

Liebe Leserin, lieber Leser,

der Juni ist nach der Juno¹ benannt, der Gattin des Göttervaters Jupiter. (Im Juli kommt der Kosmos-Bote auf die Göttergattin zurück, dann geht es allerdings um „Juno“, die Jupitersonde.)

In den Monat Juni fällt für Bewohner der Nordhalbkugel der astronomische Sommersanfang. Der Wechsel der Jahreszeiten ist uns derart vertraut, dass wir kaum einen Gedanken darauf verschwenden – Grund genug, einmal die Jahreszeiten zum Thema zu machen. Sie sind keinesfalls selbstverständlich. Man nehme bloß den Uranus! Dort ist jeweils ein Pol für vier Jahrzehnte voll der Sonne ausgesetzt. Einen geregelten Tag-Nacht-Rhythmus kennt man dort nur um den Äquator herum. Und das andere Extrem: Ohne Jahreszeiten wäre unser Planet eventuell vereist!

Der äußere Anlass, die Jahreszeiten zum Thema zu machen, ist nicht-astronomischer Art: das „Jahr ohne Sommer“ vor 200 Jahren. Die Nachwirkungen der Tamboraeruption am 10. April 1815 im fernen Indonesien hatten ein zivilisationsbedrohendes Ausmaß angenommen. Teilweise fiel auf der Nordhalbkugel 1816 der Sommer aus. Und das war nicht das erste Mal. Seit längerem gilt das Augenmerk von Historikern und Naturforschern, darunter auch Sonnenforschern, den 30er und 40er Jahren des 6. Jh. Damals, man war in Konstantinopel (Istanbul) gerade beim Bau der Hagia Sophia, kam etwas dazwischen: Irgendwo brachen binnen weniger Jahre (536, 540 und eventuell 547) zwei bzw. drei Vulkane aus. Die Sommertemperaturen sanken weltweit um zwei Grad, mit verheerenden sozioökonomischen Folgen. Die „Kleine Eiszeit der Spätantike“ – sie könnte sich bis 660! hingezogen haben – ließ aus dem antiken Ostrom Byzanz werden und markiert mit Pest und Hungersnöten den Beginn des „dunklen“ Zeitalters. Renaissancegelehrte sprechen später vom Mittelalter (das so „dunkel“ nicht war)!

¹Juno war Schirmherrin Roms. Als Warnerin trug sie den Beinamen Moneta. Dass im antiken Rom im Monetatemplel auf dem Kapitulinischen Hügel Münzen geprägt wurden, bescherte uns neben Wortprägungen wie Münzen und Moneten auch den IMF (International Monetary Fund). Junos heiliges Tier war die Gans. Doch das ist eine andere Geschichte . . . Ein kolossales Antlitz der Juno gibt's in Weimar zu bestaunen, in Goethes Juno-Zimmer.

Einen meteorologisch guten Start in den astronomischen Sommer wünscht
Hans-Erich Fröhlich

Der Himmel im Juni

Der astronomische Sommer beginnt am 21. Juni, 0 Uhr 34 MESZ.

Venus ist nahe der Sonne und unsichtbar. Sie durchläuft ihre obere Konjunktion am 6. Juni, um 23 Uhr 15 MESZ. „Obere“ bedeutet für uns: jenseits der Sonne. Das Interessante daran: Da sie sich zu diesem Zeitpunkt sehr nahe der Ekliptik befindet, kommt es zu einer Bedeckung der Venus durch die Sonne! Danach feiert sie Auferstehung – als Abendstern!

Des Mars Oppositionsphase endet am 30. Juni, d. h., er wandert anschließend wieder rechtläufig, entgegen dem Uhrzeigersinn, durch den Sternenhimmel.

Zwölf Tage nach dem Mars steht Saturn der Sonne gegenüber. Opposition ist am 3. Juni. Wenn überhaupt, dann ist jetzt die Gelegenheit, Saturn zu beobachten. Allerdings steht er hierzulande tief im Süden.

Jupiter beherrscht den Abendhimmel. Am Monatsende verschwindet er bereits kurz nach Mitternacht.

Jahreszeiten

Die Rotationsachsen der Planeten stehen gemeinhin nicht senkrecht auf der jeweiligen Bahnebene, was dazu führt, dass im Laufe eines Umlaufs um die Sonne bei gegebenem Ort die Mittagshöhe der Sonne saisonal variiert, falls es die Sonne überhaupt über den Horizont schafft. Der Neigungswinkel zwischen der Senkrechten und der Rotationsachse ist von Planet zu Planet unterschiedlich: Bei der Erde beträgt er $23,4^\circ$. Im Falle der Venus sind es lediglich $2,7^\circ$, d. h., ihre Rotationsachse steht senkrecht auf der Bahnebene. Indes rotiert Venus verkehrt herum – von „oben“ gesehen also im Uhrzeigersinn –, weshalb oft ein Neigungswinkel von $177,3^\circ$ ($180 - 2,7$) genannt wird. (Bei dieser Lesart dreht sich der Planet stets „richtig“ herum, seine Rotationsachse ist lediglich „gekippt“. Sie weist nach der Rechte-Faust-Regel nach „unten“.) Am verrücktesten der Uranus: Sein Neigungswinkel misst $97,8^\circ$. Zum Zeitpunkt des Voyager 2 Vorbeifluges 1986 zeigte ein Uranuspol² ziemlich genau

²Ob Nord- oder Südpol ist Definitionssache.

auf die Sonne.

Diese kleine Auswahl an Kuriositäten möge vorerst genügen. Unterstellt man, dass die Eigendrehimpulse (Spins) der Urplaneten mehr oder weniger parallel zu den Bahndrehimpulsen ausgerichtet waren, also die Abwesenheit von Jahreszeiten die Regel war, muss man für das Entstehen von Jahreszeiten eine Erklärung finden. Weiterhin stellt sich die Frage nach der Stabilität einer Rotationsachse. (Warum die Achse³ der Sonne, des Hauptkörpers im Sonnensystem, um 7° vom Vektor des Gesamtdrehimpulses des Sonnensystems, einer Erhaltungsgröße, abweicht, ist ein Rätsel.)

Präzession

Die Neigung der Erdachse schwankt seit Jahrmillionen mit einer mittleren Periode von 41 000 Jahren zwischen 22 und $24,5^\circ$. Unsere Jahreszeiten sind, so scheint's, stabil! Ein Grund dafür dürfte der Mond sein. Die Erde ist leicht abgeplattet. Mond (und Sonne) üben deshalb durch ihre Schwerkraft ein Kippmoment auf den Erdkreis aus. Wie ein Spielzeugkreisel präzediert auch jener. Und zwar mit der astronomisch kurzen Periode von 26 000 Jahren. Ohne Mond dauerte das sog. „Platonische Jahr“ dreimal länger und geriete dadurch in die Nähe von Schwingungsperioden, mit der die Bahnebene der Erde unter dem Einfluss der anderen Planeten bzgl. der festen (invarianten) Ebene des Sonnensystems schwankt. Es käme zu einer himmelsmechanischen Resonanz, einem gegenseitigen Aufschaukeln, was in deterministischem Chaos endete, d. h. unvorhersehbarer Achsneigung.

Die Präzession bewirkt lediglich, dass die Sommersternbilder in 13 000 Jahren zu Wintersternbildern werden. Für die Jahreszeiten ist dies ohne Belang. Der Bauer schaut nicht in den Nachthimmel, er konsultiert den Kalender, und dieser orientiert sich am *tropischen* Jahr, das etwa 20 Minuten kürzer ist als die Dauer eines Umlaufes der Erde um die Sonne (siderisches Jahr). Das garantiert, dass die Jahreszeiten nicht im Laufe der Zeit durchs bürgerliche Jahr wandern. Frühlingsanfang ist immer um den 20. März herum. Nicht berücksichtigt ist die langsame Drehung der Erdbahnellipse. Wir profitieren z. Z. davon, dass der sonnennächste Punkt der Erdbahn Anfang Januar durchlaufen wird. Das wird sich ändern.

³Nur soviel, weil es gerade um den Juni geht: Anfang Juni und Anfang Dezember erscheint dem Sonnenbeobachter der Sonnenäquator als Gerade. Er sieht dann genauso viel von der Nordhalbkugel wie von der Südhalbkugel.

Die erwähnte Variation des Neigungswinkels hängt u. a. damit zusammen, dass die Jahresbahn der Erde selbst ein Kreisel ist, ein reifenförmiger „Bahnkreisel“ – man stelle sich die Erdmasse längs ihrer Bahn verteilt vor! –, der unter Wirkung eines Kippmoments, ausgeübt durch die anderen Planeten, präzediert. Die Ekliptikalebene, festgelegt durch die jährliche Bewegung des Schwerpunktes des Erde-Mond-Systems, ist nämlich etwa $1\frac{1}{2}$ Grad gegen die (so gut wie) fixierte Fundamentalebene des Sonnensystems geneigt. Aus praktischen Gründen und weil die Lage dieser invarianten Ebene schlecht definiert ist, beziehen sich Himmelsmechaniker, Geo-Zentriker⁴, immer noch auf die Ekliptik, obgleich die Fundamentalebene physikalisch gesehen die sinnvollere Bezugsebene darstellt.

Gezeiten

Verglichen mit dem „Bahnkreisel“ eines Planeten (bzw. einer Mondbahn) sind Planetenkreisel und erst recht Mondkreisel geradezu winzige Gebilde. (Es braucht, abgesehen vom Mond, ein starkes Fernrohr, um zu erkennen, dass sie keine Punkte sind!) Der Eigendrehimpuls macht nur einen winzigen Bruchteil des Bahndrehimpulses aus. Es gehört nicht all zu viel dazu, die Rotationsachse eines Planeten zu „kippen“. Die Bahn eines Planeten ist mehr oder weniger stabil, seine Rotationsachse fragil!

Generell gilt, dass himmelsmechanische Störungen durch andere Planeten die Orientierung einer Rotationsachse chaotisch zu ändern vermögen. Ursache sind Resonanzen, insbesondere zwischen der Präzessionsfrequenz und quasi-periodischen Schwingungen von Gestalt (Exzentrizität) und Lage der Planetenbahn. Man beachte in diesem Zusammenhang, dass die Präzessionsfrequenz eines Planeten ggf. durch einen Trabanten dramatisch erhöht wird! Damit sich am Spin eines Planeten etwas ändert, muss ein Drehmoment angreifen können. In Ermangelung von Reibungskräften, kommen nur gravitative Kräfte in Frage. Vom „Störenfried“ aus gesehen, muss der Planet, genauer seine Masseverteilung, *u n s y m m e t r i s c h* sein, womit wir bei

⁴Jupiterastronomen wären mit der Jupiterbahnebene dichter an der Fundamentalebene dran, weil in der Bahnbewegung des Jupiter allein 60 % des gesamten Drehimpulses des Sonnensystems stecken. In diesem Zusammenhang ist folgendes bemerkenswert: Auf die Sonne entfallen zwar 99,9 % der Gesamtmasse des Sonnensystems, aber nur 0,3 % des Gesamtdrehimpulses! Bereits vor der Entstehung von Planeten wurde Drehimpuls im großen Maßstab in einer Gas-Staub-Scheibe durch Reibung umverteilt.

den Gezeiten wären. Beispiel Mond: Damit es zur Gezeitenreibung kommt, zur Verlängerung des Erdentages, dürfen die vom Mond erzeugten Flutberge zu Wasser wie zu Land nicht genau unterhalb des Mondes (sublunarer Punkt) liegen, also auf der Geraden, die durch Erd- und Mondmittelpunkt führt. Unser Planet reagiert nicht instantan, sondern mit einer Verspätung von ca. 10 Minuten auf die Gezeitenkraft des Mondes. Die Berechnung dieses „Hinterherhinkens“ der Verformung erfordert die Kenntnis der Materialeigenschaften (und der Topografie). Nun ist ein Planet alles andere als ein starres Kügelchen, er ist plastisch und elastisch, und er hat ggf. eine Schalenstruktur: Sein Kern rotiert möglicherweise losgelöst vom Mantel. (Bei der Erde ist der feste innere Erdkern durch viskose Kräfte an den äußeren flüssigen Erdkern gekoppelt, dieser wiederum an den Erdmantel. Hinzu kommt, dass Kontinente auf heißem Untergrund „schwimmen“ und eventuell, durch die Fliehkraft getrieben, zum Äquator rutschen, was die Rotationsachse stabilisiert). Bei Planeten mit dichten Atmosphären spielen außerdem atmosphärische Gezeiten eine Rolle. (Die Venusatmosphäre hat am Boden immerhin ein Fünftel der Dichte von Wasser!) Angesichts der Kompliziertheit des physikalischen Problems, der Unkenntnis des Anfangszustandes und Unsicherheiten bzgl. der Materialeigenschaften erscheint es ratsam, Modellrechnungen zur Wanderung planetarer Rotationsachsen mit einer gesunden Skepsis zu begegnen. In der Chaoszone sind ohnehin nur noch Wahrscheinlichkeitsaussagen möglich.

Merkur, Venus, Mars, Uranus

Die beiden innersten Planeten, Merkur und Venus, rotieren ausgesprochen langsam. Beim Merkur füllen 1 1/2 Merkurtage bereits ein Merkurjahr. Bei der Venus übertrifft der (siderische) Venustag, 243 Erdtage, sogar das Venusjahr von 224,7 Erdtagen. Die Umdrehungsgeschwindigkeit am Venusäquator bzgl. der Sterne entspricht der Geschwindigkeit eines rüstigen Gehers! (Der Erdäquator hingegen nimmt es an Schnelligkeit mit einem Überschallflugzeug auf!) Diese Langsamkeit dürfte der Sonnennähe geschuldet sein. Ihre Gezeiten haben die ursprünglich schnelle und reguläre Rotation stark abgebremst. Merkur ist, wie gesagt, in einer 3 : 2 Spin-Orbit-Resonanz⁵ gefangen. (3 Merkurtage = 2 Merkurjahre.) Wie numerische Experimente zeigen, die die Ent-

⁵Resonanzen sind oft selbstzerstörend. Die Schwingungsamplituden wachsen so stark an, dass das System schließlich „aus dem Tritt gerät“, wie ein Pendel, das zu weit ausschlägt. Andere Resonanzen hingegen sind gedämpft und stabil.

wicklung der Eigendrehung verfolgen, setzt dies allerdings gelegentlich große Exzentrizitäten der Merkurbahnellipse voraus. Himmelsmechanisches Chaos zeitigt genau das und half, dass Merkur in diese Resonanz gelangen konnte, in der er bis auf weiteres fest sitzt.

Das Rotationsgebaren der Venus lässt Gelehrte die Haare raufen. Eine Katastrophe in den Anfangstagen des Sonnensystems, ein Zusammenstoß mit einem größeren Himmelskörper, ist da fast noch die plausibelste Lösung. Es geht aber auch auf die langsame Tour, worauf Himmelsmechaniker aus Frankreich verweisen. Zwei Entwicklungspfade sind denkbar, die in Äonen zu der „verkehrten“ Rotation geführt haben könnten: Entweder ist die Rotationsachse im Wortsinne „gekippt“ worden oder die Rotation wurde mehr als nur abgebremst, will sagen, dass das Abbremsen ins Negative fortgeführt wurde. Dazu allerdings muss sowohl die Reibung zwischen Venuskern und Venusmantel ins Kalkül einbezogen werden als auch die starken thermischen Gezeiten in der dichten Venusatmosphäre. Bei einem rotierenden Planeten bedingt die einseitige Aufheizung durch die Sonne Temperatur- und Druckunterschiede zwischen Tag- und Nachtseite. Die „Luft“massen zirkulieren. Es kommt zu Masseverlagerungen. Wie jedermann aus Erfahrung weiß, ist es am heißesten, wenn Mittag bereits vorüber. An dieser Verspätung, dieser Asymmetrie in der longitudinalen Massenverteilung, setzt die Schwerkraft der Sonne an. Die thermischen Gezeiten wollen die Venusrotation beschleunigen! Bei der langsam⁶ rotierenden Venus steckt dies offenbar hinter der rätselhaften 4-Tage-Superrotation⁷ der oberen Wolkenschicht. Diese rotiert 70mal schneller als die Oberfläche! Offenbar halten Abbremsung und Beschleunigung der Rotation einander die Waage. Ach ja, Chaos, himmelsmechanisches, ist außerdem vonnöten: Rotation bleibt Glücksache!

Dank des Mondes ist der Doppelplanet Erde-Mond fein raus: Das Klima bleibt, was das Astronomisch-Jahreszeitliche anbelangt, stabil! Die Schwankungen der Rotationsachse machen maximal $\pm 1,3^\circ$ aus. Allerdings entfernt sich Stabilisator Mond um messbare 3,8 cm pro Jahr von uns. Sein Einfluss schwindet, und das Platonische Jahr wird länger. Erreicht der Erdtrabant einen Abstand von 68 Erdradien – derzeit sind es 60 –, lauern gefährliche Resonanzen. Auf lange Sicht⁸ ist himmelsmechanisches Chaos vorprogram-

⁶Der Sonnentag, von Mittag zu Mittag, dauert für Venusianer 116,75 Erdentage.

⁷Superrotation kennt man ansonsten nur noch von der Titanatmosphäre.

⁸Überprüfbar ist so eine Prophezeiung nicht. Sie ist wissenschaftlich wertlos: In Milliarden Jahren wird sich niemand daran erinnern!

miert – mit verheerender Auswirkung aufs Klima!

Beim Mars herrscht bereits das Chaos. Seine beiden Mönchchen vermögen die Rotationsachse nicht zu bändigen. Binnen Jahrmillionen ändert sich die Achsneigung unvorhersehbar. Jahreszeiten können sogar ganz wegfallen.

Und Uranus? Die Riesenplaneten Uranus und Neptun können kaum so weit draußen entstanden sein. Nach dem viel zitierten Nice-Modell wurden sie durch eine das Sonnensystem erschütternde 2:1-Bahn-Resonanz zwischen Jupiter und Saturn auf ihre jetzigen Plätze katapultiert. (Das Sonnensystem war einst kompakter!) Während dieser Migration könnte es durchaus zu des Uranus retrograder Rotation mit einem Neigungswinkel von 97° gekommen sein, wie Computerexperimente französischer Himmelsmechaniker nahelegen. Dazu wäre allerdings ein gewichtiger Uranusmond vonnöten gewesen, einer, der das Platonische Jahr des Uranus drastisch verkürzt hat, so dass es zu Resonanzen mit periodischen Störungen durch andere Planeten hat kommen können. Wieder wird himmelsmechanisches Chaos bemüht, um etwas Seltsames zu erklären. Später sei dieser Mond verloren gegangen.