

Liebe Leserin, lieber Leser,

zunächst sei dreier Wissenschaftler gedacht, die im Mai des Jahres 1872 das Licht der Welt erblickten.

Der Niederländer Willem de Sitter macht den Anfang. Geboren am 6. Mai, schuf er 1917 das erste kosmologische Modell auf der Grundlage von Einsteins Allgemeiner Relativitätstheorie. Der Direktor der Leidener Sternwarte verstarb 1934.

Der De-Sitter-Kosmos ist ein Vakuumkosmos, also materiefrei, dafür mit kosmologischer Konstante. Einstein hatte letztere einst eingeführt, um einen statischen Kosmos zu erzwingen. (Dass das Universum expandiert und keiner solchen Konstante bedurfte, war erst 1929 etabliertes Wissen.) Die Einstein'sche Konstante bewirkt eine universelle Abstoßung. Der De-Sitter-Kosmos expandiert exponentiell, und die Hubble-Konstante ist wirklich konstant, nicht der Kehrwert des Weltalters. Experten gehen davon aus, dass das Universum als De-Sitter-Kosmos begann – gemeint ist die Inflationsphase – und demaleinst auch so enden wird. Hinweise auf eine sich beschleunigende Expansion gibt es. Treiber sei die „dunkle Energie“, das physikalische Pendant zu Einsteins ominösem Λ -Term, der einfach nicht „sterben“ will, obgleich von seinem „Erfinder“ längst als „größter Schnitzer meines Lebens“ totgesagt.

Zwölf Tage nach de Sitter kam in Wales Bertrand Arthur William Russell zur Welt. Der begnadete Logiker, unterhaltsame Philosoph und praktizierende Pazifist von Adel war wie jener ein Kenner von Einsteins Allgemeiner Relativitätstheorie. Er trug nicht unmaßgeblich zu deren Popularisierung im angelsächsischen Sprachraum bei und brachte die Essenz des Bewegungsgesetzes auf eine bildhafte Formel: Danach bewegt sich ein sich selbst überlassener Planet so durch die von der Sonne deformierte Raum-Zeit, dass für das Durch„fallen“ der Weltlinie zwischen zwei beliebigen Ereignissen A und B maximal viel (Eigen-)Zeit verstreicht. Jeder Raumfahrer, der ab (A) – unter Benutzung technischer Hilfsmittel – eine alternative Route wählt, schafft das in kürzerer Zeit als sein Heimatplanet, weshalb jener bei der Rückkehr (B) jünger als sein zurückgebliebener Zwillingsbruder ist. Das gilt selbstverständlich auch für die Besatzung der ISS. Russell spricht vom „Prinzip der kosmischen Faulheit“. Der Literat Russell erhielt 1950 den Literaturnobelpreis. Der Friedensforscher Russell rief 1957 angesichts der atomaren Bedrohung des Weltfriedens auf Anregung Einsteins die Pugwash-Konferenzen ins Leben. Der Lord Russell starb 1970.

Dritter im Bunde der 150-jährigen ist Charles Greeley Abbot. Der US-Amerikaner aus New Hampshire wurde am 31. Mai 1872 geboren und starb 1973 im 102-ten Lebensjahr. Bekannt wurde Abbot, der an der Smithsonian Institution in Washington arbeitete – deren Direktor er 1907 wurde –, durch die präzise Messung der Solarkonstanten mit seinem Wasserstrom-Pyrheliometer, noch vor dem 1. Weltkrieg. Dabei wird die auf eine schwarze Fläche auffallende Sonnenstrahlung nahezu vollständig in Wärme umgewandelt. Gemessen wird die Erwärmung des Wassers. Dann wiederholt man das Experiment, diesmal ohne Sonne, dafür mit einer elektrischen Heizspirale. Die elektrische Leistung, die zur gleichen Erwärmung führt, ist das Äquivalent der Solarkonstanten. Das Gerät ist genial konstruiert. Da idealerweise das gesamte Spektrum der Sonnenstrahlung erfasst wird, spricht man von einem Kalorimeter. Als Aufstellungsort bieten sich die Gipfel hoher Berge an. Man will ja die Sonnenstrahlung messen und nicht den blauen Himmel. Eine von Abbots Messstationen stand auf dem Mt. Whitney in 4420 m ü. N.N. Der Langzeitmittelwert der Solarkonstanten (oberhalb der Erdatmosphäre) wird von der NASA (2015) mit 1368 W/m^2 angegeben, was ziemlich genau dem Abbot'schen Wert¹ entspricht. Wichtiger für den Meteorologen und Klimaforscher ist ein Viertel davon, jene 342 W/m^2 , die einem Quadratmeter Erdoberfläche, egal wo und wann, *im Mittel* an Sonnenenergie zur Verfügung stehen. (Die Oberfläche einer Kugel, $4\pi r^2$, übertrifft ihren Querschnitt, πr^2 , um das Vierfache.)

Um zu der bei weitem wichtigsten Größe für Ökologie und Ökonomie zu gelangen, sind die 342 W/m^2 durch die Außentemperatur der Erde zu dividieren, 255 K. Der Entropieexport durch Infrarotstrahlung beläuft sich auf $1,3 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$. Das ist die „Unordnung“, welche die Erde im Mittel pro Quadratmeter und Sekunde in den Weltraum exportiert. Im Gegenzug wird Ordnung möglich. Zu deren Herstellung (Aufbau von Proteinen, Kohlenhydraten, tierischen und pflanzlichen Fetten, Produktion von Konsumgütern, Trennen von Alt- und Wertstoffen, etc.) stehen mithin bis zu $1,3 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ zur Verfügung. Allein für die Wasseraufbereitung in Kläranlagen wird eine Fläche von 100 km^2 benötigt, wenn man von 1–2 W/K pro Bundesbürger ausgeht. Dass Biosphäre und Weltwirtschaft auf dem Export von Unordnung basieren, also Entropie-Export, und nicht auf dem Einfangen von Sonnenenergie *per se*, ersieht man schon daran, dass ja die 342 W/m^2 von der Sonne auf Heller und Pfening in Form von Infrarotstrahlung von der Erde wieder abgegeben werden. Sonnenenergie ist ordentliche² Energie und deshalb wertvoll – ein g e r i c h t e t e r Photonenstrom, ausgehend von einer kleinen Stelle am Firmament. Entgegen einer

¹Laut Abbot bemisst sich der solare Energiestrom in Erdentfernung auf 1,95 Kalorien pro Quadratcentimeter und Minute. Die 1,95 cal erwärmen ein Gramm Wasser (1 cm^3) binnen einer Minute um fast zwei Grad.

²Ihre „Unordentlichkeit“ macht nur $0,06 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ aus. Der Entropie-Export ist 22-mal höher als der Import!

verbreiteten Meinung enthalten Sonnenstrahlen deshalb *keine* Wärme. Diese entsteht erst, schlagen die Photonen auf.

Dass die Solarkonstante nicht wirklich konstant³ ist, ist angesichts des 11-jährigen Sonnenfleckenzyklus zu erwarten. Die Schwankung liegt insgesamt im Promille-Bereich. Allerdings gilt: Je kürzerwellig der betrachtete Spektralbereich, desto stärker die Fluktuationen. Im UV und erst recht im Röntgenbereich ist die Sonne überaus veränderlich. Unerwartet war, dass die Gesamtstrahlung, die bolometrische Leuchtkraft, mit dem Befleckungsgrad leicht *z u n i m m t*. Was die dunklen Flecken an Ausstrahlung zurück halten, wird von anderer Stelle, z. B. von Fackelgebieten, mehr als ausgeglichen.

Am 25. Mai ist wieder „Handtuch-Tag“. Seine Fans erinnern dann an Douglas Noël Adams. Adams, Autor von „Per Anhalter durch die Galaxis“, wäre im März 70 geworden. Der Science-Fiction-Satiriker verstarb, erst 49-jährig, im Mai 2001.

Auch wenn sich der mittlere Abstand⁴ der Erde von der Sonne und damit die Jahreslänge in absehbarer Zeit nicht ändert, so schwanken doch Form und Lage der Erdbahn sowie die Ausrichtung der Rotationsachse mehr oder weniger periodisch in geologischen Zeiträumen. Das wechselnde Angebot an Sonnenlicht wird sogar als Auslöser für das Entstehen von Kaltzeiten – im Volksmund Eiszeiten genannt – verantwortlich gemacht. Das Menschengeschlecht ist inzwischen auch schon „geologisch“. Es musste sich bisher mit diversen Klimaveränderungen, z. B. Trockenzeiten, herumschlagen. Wer Völkerwanderungen verstehen will, wird um die Ergebnisse der Himmelsmechanik nicht herum kommen. Eine erbauliche Lektüre wünscht

Hans-Erich Fröhlich

Der Himmel im Mai

Am Abend des 2. Mai begegnen die junge Mondsichel und der Merkur einander.

³Die Frage, ob die Sonne eventuell ein veränderlicher Stern sei, trieb Astronomen zu Abbots Zeit um. In Babelsberg registrierte Paul Guthnick (1879–1947) lichtelektrisch die Helligkeiten von Jupiter und Saturn und bescheinigte für 1917/18 eine „völlige Unveränderlichkeit der Sonnenhelligkeit“.

⁴gemeint ist der Schwerpunkt des Erde-Mond-Systems

Am Morgenhimmel tummeln sich, sortiert nach dem Abstand von der Sonne, Venus, Jupiter, Mars und Saturn. Während Venus sich der Sonne allmählich nähert, gehen die anderen zunehmend auf Distanz zu ihr. Am Monatsanfang stehen Venus und Jupiter dicht beieinander, am Monatsende Mars und Jupiter⁵.

Am 16. Mai kommt es in den Morgenstunden zu einer totalen Mondfinsternis. Der Vollmond geht gerade zu Beginn der Totalität – gegen 5 Uhr 30 MESZ – unter. Wie erinnerlich kam es einen halben Monat zuvor zu einer partiellen Sonnenfinsternis, die allerdings bei uns nicht beobachtbar war.

Sonnenschein und Menschwerdung

Die Gattung „Homo“ gibt's seit Millionen Jahren. Wen Herkunft und „Out-of-Africa“-Wanderung der Ahnen interessieren, kommt nicht umhin, sich – wie diese – auf die Suche nach den Kalorien zu begeben. Es geht letztlich immer um Verfügbarkeit von Nahrung. Mangel erzeugt Selektionsdruck. Ultimativer Nahrungsspender aber ist die Sonne. Im Dunkeln wächst nichts! Wieviel Sonnenlicht ein Habitat im Jahreslauf abbekommt, ist zuvörderst eine astronomische Frage, und sie wird vom Himmelsmechaniker beantwortet. Nun aber ist dieser nur dafür zuständig, was o b e r h a l b jenes Flecken Erde, an der Grenze zum Weltraum, an Sonnenlicht ankommt. Was der Luftozean und sein Grund mit dem Angebot von oben letztlich machen, steht auf einem anderen Blatt. Klima und erst recht Wetter sind eine komplexe und „verrauschte“ Angelegenheit, deren Eigendynamik den regulären astronomischen Input zeitweise vergessen macht. Dennoch stoßen Klimaforscher in ihren paläoklimatischen Archiven, z. B. Bohrkernen⁶, immer wieder auf jene Langzeitzyklen, welche erstmals 1920 der serbische Astronom Milutin Milankovitch (1879–1958) beschrieben hatte. Der Bauingenieur, Mathematiker und Geowissenschaftler hatte die „Mathematische Theorie der thermischen Phänomene verursacht durch Solarstrahlung“ entwickelt. Damit konnte er schlagartig 600 000 Jahre Beleuchtungsgeschichte der Erde himmelsmechanisch erhellen.

Bei Kenntnis der periodischen Schwankungen der Exzentrizität der Erdbahn (zwei Perioden: 100 000 und 413 000 Jahre), der Variation der Neigung der

⁵korr. am 17. Mai 2022

⁶Bohrungen im ewigen Eis der Antarktis reichen 800 000 Jahre „tief“. In den Ablagerungen am Meeresboden geht es zurück bis in die Tage des großen Sauriersterbens.

Rotationsachse der Erde gegen die Bahnebene (Periode: 41 000 Jahre), der Präzessionsperiode (Platonisches Jahr: 25 700 Jahre) sowie der Präzession des Erdbahnkreisels (112 000 Jahre) kann man (heutzutage mühelos) die Menge an Sonnenenergie berechnen, die ein x-beliebiger Ort bei wolkenlosem ungetrübten Himmel in jedem Moment erhält. Himmelsmechanisch sind exakte Vorhersagen in Zukunft und Vergangenheit über wenige Millionen Jahre, also auch über das Pleistozän hinweg, problemlos möglich⁷. Man muss diesen astronomischen Input dann bloß noch in probate Klimamodelle einspeisen, um Mittelwerte für Temperatur, Feuchtigkeit, Wind usw. am Boden des Luftozeans unter Berücksichtigung der topografischen und sonstigen Gegebenheiten zu ermitteln – alles, was man wissen muss, will man die Beweggründe der Jäger und Sammler sowie deren Nachfahren nachvollziehen, die sie – bei geringer Klimavariabilität – zum Bleiben ermunterten oder ggf. über kurz oder lang zur Migration zwangen.

Obwohl die Veränderungen in der Beleuchtung durch das „große Licht, das den Tag regiert“ (1. Mose 14), vergleichsweise gering sind, können sie trotzdem die Entwicklung durch „Stupsen“ bestimmen. Man spricht von „Triggern“. Möglicherweise kommt sogar dem „Klimaräuschen“ dabei die Rolle einer Hebamme zu. Eine an sich nichtige Ursache kann im richtigen Moment durch Zufall über die Wahrnehmungsschwelle gehoben und wirksam werden. Ein Beispiel: Zur Zeit findet die Nord-Sommersonnenwende nahe dem Aphel der Erdbahn statt. Die Junisonne erscheint kleiner am Himmel als die Januarsonne und spendet 6,8 % weniger „Licht und Wärme“ als zur Zeit des Periheldurchgangs Anfang Januar. Das hätte noch vor Jahrzehnten – vor dem Einsetzen der jetzigen Erwärmung – durchaus dazu führen können, dass der Schnee vom vergangenen Winter in hohen Breiten hätte liegen bleiben können, was durch die hohe Albedo von Schnee die übliche sommerliche Erwärmung empfindlich ausgebremst hätte. Möglicherweise haben wir mit unseren CO₂-Emissionen den Eintritt in eine neue Kaltzeit um Haaresbreite vermasselt.

Bewohner der Nordhemisphäre⁸ profitieren nicht schlecht davon, dass der Nord-Winter in die Zeit der Sonnennähe fällt. Die Erde ist Anfang des Jahres besonders schnell auf ihrer Bahn und das Winter„halb“jahr entsprechend kurz. Der Landwirt gewinnt dadurch immerhin eine zusätzliche Sommerwoche.

⁷Über längere Zeiträume, die aber immer noch klein verglichen mit dem Alter des Sonnensystems sind, ist der Leumund des Himmelsmechanikers nicht besser als der des „Wetterfrosches“. Deterministisches Chaos ist um 1900 beim Drei-Körper-Problem der Himmelsmechanik aufgetaucht, lange bevor ein Computer vor 60 Jahren den Meteorologen Edward Norton Lorenz (1917–2008) darauf gestupst hatte.

⁸Anders auf der Südhalbkugel. Dort sind die Jahreszeiten gegenwärtig ausgeprägter als bei uns. In 11 000 Jahren ist es umgekehrt.

Es ist aber mehr Sommer drin! Zum einen kann die Exzentrizität der Erdbahn von gegenwärtig 0,017 auf 0,055 anwachsen, wie schon Milutin Milankovitch wusste. (In Äonen sind sporadisch sogar 0,15 nicht auszuschließen⁹.) Bei konstanter Jahreslänge wäre die Erde im Winter dann der Sonne noch näher und das Winterhalbjahr sogar $3\frac{1}{2}$ Wochen kürzer als das Sommerhalbjahr. Zum anderen verfügt der Himmelsmechaniker über Mittel und Wege, die hochsommerliche Hitze zu steigern. Dazu verlegen wir den Hochsommer in Sonnennähe, also in die Zeit des Periheldurchgangs. Um der Sonne möglichst nahe zu kommen, wählen wir wieder die größtmögliche Exzentrizität von 0,055, und wir kippen – weil sich das in hohen Breiten besonders bemerkbar macht – die Erdachse um ein weiteres Grad von der Senkrechten, von jetzt $23,4^\circ$ auf $24,5^\circ$, was ebenfalls im Rahmen des himmelsmechanisch Möglichen liegt. Obwohl wir uns nach wie vor auf dem 52-ten Breitengrad sonnen und die Sonne selbst im Hochsommer dann noch keineswegs im Zenit steht, fühlen wir bereits den vollen Wert der Solarkonstanten – $1,4 \text{ kW/m}^2$ bei h o r i z o n t a l e r Auffangfläche! Das ist eine 15-prozentige Steigerung gegenüber dem jetzt bei wolkenlosem Himmel Möglichen.

Welche Exzentrizität der Bahnellipse erlaubt, bei unveränderter Umlaufzeit, ein Maximum an Sonnenenergie zu tanken? Bei einer Kreisbahn unterliegt das Angebot an Sonnenenergie zwar keinen Schwankungen, was angenehm ist, mehr allerdings kann man mit einer Ellipse herausholen, je längergestreckt, desto besser. Jeder Komet, der der Sonne schon einmal richtig nahe gekommen ist, wird dies bestätigen. Während des rasanten Vorbeifluges an der Sonne wird – ungeachtet der Kürze der Dauer – insgesamt sehr viel mehr Sonnenenergie eingeheimst als auf der entsprechenden Kreisbahn. (Die Parker-Sonnen-Sonde der NASA muss sich auf ihrer langgestreckten Ellipsenbahn der im Mittel doppelten Hitzebelastung¹⁰ erwehren, der sie bei einer Kreisbahn ausgesetzt wäre.) Schuld daran trägt ein photometrisches Gesetz: Die Beleuchtungsstärke fällt mit dem Quadrat der Entfernung von der (punktförmigen) Lichtquelle. (Fiele sie bloß proportional mit dem Abstand, spielte die Elliptizität einer Bahn für die während eines Umlaufs aufgesammelte Sonnenenergie keine Rolle)

⁹Für Unsicherheit sorgt Störenfried Merkur. Der „Unberechenbare“ könnte auf lange Sicht für Chaos im inneren Planetensystem sorgen.

¹⁰Bei einer Bahnexzentrizität von 0,866 verdoppelte sich, bezogen auf eine Kreisbahn gleicher Umlaufzeit, die während einer Umrundung aufgesammelte Sonnenenergie. Die Strahlungsintensität aber, sie wüchse von Aphel zum Perihel um das 194-fache!