

Verjagt man uns von der Erde, so wird mein Buch als Führer den Auswanderern und Pilgern zum Monde nützlich sein.

Johannes Kepler, 1629

Liebe Leserin, lieber Leser,

1609 hatte Kepler (1571–1630) einen „Traum“. Ihm träumte von einer Fahrt zum Mond. Die phantastische Erzählung, zu deutsch: „Traum, oder die Astronomie des Mondes“, ein Vorläufer der Science-Fiktion, erschien, mit vielen Anmerkungen gespickt, erst vier Jahre nach Keplers Ableben. Sein ältester Sohn, Ludwig (1607–1663), hatte die postume Veröffentlichung besorgt und dem astronomiebegeisterten Landgrafen Philipp III. von Hessen-Butzbach (1581–1643) gewidmet. Dadurch, dass sich Kepler in Gedanken zum Mond begibt, kann er sich vom irdischen Standpunkt lösen und seine pädagogischen Fähigkeiten zur Popularisierung des Kopernikanischen Weltbildes einsetzen. Darüber hinaus wird noch Wissenswertes und durchaus Skurriles über Levania und die Seleniten, den Mond und seine Geschöpfe, an den des Latein Mächtigen gebracht.

Mit 25 km/s Durchschnittsgeschwindigkeit waren Keplers Traumgestalten von 1609 flinker als die Apollo-Astronauten von 1969. Laut Kepler, der sich nebenbei über abergläubige Vorstellungen¹ lustig machte, die mit Sonnen- und Mondfinsternissen zusammenhängen, müsse so eine Mondfahrt im Schutze des Erdschattens erfolgen, um nicht der Sonnenglut zu erliegen. Diese Schattenbrücken zwischen Erde und Mond währen nur Stunden. Eile war geboten! Und da ist etwas dran: Mondreisende sind außerhalb des Magnetschildes der Erde ungeschützt der Korpuskularstrahlung der Sonne ausgeliefert, welche zuweilen tödlich tobt.

Am 20./21. Juli 1969, 350 Jahre nach Keplers „Traum“, war es so weit: Erstmals betraten Menschen „Levania“. Es war nicht die Kraft eines isländischen Dämons², wie in Keplers Traum, sondern der 3 1/2-Tausend-Tonnen-Schub

¹Das Verschwinden der Sonne weckt uralte Ängste. Bei der totalen Sonnenfinsternis vom 29. März 2006 stieß der Kosmos-Bote im Totalitätsstreifen auf verlassene Ortschaften!

²Lichtscheue Geschöpfe, Geister und Gelehrte, zieht es laut Kepler in die Polargegenden. Er dachte wohl an Thule (Island) und hyperboräische Nächte.

einer Saturn-V, der die Crew von Apollo 11, Neil Armstrong (1930–2012), Edwin „Buzz“ Aldrin (geb. 1930) und Michael Collins (geb. 1930), zum Monde beförderte. Dass ein Erdling, wie Neil Armstrong, eine weiche Landung hinbekommen könnte, diese Bravourleistung traute Kepler keinem Menschenkinde zu (zumal ein solches während der Überfahrt, der Strapazen wegen, mit Opiaten betäubt werden musste)! Gute Geister seien vonnöten, schreibt er: „Aber infolge der bei Annäherung an unser Ziel stets zunehmenden Anziehung würden [die Mondfahrer] durch zu harten Anprall an den Mond Schaden leiden, deshalb eilen wir [guten Geister] voran und behüten sie vor dieser Gefahr.“

1972 endete das Apollo-Mondflugprogramm vorzeitig mit Apollo 17. An dieser vorerst letzten Expedition nahm erstmals ein Wissenschaftler teil, der Geologe Harrison Schmitt (geb. 1935). Der sprach sich später wiederholt für eine „Rückkehr zum Mond“ aus, allerdings diesmal zum Zwecke seiner wirtschaftlichen Nutzung. Dazu weiter unten mehr.

Auch wenn der Juli-Newsletter ganz dem Monde gewidmet ist, sollte nicht unerwähnt bleiben, dass vor 70 Jahren der in Princeton wirkende österreichische Logiker und Mathematiker Kurt Gödel (1906–1978) mit einem verstörenden Geschenk zu Einsteins 70. Geburtstag aufwartete: einem Weltmodell mit „Zeitschleife“, und das auf Grundlage der Einsteinschen Allgemeinen Relativitätstheorie! Eine entsprechende Publikation erschien in der Juliausgabe der *Reviews of Modern Physics*. Zimmernachbar Albert Einstein war verblüfft, dass seine Theorie so etwas – eine Weltlinie, die sich in den Schwanz beißt! – *in petto* hat. Zum Glück ist Gödels Modelluniversum von rein gedanklicher Art und ohne Bezug zur kosmologischen Wirklichkeit. Die Wirklichkeit expandiert, Gödels Universum rotiert, und Zeitreisen in die eigene Vergangenheit bleiben Fiktion.

Spaß bei der Lektüre wünscht wie immer

Hans-Erich Fröhlich

Der Himmel im Juli

Willkommen in der zweiten Jahreshälfte!

Die Erdähnlichen – Merkur, Venus und Mars – gehen unter in des Taghimmels Glast. Die Nacht wird beherrscht von Jupiter und Saturn, und zwar in dieser Reihenfolge. Letzterer steht am 9. Juli der Sonne ziemlich exakt gegenüber.

Leider sind Sommeroppositionen von Planeten für uns wenig erfreulich. Sie spielen in sehr südlichen Gefilden.

Was sonst noch passiert im Juli:

Am 4. Juli durchschleicht die Erde mit 29,29 km/s wieder einmal den sonnenfernsten Punkt ihrer Keplerbahn, das Aphel. (Im Perihel zu Jahresbeginn ist sie exakt 1 km/s schneller.) Die Aphel-Sonnenscheibe ist naturgemäß die kleinste und, was die Gesamtstrahlkraft anbelangt, die leuchtschwächste, was wenigstens für uns Bewohner der nördlichen Halbkugel den klimatischen Kontrast zwischen Sommer und Winter etwas mildert. Die Flächenhelligkeit der Sonne ist davon unberührt. Sie ist, wie ein jeder Fotograf weiß, unabhängig von der Entfernung.

Neumond ist am 2. Juli. Da sich der Mond dann gerade nahe dem aufsteigenden Knoten seiner Bahn befindet – er durchstößt die Ekliptik („Finsternislinie“) von Süden her kommend –, kommt’s zu einer Sonnenfinsternis, einer totalen. Ihr Höhepunkt fällt allerdings in den Südpazifik. Keplers lichtscheue Mondgeister, die das Event für einen Schattenkegel-Trip zur Erde gebucht haben, dürften kaum trockenen Fußes hier ankommen. Weit und breit keine Insel in Sicht! Erst gegen Ende der Finsternis betritt der Mondschatten südamerikanischen Boden. Sollte es dem Gesindel hier nicht gefallen, gibt’s zwei Wochen danach bereits eine Rückkehrchance – zumindest für Geister, die in den hohen Norden des Mondes wollen. Bei der Mondfinsternis am 16./17. Juli taucht lediglich die Nordpolarregion in den Kernschatten der Erde ein.

Wozu der Mond gut sein könnte

Raumfahrt ist teuer. Man muss zunächst den Potentialwall der Erde erklimmen. Da Gravitationsenergie negativ ist, heißt das, das energetische Null-Niveau erreichen, bevor die eigentliche Reise beginnt. Ein Maß für diesen Anfangsaufwand, der von der Kompaktheit³ des kosmischen Domizils abhängt, ist die Entweichgeschwindigkeit, auch zweite kosmische Geschwindigkeit genannt. Das sind im Falle der Erde 11,2 km/s. Satte 40 000 km/h bloß um das Tor zum Weltenraum aufzustoßen!

Viel wäre gewonnen, begönne dessen Eroberung vom Monde aus. Seine Entweichgeschwindigkeit beläuft sich auf 2,37 km/s. Ihm zu entkommen ist energetisch $(11,2/2,37)^2 = 22$ -mal leichter! Der Mond als Basis für Flüge zum

³Es zählt das Masse-Radius-Verhältnis, nicht die Dichte.

Mars etc.? Nur, wenn es gelingt, den Treibstoff für Fernreisen auf dem Mond selbst zu erzeugen, womit wir beim Wasser wären. Raketentriebwerke nutzen letztlich die Knallgasreaktion: Aus Wasserstoff und Sauerstoff wird unter Energiefreisetzung Wasser. Um Treibstoff zu erzeugen müsste man diesen Vorgang umkehren, also Mondwasser in seine Bestandteile spalten. Auf der Erde tun übrigens genau dies die grünen Pflanzen mit dem Regenwasser – indem sie Sonnenenergie einfangen (bevor diese nutzlos den Erdboden erwärmt), und die Techniker, indem sie Wasser elektrolytisch⁴ zerlegen.

Tatsächlich gibt es Wasser auf dem Mond. Zwar gerade nicht in den „Mondmeeren“, den dunklen Maria, die man mit bloßem Auge erkennt, dafür aber an schattigen Stellen (Kraterrändern) in den Polargebieten, wohin nie ein Lichtstrahl dringt. Flächenmäßig liegen einige Tausend Quadratkilometer in permanentem Schatten, was u. a. daran liegt, dass die Mondachse nahezu senkrecht auf der Ekliptik steht (nur 1,5° Neigung)! Hinzu kommt der Regolith, die meterdicke Gesteinstrümmerlage zuoberst, der ebenfalls in Promille-Konzentration Wasser (bzw. Hydroxid) in gebundener Form enthält. Der abbaubare lunare Wasservorrat wird auf Milliarden von Tonnen geschätzt. Als Bringer des Wassers kommen sowohl Kometen, feuchte Asteroide, Meteorite als auch der Protonenwind der Sonne infrage (sofern der Wasserstoff des Sonnenwinds mit sauerstoffreichen Mondmineralien, wie z. B. Eisen(II)-oxid, reagiert.) Als Energiequellen für die technische Elektrolyse des Mondwassers bieten sich an: Sonnenenergie und – da die Wassergewinnung im Dauerschatten erfolgt – Kernenergie.

Wie man hört, halten Wissenschaftler, Techniker und Ökonomen eine wirtschaftliche Ausbeutung von Mondbodenschätzen in vollautomatischen Anlagen für technisch machbar und ökonomisch vertretbar. Entrepreneurs wie Elon Musk (geb. 1971) stehen schon in den Startlöchern! Was auffällt: Beim Mond tummeln sich längst nicht mehr die Kontrahenten aus Zeiten des Kalten Krieges. Die neuen Mondorbiter (sogar Rover) tragen chinesische, japanische, indische, hebräische Namen! Ein neuer Wettlauf zum Mond ist im Gange. Auch die ESA mischt mit. Natürlich müssen die Schürfrechte erworben werden ... Luna ist kein Wilder Westen.

Außer dem Mondwasser sind es gewisse, hienieden seltene Stoffe, womit der Mond gesegnet sein könnte bzw. ist. Reden wir von Helium-3 (³He),

⁴Da sich Wasserstoff leichter speichern lässt als Strom ist Elektrolyse für die Energiewirtschaft eine Option. Sie spricht von *P o w e r - t o - G a s*. Leider schreckt der schlechte Wirkungsgrad der Elektrolyse (70%) Ökonomen bisher ab.

einem stabilen Heliumisotop mit nur einem Neutron! Obwohl Helium das zweithäufigste Element im Universum ist, kommt das Isotop nur in Spuren⁵ vor. Die wichtigste ³He-Quelle ist die Sonne, genauer: ihre aktive Oberfläche. Bei Kernreaktionen während Sonneneruptionen (flares) gebildet, gelangt es mit dem Sonnenwind zum Mond und wird dort im Regolith angereichert. Geschützt durch Atmosphäre und Magnetfeld verweigert sich die Erde dieser windigen „Bereicherung“.

Helium-3 hat technische Anwendungen, darunter auch medizinische. Gegenwärtig werden jährlich weltweit wenige Kilogramm⁶ dieses edlen Gases gehandelt. Mit 164 Tonnen davon hätte man rein theoretisch den globalen Vorjahresbedarf (26 700 TWh) an Elektroenergie bestreiten können – ohne radioaktiven Abfall! Nur 164 Tonnen! Auf dem Mond liegen schätzungsweise eine Million Tonnen davon herum, gebunden im Regolith! Das weckt Begehrlichkeiten⁷, und veranlasste seinerzeit den Geologen der Apollo-17-Mission, Harrison Schmitt, sich vehement für die Ausbeutung des Mondes zur Sicherung der irdischen Energieversorgung einzusetzen.

Von Kernfusion und Sonnenenergie

Es geht um Kernfusion. Kernfusionsreaktoren der zweiten Generation, wenn denn die erste Generation das Laufen erlernt haben sollte, könnten die Reaktion ${}^2\text{D} + {}^3\text{He} \rightarrow {}^4\text{He} + \text{p}^+ + 18,35 \text{ MeV}$ nutzen, wobei D für Deuterium steht, schweren Wasserstoff (${}^2\text{D} = {}^2\text{H}$). Versuchsanlagen wie ITER verwenden anstatt des Heliums radioaktives Tritium⁸ (${}^3\text{H}$) und setzen Neutronen frei, die (a) dem Prozess Energie entziehen und deren Strahlung (b) dem Mantelmaterial des Reaktors zusetzt. Bei obiger Reaktion fielen stattdessen Protonen (p^+) an, die, dank ihrer elektrischen Ladung, manipulierbar sind. Günstigsten Falles entsteht elektrischer Strom direkt, ohne den Umweg über Wärmekraftmaschine und Generator.

⁵Das Helium-4, mit denen Luftballone gefüllt werden, stammt nicht vom Urknall, sondern vom radioaktiven (α -)Zerfall von Thorium und Uran.

⁶Ein Großteil davon soll aus Kernwaffenarsenalen stammen. Es fällt bei der Wartung von H-Bomben an. Deren Tritium zerfällt mit einer Halbwertszeit von einem Dutzend Jahren zu Helium-3. Ein Tritiumneutron verwandelt sich in ein Proton.

⁷Helium-3 dürfte etwa 100-mal teurer als Gold sein.

⁸Tritium und Helium-3 sind kernphysikalisch (fast) identisch. Man spricht von Spiegelkernen. Beide bestehen aus drei Nukleonen. Elektrische Kräfte zählen nicht. Sie spielen im Kern eine untergeordnete Rolle.

Der oft kolportierte Vergleich eines Fusionsreaktors mit der Sonne verbietet sich, da von der Flaschenhalsreaktion⁹ ${}^1\text{H} + {}^1\text{H} \rightarrow {}^2\text{D}$, der Erzeugung des Deuteriums in einer vorgelagerten Reaktion, bei der technischen „Bändigung der Sonnenkraft“ abgesehen werden kann. Deuterium kommt vor im Meerwasser: Auf 6400 „normale“ Wasserstoffatome (${}^1\text{H}$) entfällt ein Deuteriumatom (${}^2\text{H}$). (Vermutlich wurde es durch Kometen nachgeliefert. Die Erde ist „trocken“ entstanden. Von Kometen weiß man, dass sie deuteriumangereichertes Wassereis enthalten.)

Energiapolitisch wird sich der Fusionsreaktor trotz CO_2 -Steuer-Freiheit und Umweltfreundlichkeit kaum durchsetzen lassen. Sein größter Vorteil, der geringe Bedarf an Ressourcen, gereicht ihm zugleich zum Nachteil: Eine zentralisierte Energieversorgung gilt als anfällig und veraltet. Photovoltaik verkörpert das andere Extrem: Sie ist dezentral und flächefressend. Um Deutschland allein mit Solar-Strom zu versorgen, müssten etwa 1% der Fläche der Bundesrepublik mit Photovoltaik ausgelegt und auf die Sonne ausgerichtet werden. (Dass dieser Strom auch gespeichert werden muss, für die Nacht beispielsweise, sei erwähnt.) Und noch etwas spricht auf lange Sicht, Jahrhunderte, gegen die Kernfusion zum Stillen des stetig wachsenden Energiehunger der Menschheit: Sie heizte die Erde zusätzlich zur Sonne! Der thermonuklear „erzeugte“ Strom – sofern seine Energie nicht als Licht ins All entweicht – wird beim Nutzen (durch Maschinen, Rechner, Handys, ...) zu nutzloser Wärme, die die Erde auch noch als Infrarotstrahlung loswerden muss. Die Sonne heizt sowieso, egal, ob ihr Licht zuvor noch verstromt wird oder nicht.

Der folgende Einschub ist für Leser, welche die Faszination des Kosmos-Boten für so etwas Seltsames wie Energie teilen:

Sonnenenergie¹⁰ ist nützlich, d. h., sie kann Arbeit verrichten, weil es sich um einen gerichteten¹¹ Strom von Photonen handelt, wobei die Richtung durch das Temperaturgefälle vorgegeben wird: hier heiße Sonne, dort kalter Kosmos. Solange die Lichtteilchen noch nicht auf den Erdboden aufgeschlagen sind, könnte ihre Energie zu über 90% in elektrischen Strom umgewandelt werden, weil Son-

⁹Die Verwandlung eines Protons, eines Wasserstoffkerns, in ein Neutron fällt ins Reich der schwachen Wechselwirkung. Sie ist so gut wie verboten. Ansonsten würde die Sonne vor unseren Augen explodieren!

¹⁰Es sei daran erinnert, dass Sonnenenergie letztlich thermonuklearen Ursprungs ist.

¹¹Wäre der Himmel in Gänze mit Sonnenscheiben gepflastert, wäre die geballte Energie dieser 180 000 Sonnen völlig wertlos, weil die Strahlung von überall her kommt! Keine einzige Maschine könnte man damit betreiben.

nenstrahlen kaum Wärme¹² enthalten. Erst beim Aufschlagen wird Sonnenenergie zu Wärme entwertet. Danach kann man noch ein wenig Windenergie gewinnen, weil die anprallenden Sonnenphotonen die Tropen stärker aufheizen als die Polarregionen. Dieser geometriebedingte¹³ Temperaturunterschied treibt nämlich u. a. die planetare Windmaschine. Windenergie ist „sekundäre“ Sonnenenergie und, unter ganzheitlichem Blickwinkel, nicht wirklich erneuerbar. Wind wird durch Windräder (hoffentlich¹⁴) nur „abgebaut“, was sich letztlich aufs Klimageschehen auswirken muss. Der globale Wasserkreislauf dürfte als erstes vom Windabbau betroffen sein. Wie stark, wird sich zeigen. Wann die Übernutzung des Windes beginnt, vermag derzeit niemand zu sagen. Auf jeden Fall ist die Ressource Wind, anders als die primäre Sonnenenergie, nicht unerschöpflich.

Werfen wir noch schnell – als interessierte Planetologen – einen Blick auf eine mögliche Zukunft der Energieversorgung. Wir unterstellen einen wachsenden Energiebedarf. Dieser soll ausschließlich durch Nutzung primärer Sonnenenergie gestillt werden. Das bliebe formal ohne Folgen für das Erdklima – wenn durch Photovoltaik (PV) die Albedo¹⁵ der Erde, ihr Reflexionsvermögen, lokal sich nicht änderte! Was nicht reflektiert wird, wird in Wärme verwandelt, ob direkt und sofort oder indirekt (nach der Nutzung durch den Menschen). Dazu müssten allerdings PV-Anlagen an die Albedo der Gegend angepasst sein. Wüsten haben ein höheres Rückstrahlvermögen als Wiesen und Wälder! In dem Maß, in dem sich der Wirkungsgrad von PV-Anlagen verbessert – über 90% wären, wie gesagt, rein rechnerisch drin! –, müssten halt entsprechende nahegelegene Ausgleichsflächen (z. B. Dächer¹⁶) geweißt werden, um an der mittleren „Weißheit¹⁷“ der Gegend nichts zu ändern. Als Nachteil verbliebe allein der PV-Flächenbedarf. Doch aufgepasst: Käme der Solarstrom aus sonnigeren Gefilden zu uns, sollten wir trotzdem unsere Gegend weißer! Die Wärmeezeugung beim Gebrauch von

¹²Man sagt, Sonnenlicht sei nahezu entropiefrei und deshalb wertvoll.

¹³Wäre die Erde eine Scheibe, gäbe es auf ihr keinen Wind!

¹⁴Würde der Planet durch die Windnutzung stürmischer, erforderte dies einen höheren Carnot-Wirkungsgrad für den planetaren Windmotor. Das aber setzte ein steileres Temperaturgefälle von den Tropen zu den Polen voraus, etwas, was niemand wissentlich wollen wird.

¹⁵Aus planetologischer Sicht ist die Albedo, neben dem Gehalt an atmosphärischem Wasserdampf und anderen Treibhausgasen (CO₂, CH₄ etc.), die für den Strahlungshaushalt der Erde maßgebliche Stellgröße, weshalb sie in Plan-B-Szenarien zur Rettung des Klimas eine Hauptrolle spielt!

¹⁶PV auf dem Dach macht dieses i. A. dunkler und heizt die Umgebung! Solarpaneele werden heiß in der Sonne!

¹⁷lat. albus = weiß(gekleidet)

Solarenergie, die andernorts geerntet wird, müsste kompensiert werden durch eine geringere Aufheizung durch die Sonne. Man merkt schon, alles klimatisch beim alten zu lassen, wäre selbst bei ausschließlicher Nutzung primärer Sonnenenergie eine gigantische Herausforderung.

Der Kosmos-Bote hat sich verplaudert. Das muss nicht wundern, wäre doch die gesteuerte Wassertofffusion aus Sicht des Physikers die Erfüllung eines Menschheitstraumes! Die Exploitation des Mondes hat für dieses Mal seine Exploration verdrängt. Er ist aber nicht nur für Geschäftsleute von Interesse. Mit den Apollo-Mondlandungen zwischen 1969 und 1972 hat sich die Erforschung unseres natürlichen Trabanten und seiner Geschichte keineswegs erledigt. Die berühmte Äußerung des US-amerikanischen Kosmochemikers und Planetologen Harold Clayton Urey (1893–1981), der für die Entdeckung des schweren Wasserstoffs 1934 den Nobelpreis erhielt: „Gebt mir ein Stück Mond, und ich sage Euch, wie das Sonnensystem entstand“, hat sich so nicht bewahrheitet. Der Mond hat nicht bloß kosmische Geschichte registriert, er hat selbst etwas zu erzählen! Und das ist mehr, als man aus 7 1/2 Zentnern mitgebrachter Mondproben, die nur für die ausgewählten Landegebiete sprechen, herauslesen kann. Er ist diverser als gedacht. Man vergleiche nur die Vorderseite mit seiner Rückseite! Darüber später einmal mehr.