung ereignet sich sogar fast zu gleicher Tageszeit. Allerdings ist die Finsternis am 21. April 2069, wie gesagt, keine totale mehr. Wäre der synodische Monat, die Spanne zwischen zwei aufeinanderfolgenden Neumonden, nur um 14 Sekunden länger, dauerte so eine Finsternisserie geradezu „ewig“. Wegen einer Viertel Minute kommt im Laufe der Jahrhunderte alles aus dem Tritt!

¹Nach Herodot ein sagenhaftes glückseliges Volk im hohen Norden.

Märzthema aber ist Jupiter, der hoch am Nachthimmel steht. Genaugenommen geht's um die Frage, worin sich die Gashüllen von Erde und Jupiter wesentlich unterscheiden. Es geht nicht nur um die Chemie!

Viel Spaß bei der Lektüre wünscht

Hans-Erich Fröhlich

Der Himmel im März

Venus ist Abendstern, und Jupiter der Planet der Nacht. Für Saturn wird die diesjährige Oppositionszeit mit dem „Stillstand“ am 14. März eingeläutet. Danach bewegt er sich bis zum nächsten Stillstand am 2. August rückläufig gegenüber den Sternen. Am Monatsende geht Saturn bereits eine halbe Stunde vor Mitternacht (23 Uhr 30 MEZ) auf. Der größte Mond des Saturn, der Titan, wurde übrigens an einem Märztag des Jahres 1655, also vor 360 Jahren, von Christiaan Huygens (1629–1695) entdeckt. Es war, vom Erdmond abgesehen, die fünfte Mondentdeckung überhaupt – nach denen der vier Galileischen Monde.

Am 4. März kommt es zu einer nahen Begegnung von Venus und Uranus. Gegen 21 Uhr zieht Venus ein Zehntel Grad nördlich am Uranus vorbei. (Dann ist sie für uns allerdings bereits untergegangen.) Venus erscheint 10 000-mal heller als der grünlich strahlende Uranus. Ohne Hilfsgerät ist da nichts zu machen.

Wenige Tage später, am 11. März, ist es der Mars, der sich am Uranus vorbeischiebt.

Der astronomische Frühlingsanfang, die Tag-und-Nacht-Gleiche, ereignet sich am Tage der Sonnenfinsternis. Am 20. März, 23 Uhr 45 MEZ, endet für den Nordpol die halbjährige Polarnacht, für den Südpol beginnt sie. Nördlich des Äquators beginnt das Sommerhalbjahr.

Die Sommerzeit, die Mitteleuropäische (MESZ), beginnt wenige Tage danach: am Sonntag, dem 29. März.

Erde und Jupiter – ein Vergleich

Unterschiedlicher können Planeten kaum sein. Während der Gasriese Jupiter seine Ursprungschemie hat retten können – er besteht wie die Sonne hauptsächlich aus Wasserstoff und massenmäßig zu einem Viertel aus Helium – ist die Erde, hervorgegangen aus der Montage von Planetesimalen, im wesentlichen aus den seltenen schwereren Elementen des Periodischen Systems aufgebaut.

Die feste Erdkugel ist von einer vergleichsweise dünnen Atmosphäre umhüllt². Fiele die Luftdichte nicht mit der Höhe ab, reichte die Atmosphäre nur acht Kilometer hoch! Das sind gerade mal etwas mehr als ein Tausendstel des Erdradius.

Anders der Jupiter. Er ist fast durchweg Gashülle! Kommt es hoch, verfügt er über einen kleinen festen Kern von bis zu 20 Erdmassen. Verglichen mit der Gesamtmasse des Jupiter – 318 Erdmassen – ist dieser Kern, falls überhaupt vorhanden, unerheblich.

Das „falls überhaupt vorhanden“ bedarf einer Erklärung. Vor Jahren ging man davon aus, Jupiter müsse über einen festen Kern verfügen. Dieser Kern aus zusammengebackenen Gesteinen oder gefrorenen Gasen (Wasser, Methan, Ammoniak) schien als Kondensationskeim für das schnelle gravitative Aufsammeln der immensen Gashülle vonnöten. Falls der Jupiter aber nach Art der Sonne durch eine Gravitationsinstabilität in einer massereichen (und deshalb instabilen) protostellaren Gas-Staub-Scheibe entstanden sein sollte, schlagartig, d. h. im freien Fall, erübrigte sich ein Kern als Keim. Letzteres passt zu der Vorstellung, wonach Jupiter so eine Art verhinderte Sonne ist. In diesem Falle entspräche seine chemische Zusammensetzung exakt derjenigen der Ursonne.

Das Innere von Planeten ist für Theoretiker unzugänglicher als das Innere von (normalen) Sternen. Sterne sind simple Gaskugeln unter der Wirkung ihrer Eigenschwere. Deren Aufbau kennt man im Prinzip seit 1906. So ein Planeteninneres hingegen hat es in sich. Dazu muss man sog. Zustandfunktionen kennen, an die man experimentell wegen der hohen Drücke nur schwer herankommt. Dann das nächste Problem: Woher weiß man, dass die Theorie nicht falsch ist? Nur die *m i t t l e r e* Dichte eines Planetenmodells lässt sich sofort anhand von Fakten überprüfen. Aber sie sagt nichts über das radiale Dichteprofil aus, die Dichteschichtung. Auch das äußerliche Gravitationsfeld verrät nichts über das Innere eines Planeten, solange das Ganze kugelsymmetrisch ist. Jupiter macht es den Erforschern seines Inneren insofern einfach, als dass er – rotationsbedingt – merklich von der Kugelgestalt abweicht. Sein gravitatives Nahfeld, dem ja auch Raumsonden ausgesetzt sind, verrät deshalb etwas über sein Inneres, aber leider nicht allzu viel. Als verheißungsvoll gelten inzwischen planetare Schwingungen. Wie Erdbebenwellen können niederfrequente Druckschwankungen zur Sondierung des Inneren herangezogen werden. Diskontinuitäten (Dichtesprünge) wie im Falle der Erde muss es in der Gashülle des Jupiter nicht geben. Bei Temperaturen oberhalb der kritischen Temperatur verschwindet der Unterschied zwischen Gas und Flüssigkeit und mithin auch der entsprechende Phasenübergang.

Hier also eine dünne Atmosphäre, dort eine dicke Gashülle. Hier ist es allein die

²Der atmosphärische Wasserdampfmantel wirkt wie ein Pelzmantel und sorgt dank des Treibhauseffekts für eine erträgliche Temperatur.

(einseitige) Bestrahlung durch die Sonne, die Luft- und Wassermassen (vermittels des Windes) in Bewegung versetzt, dort kommt eine innere Heizung hinzu. Jupiter befindet sich immer noch in einem gravitativen Setzungsprozess. Helium (und Neon) setzt sich tröpfchenweise ins Innere ab. Die gravitative Entmischung durch „Abregnen“ ist eine Energiequelle! Energie der Schwere (potentielle Energie) wird in Wärme verwandelt, die durch Konvektion abtransportiert wird. Jupiter strahlt insgesamt das 1,7-fache der einfallenden Sonnenenergie ab. Er ist (im Infraroten) selbstleuchtend! Der Tumult, der sich in den Wolkenbändern des Jupiter abspielt, er ist größtenteils hausgemacht. Nicht so bei der Erde. Was aus dem Innern der Erde an geothermischer Energie strömt – ca. 50 TW – ist wenig, verglichen mit dem, was von außen einströmt: 120 000 TW.

Das Erdklima ist allein sonnen-getrieben. Da die Erde eine Kugel ist, bekommen die Tropen am meisten Sonne ab. Die gesamte beim Sonnenbaden zu Wärme degradierte Sonnenenergie wird als Infrarotstrahlung wieder abgestrahlt. Dieses Gleichgewicht gilt allerdings nur global, nicht lokal. Die Tropen strahlen weniger ab, als sie von außen empfangen, die Polregionen mehr. Es ist der Ausgleichswärmestrom zwischen den Tropen und den Polen, der das irdische Klima- und Wettergeschehen antreibt. Das alles spielt sich *o b e r f l ä c h e n n a h* ab. Die Tief- und Hochdruckwirbel, die wir von der Wetterkarte kennen, wie auch die Meeresströmungen und -wirbel erstrecken sich horizontal weit mehr als vertikal. Es handelt sich quasi um eine *z w e i d i m e n s i o n a l e* Strömung ohne Tiefe.

Und der Jupiter? Angesichts der enormen Tiefe seiner konvektiven Gashülle, der verglichen mit der Erde schnellen Rotation und dem fehlenden Temperaturunterschied zwischen Tropen und Polen, sollte man die Erscheinungen in der Jupiteratmosphäre nicht mit den Augen des irdischen Meteorologen sehen. Der Energieverlust des Jupiter durch konvektiven Wärmetransport bleibt nicht ohne Folgen: In Verbindung mit schneller Rotation entsteht ein planetares Windsystem von hoher Ordnung und Symmetrie. Jupiter erweist sich als eine Wärmekraftmaschine, die geordnete Bewegung (Jetstreams) erzeugt, Energie, die sich nutzen ließe. Geordnete Verhältnisse sind nicht umsonst. Energie muss dafür in den Weltenraum verpuffen. Jupiter ist ein Schulbeispiel für *d i s s i p a t i v e S t r u k t u r b i l d u n g*.

Den Kosmos-Boten hat in diesem Zusammenhang von jeher die Vorstellung beeindruckt, das reguläre oberflächliche Windsystem, dunkle Bänder wie helle Zonen, könne sich durch die Gashülle hindurch fortsetzen – und zwar *p a r a l l e l z u r R o t a t i o n s a c h s e*. Das erklärte die Symmetrie der äquatorparallelen Streifung: Jedem nördlichen Band entspricht genau ein südliches, jeder südlichen Zone eine nördliche, als „kommunizierten“ sie durch die konvektive Hülle des Planeten hindurch.

Was für das globale Windsystem zutreffen könnte, sollte einem markanten Hoch-

druckwirbel wie dem Großen Roten Fleck (GRF), der zumindest seit 1831 existiert, nicht verwehrt sein. Auch wenn die ovale „Wirbelsäule“ des GRF nicht so weit reicht, dass sie in der nördlichen tropischen Zone wieder aus dem Jupiter auftaucht, der GRF könnte dennoch tief in der Gashülle verankert sein. Ein tiefer Wirbel ist sicherlich längerlebig als ein flacher, der durch kleinere Wirbel ständig „gefüttert“ werden muss, soll er die Jahrhunderte überdauern.

Möglicherweise ist der GRF bereits 1664 von Robert Hooke (1635–1703) bzw. eine Beobachtungssaison später von Giovanni Domenico Cassini (1625–1712) gesehen worden. Seit 350 Jahren schwelt der Prioritätsstreit zwischen den beiden Erstentdeckern. Derzeit schrumpft der GRF, übertrifft aber immer noch die Erde an Größe.

Das Gesagte, die Unabhängigkeit einer Strömung entlang einer Parallele zur Rotationsachse, mag seltsam klingen, ist aber nur die Konsequenz eines hundertjährigen Theorems der Hydrodynamik. In einer hinreichend schnell rotierenden, reibungsfreien Flüssigkeit oder in einem Gas, wo Flächen gleicher Dichte mit Flächen gleichen Drucks (Isobare) zusammenfallen, sind Strömungen, also auch Konvektionsströmungen, in sog. Taylorsäulen³ organisiert, rotierende Rollen, die parallel zur Rotationsachse ausgerichtet sind. Je schneller die Rotation, desto stabiler die Strömung. Dadurch, dass die Rotation eine Raumrichtung vor den anderen auszeichnet, verkümmert die dreidimensionale Strömung zu einer zweidimensionalen. Schuld daran ist die Dominanz der Corioliskraft⁴. Man kann sich, wie dies der Physikprofessor Friedrich Busse aus Bayreuth in den 70er Jahren des vorigen Jahrhunderts getan hat, die gasförmige Kugelschale des Jupiter von konzentrischen Zylindern durchsetzt denken, deren gemeinsame Achse mit der Rotationsachse des Jupiter zusammenfällt. (Der Zylinder mit dem kleinsten Radius wäre dann derjenige, der den festen Kern des Jupiter tangierte.) Wo ein solcher Zylinder die Oberfläche schneidet, herrschen, egal ob nördliche oder südliche Hemisphäre, die gleichen Strömungsverhältnisse, weil sie auf der gesamten Zylinderfläche aufgrund des sog. Taylor-Proudman-Theorems gleich sind.

Am Theorem ist nichts auszusetzen. Ob im Falle des Jupiter seine Voraussetzungen erfüllt sind – insbesondere in den oberen Etagen, der Wolkenhülle –, darüber streiten die Gelehrten. Lehrreich und faszinierend ist, dass ein mathematisches Theorem Aussagen über Winde in der Tiefe allein aufgrund von Windmessungen an der Oberfläche ermöglicht.

Jupiter ist ein farbenprächtiger Planet. Man wird den Verdacht nicht los, auch dies

³Jede Radienvergrößerung der Säule würde durch die Corioliskraft in eine Rotationsbewegung umgemünzt, die ihrerseits durch die Corioliskraft eine rücktreibende Kraft zur Zylinderachse bewirkt. Die zylindrischen Taylor-Säulen, benannt nach Sir Geoffrey Taylor (1886–1975), sind Gefangene der Corioliskraft.

⁴In H.-U. Kellers diesjährigem „Himmelsjahr“ ist die Corioliskraft ein Monatsthema.

habe mit der schnellen Rotation zu tun. Die Gängelung des jovialen Strömungsfeldes – das Unterbinden dreidimensionaler Turbulenz –, verhindert Durchmischung. Die Rotfärbung des GRF sei übrigens „Sonnenbrand“, ließen NASA-Forscher verlauten. Der GRF ragt ziemlich heraus und ist am oberen Ende solarer UV-Strahlung ausgesetzt, die photochemische Reaktionen auslöst.

Videos sind zuweilen lehrreicher als viele Worte. Man schaue sich beispielsweise im Internet entsprechende Laborexperimente an (sorry, in English).