

Liebe Leserin, lieber Leser,

das Vulkanthema lässt einen nicht los. Vielleicht waren es ja vulkanische CO₂-Emissionen, die damals, als die Sonne noch nicht so wärmte wie heute, ein völliges Vereisen der jungfräulichen Erde verhindert hatten.

Zuvor aber sei eines Astronomen gedacht, der vor dreihundert Jahren, am 14. September 1712, in Paris verstarb: Giovanni Domenico Cassini. Er galt zu seiner Zeit als der „Erste“ unter den Astronomen Europas. Der 1625 in Ligurien geborene Cassini war mit 25 Jahren Astronomieprofessor und Bauingenieur für Festungsbau in Bologna und wurde 1671 auf Einladung und Geheiß des „Sonnenkönigs“¹ Akademiker und erster Direktor der neuerbauten Pariser Sternwarte. Er nannte sich fortan Jean-Dominique Cassini. Zu den Aufgaben der Sternwarte gehörte das Erstellen von Tabellen zur Längenbestimmung auf See. (Aus dem gleichen Grund entstand kurz darauf die Königliche Sternwarte in Greenwich.) Cassini war ein begnadeter Beobachter. Er beschrieb 1683 als erster das Zodiakallicht und ist, zusammen mit Robert Hooke (1635–1703), Mitentdecker des Großen Roten Flecks auf dem Jupiter. Ihm fiel auch auf, dass Jupiter differentiell rotiert. Die Rotationsperiode hängt von der jovianischen Breite ab. Berühmt aber machte ihn Saturn. Vier Saturnmonde kommen auf sein Entdeckerkonto und die später nach ihm benannte Teilung² im Ring des Saturn. Man erzählt sich, er habe, um seinem Gönner zu huldigen, sogar zwei Mondentdeckungen lange Zeit unterschlagen gehabt, damit die Anzahl der Wandelsterne und Monde bei 14 bliebe.

Aus der Tatsache, dass er den Japetus eigentlich immer nur westlich vom Saturn zu Gesicht bekam, schloss Cassini folgerichtig auf eine gebundene Rotation des Mondes und auf eine dunkle Mondhälfte, was die Cassini-Mission der NASA/ESA glänzend bestätigte.

¹Bei einer Neuvermessung seines Reiches stellte sich heraus, dass Frankreich kleiner ist als gedacht. Ludwig XIV. nahm's gelassen: Cassini hätte ihm mehr Land genommen, als er in all seinen Kriegen erobert habe.

²Den für die Lücke zuständigen Saturnmond, fand 1789 Friedrich Wilhelm Herschel (1738–1822). Ringpartikel in der Lücke bewegen sich auf Bahnen in einer 2:1 Bahnresonanz mit dem Mimas. Gravitative Störungen schaukeln sich auf, so dass die Cassini-Lücke immer wieder himmelsmechanisch leergefegt wird.

Cassini maß mit seinem Assistenten, der eigens zu diesem Zwecke dorthin entsandt wurde, wo der Pfeffer wächst (Cayenne in Französisch Guayana) – 7000 km von Paris entfernt –, 1672 die Entfernung des Mars. Da die *relativen* Abstände im Planetensystem durch die Keplerschen Gesetze festgelegt sind, bedurfte es einer einzigen Abstandsmessung nur, um die wahre Größe des Planetensystems zu ermitteln. Der Mars kam uns damals besonders nahe, eine sog. Perihelopposition. (Näher noch als Mars kommen Venus und gewisse kleine Planeten der Erde.)

Cassini befasste sich weiterhin mit der mathematischen Gestalt der Erde, wobei er allerdings für eine „zigarrenförmige“ (langgestreckte) Erde plädierte. Das ist seltsam, war er es doch, der die Abplattung des Jupiter an den Polen bemerkt hatte. (Voltaire (1694–1778) sollte später Maupertuis³ (1698–1759) mit den Worten gratulieren, dieser habe nicht nur die Erde plattgedrückt, sondern auch die Cassinis.)

Der Posten des Sternwartendirektors verblieb 125 Jahre lang – für vier Generationen! – in den Händen der Cassinis.

Genießen Sie den astronomischen Sommerschluss, und freuen Sie sich auf die langen Nächte! Das wünscht Ihnen

Ihr Hans-Erich Fröhlich

Der Himmel im September

Merkur ist Anfang des Monats am Morgenhimmel sichtbar. Seinen größten (westlichen) Abstand zur Sonne durchläuft er am 3. September. Der Winkelabstand erreicht $18,1^\circ$.

An Oppositionen haben wir deren zwei. Der Planet Uranus steht am 25. September der Sonne gegenüber. Man findet ihn, wie auch den Neptun, in den Fischen. Etwas eher, am 16., begibt sich ein Zwergplanet in die Opposition: die Ceres. Sie ist zwar die Größte unter den Kleinen zwischen Mars und

³Der Franzose Maupertuis hatte 1737 die „englische“ Version des Erdellipsoids durch Messungen bestätigt: Abplattung an den Polen, wie von Newton (1643–1727) vorhergesagt. Newton hatte sich bei seinen Betrachtungen über die Erdgestalt auf die Schwingungsmessungen mit einem Sekundenpendel von Cassinis Assistenten Jean Richer (1630–1696) stützen können. Maupertuis ist übrigens „unter den Linden“ verewigt — auf der rückseitigen Ehrentafel des Rauch'schen Reiterstandbilds von Friedrich II. Er war von 1746–1753 der erste Präsident der von Friedrich erneuerten Berliner Akademie.

Jupiter, kommt aber der Erde nur bis auf zwei Astronomische Einheiten nahe. Mehr als 7,6-te Größe ist da nicht drin. Wo sie sich aufhält? Zwischen Wassermann und Walfisch.

Was sonst noch zu vermelden ist? Der Mars wird langsam, aber stetig, immer günstiger, und er wechselt in den Krebs. Das wäre nicht weiter vermeldenswert, durchquerte er nicht das einzig Interessante am Krebs: die „Krippe“ (Praesepe). Und das gleich in den beiden ersten Oktobernächten! (Ich erwähne das bereits jetzt, weil der Kosmos-Bote leider nicht immer am Monatsanfang schon im Netz aller Netze hängt.)

Einen Herbstanfang gibt es auch. Am 23. September, kurz nach 11 Uhr MESZ, steht die Rotationsachse der Erde senkrecht auf der Verbindungslinie Erde-Sonne. Danach wird sich allmählich der Südpol der Sonne zuneigen, was dort den Frühling einläutet, bei uns aber den Herbst.

„Schneeballerde“?

Vor fast vierzig Jahren führten die beiden Astrophysiker Carl Sagan (1934–1996) und George Mullen ein Gedankenexperiment durch, dessen Ausgang die Wissenschaft bis heute bewegt: Die beiden ersetzten die heutige Sonne am Himmel durch die Ursonne. Das Ergebnis des Experiments: Die Erde wäre total vereist. Über die Hälfte ihrer Geschichte hätte die Erde, so wie sie jetzt ist, von einem Eispanzer umgeben sein müssen. Die Ursache ist schlicht, dass die Ursonne noch nicht die Leuchtkraft der heutigen hatte, und die derzeitige Konzentration von Treibhausgasen (Wasserdampf und Kohlendioxid) bei weitem nicht ausreichte, den Planeten über den Gefrierpunkt⁴ zu heben.

Fazit: Die frühe Erde muss anders gewesen sein. Carl Sagan und George Mullen vermuteten ein Mehr an Treibhausgasen wie CH_4 und NH_3 . Oder stimmt etwa der Sonne Werdegang nicht?

⁴Der Treibhauseffekt trägt sehr zu unserem Wohlbefinden bei. Ohne ihn wäre es gut 30 Grad kälter. Es ist hauptsächlich der Wasserdampf, der wärmt. Er umhüllt unseren Heimatplaneten wie einen Pelzmantel, sehr zum Leidwesen der Langwellen-Astronomie übrigens: Die Erdatmosphäre ist im Spektralbereich der Wasserdampfbanden undurchdringlich. Deshalb fiel es der bodengebundenen Astronomie so schwer, Wasser, eine der häufigsten Verbindungen im Weltall, nachzuweisen. Das ist der Grund, warum die Astronomen mit ihrer Infrarot- und Submillimeter-Empfangstechnik auf hohe Berge ausweichen – sie wollen möglichst viel von dem atmosphärischen Wasserdampf unter sich lassen.

Doch der Reihe nach. Auch wenn es schon früher, bevor das Leben flourierte, Kälteperioden gegeben hat, spricht nach Meinung von Geologen nichts für eine Totalvereisung der Erde. Im Gegenteil, recht bald nach der Bildung der Erde muss es Wasser in flüssiger Form gegeben haben, anders ist das Vorhandensein gewisser Mineralien nicht zu verstehen.

Was wirklich bemerkenswert ist: die Konstanz, mit der die Erde ihre Temperatur hat halten können. Sie hat die Zunahme der Sonneneinstrahlung um rund ein Viertel (!) einfach weggesteckt! Wie man liest, sei in den vergangenen 500 Millionen Jahren, Eiszeiten eingerechnet, die Temperatur auf $\pm 3\%$ konstant gehalten worden. Im Holozän, d. h. in den vergangenen 12 000 Jahren, sogar auf $\pm 1\%$. Das spricht für einen guten Thermostaten.

Gemeinhin wird angenommen, es sei der Kohlenstoff-Kreislauf, der, bei Vorhandensein von flüssigem Wasser, die Temperatur regelt. Es bedarf dazu einer *negativen* Rückkopplung. CO₂ entsteht im Erdmantel durch thermische Spaltung von Karbonat (Kalkstein, Marmor, Kreide) und gelangt durch Vulkane⁵ in die Atmosphäre. Wie hoch die CO₂-Konzentration dort ist, auf welches Niveau sie sich einstellt, hängt davon ab, wie schnell das Treibhausgas durch Regen ausgewaschen und durch Kalksteinbildung wieder aus dem Verkehr gezogen wird. Bei hoher Temperatur und Luftfeuchte geschieht das schnell, weil es dann viel regnet. Die Lebewelt mischt da kräftig mit. Viel CO₂ wird in den Kalkschalen und -skeletten abgestorbener Mikroorganismen (Kalkalgen, Foraminiferen) gebunden – Rügens Kreidefelsen! – und verschwindet durch das Abtauchen von Ozeanboden irgendwann im heißen Innern der Erde. Wir sehen: Wasser ist wichtig, flüssiges! Aber selbst für eine „Schneeballerde“, wo alles Wasser gefroren und die Sonnenstrahlung durch Schnee und Eis abgewiesen würde, gäbe es langfristig Hoffnung: Vulkane. Da das Verbuddeln von CO₂ unterbunden ist, nimmt der CO₂-Gehalt durch vulkanisches Ausgasen zu. Irgendwann beginnt's zu tauen. Auf jede der Vereisungsepisoden⁶ vor 580

⁵Neuerdings auch durch die Schornsteine von Verbrennungsanlagen und Heizungen! Leider erfolgt die hier beschriebene natürliche Regelung der Erdtemperatur auf Zeitskalen von 500 000 Jahren. Die Plötzlichkeit des anthropogenen CO₂-Ausstoßes gibt dem Planeten keine Chance, darauf zu reagieren!

⁶Vor 2,4 Milliarden Jahren hatten Blaualgen (Cyanobakterien) eine Eiszeit ausgelöst. Sauerstoff aus der Photosynthese konnte nicht mehr im Boden chemisch gebunden werden und begann, die Atmosphäre zu verunreinigen. Im Gefolge dieser „Sauerstoffkatastrophe“ – Sauerstoff war für die Kolonisten giftig –, wurde Methan (CH₄) wegoxidiert. Ohne die wärmende Hülle aus Methangas, das ein weit effizienteres Treibhausgas als Kohlendioxid ist, aber war die Vereisung nicht aufzuhalten.

bis 750 Millionen Jahren verwandelte sich die Erde immer kurzzeitig in ein Treibhaus.

War der CO₂-Gehalt der Luft im Archaikum, also vor 2,5 bis 4 Milliarden Jahren, wirklich 70-mal höher als heute? Vor kurzem steckte mir ein Kollege einen *Nature* Artikel zu, dessen Autoren genau das bezweifeln. Es gäbe keinen Hinweis für derart hohe Konzentrationen an CO₂, NH₃ oder CH₄. Der mineralogische Befund spräche dagegen. Sie sehen des Rätsels Lösung ganz woanders. Ob kalt, ob warm entscheide der Grad der Landbedeckung. Die Ozeane machen was aus dem Sonnenlicht, sie absorbieren es, die Kontinente, insbesondere wenn noch nackt und ohne Pflanzenbewuchs, werfen die wärmende Strahlung ungenutzt in den Weltenraum zurück. Das Archaikum war eine *water world*, große zusammenhängende Landmassen gab's noch nicht. Selbst die Bewölkung war eine andere dazumal, durchscheinender, nicht so reflektierend. Der Urzeitglobus war wirklich nicht vergleichbar mit dem, den wir kennen! Wie es aussieht, alles also nur eine Frage der Albedo, des Rückstrahlvermögens.