

**Liebe Leserin, lieber Leser,**

aus Wien hört man Erstaunliches: Das Newtonsche  $1/r^2$ -Gesetz der Schwere herrscht nicht nur im Großen, es gilt auch im Kleinen. Dazu später mehr.

Vor 180 Jahren, am 3. April 1841, kam in Leipzig Hermann Carl Vogel (gest. 1907) zur Welt. Er übernahm 1882 als erster Direktor die Leitung des 1874 gegründeten ersten Astrophysikalischen Observatoriums der Welt. Auf dem Potsdamer Telegrafenberg maß er fotografisch, was messtechnisch den Durchbruch brachte, mit seinem Sternspektrografen Radialgeschwindigkeiten von hellen Sternen und entdeckte ganz nebenbei die sog. spektroskopischen Doppelsterne, darunter 1889 den wohl bekanntesten: Algol ( $\beta$  Persei). Algol, was arabisch so viel wie „Teufelskopf“ bedeutet – die alten Griechen erkannten in ihm das schlangenhaarige Medusenhaupt –, war durch seine Veränderlichkeit 1667 ins Gerede gekommen. Aller 2,867 Tage fällt Algols Helligkeit für wenige Stunden auf  $1/3$  des Normallichts. Der vermeintliche „Unglücksstern“, ein Bedeckungsveränderlicher, für Vogel ein Glücksfall!

Am 12. April 1961, vor 60 Jahren, begann mit Jurij Aleksejewitsch Gagarin (1934–1968) in der „Wostok 1“ die bemannte Raumfahrt. Exakt 20 Jahre später startete der Space-Shuttle *Columbia* zu seinem Jungfernflug.

Vor 45 Jahren machte die deutsche Raumfahrt Schlagzeilen. Ihre Sonnensonde Helios-B, von der NASA auf den Weg gebracht, kam unserem Zentralgestirn am 17. April 1976 auf 43,432 Millionen Kilometer nahe. Dieser Rekord wurde erst Ende Oktober 2018 von der *Parker Solar Probe* eingestellt. Es sei erwähnt, dass *Parker* am 29. April der Sonne zum achten Male nahe kommt. Diesmal bis auf 11,1 Millionen Kilometer, gerechnet vom Sonnenzentrum. Möglich macht das Venus. Bei jedem Vorbeiflug entzieht Venus der Sonnensonde Bahndrehimpuls. Dadurch verlängert sich zwar für Venusianer (unmessbar) das Venusjahr, aber dafür kommt im Gegenzug *Parker peu à peu* dem Stern, um den sich alles dreht, näher.

Frohe Osterfeiertage wünscht

Hans-Erich Fröhlich

## Der Himmel im April

Mars erklimmt in der zweiten Monatshälfte mit einer Deklination von fast  $25^\circ$  den Gipfel seiner diesjährigen Laufbahn. Damit kommt er drei Sonnendurchmesser, also  $1\frac{1}{2}^\circ$ , höher als die Junisonne. Leider liegt sein Helligkeitsmaximum schon ein halbes Jahr zurück. Am Monatsende entschwindet er bereits kurz nach der MEZ-Mitternacht am Westhorizont.

Der eine geht, dafür sind zwei andere, Jupiter und Saturn, im Kommen. Saturn zeigt sich als erster am Morgenhimmel. Er kann seinen ekliptikal en Winkelabstand zur Sonne in der Monatsmitte auf über  $70^\circ$  ausbauen, Jupiter immerhin auf  $60^\circ$ .

Vollmond findet am Morgen des 27. April statt, nur einen halben Tag vor Erreichen des Perigäums. Wieder einmal erscheint der Vollmond besonders groß am Himmel, was aber kaum jemandem auffallen dürfte. Die Rede vom „Supermond“ weckt nur übertriebene Erwartungen.

## 22. April: Tag der Erde

Die Geschichte des Kosmos, der Erde, des Menschen ist eine Versorgungs- und Effizienzgeschichte: Es gilt, den Hunger nach nützlicher (entropiearmer) Energie zu stillen. Was die Volkswirtschaft anbelangt, favorisiert die Politik im Kampf gegen den unaufhaltsamen Niedergang, gemeint ist die Energieentwertung<sup>1</sup>, die Windkraftnutzung. Windenergie aber ist sekundäre Sonnenenergie. Wer meinte, Wind sei, wie Sonne, ein Geschenk der Natur, koste nichts und sei quasi unerschöpflich, verkennt, dass jede Art von Energieentzug, die „Erneuerbaren“ eingeschlossen, natürliche Energieflüsse verändert. Am TANSTAAFL<sup>2</sup>-Prinzip führt kein<sup>3</sup> Weg vorbei: Es wird einem nichts geschenkt!

Ein Vergleich zwischen primärer und sekundärer Sonnenenergie, wie er vom Jenaer Max-Planck-Institut für Biogeochemie vorgenommen wurde, ist ernüchternd. Bei einem Wirkungsgrad von 20% für Photovoltaik,

---

<sup>1</sup>Energie ist zwar eine Erhaltungsgröße, nicht aber deren Nützlichkeit (z.B. Verstrombarkeit). Die schwindet im Laufe der Zeit. Es entsteht Wärme. Es ist die Nicht-Erneuerbarkeit von Energie, welche der Zeit ihre Richtung verleiht.

<sup>2</sup>„There Ain't No Such Thing As A Free Lunch“ (Robert A. Heinlein, 1907–1988)

<sup>3</sup>mit Ausnahme der Gravitationsenergie

schlägt diese, was die Effizienz der Umwandlung von Sonnenenergie in elektrischen Strom anbelangt, sowohl die Windverstromung als auch die Stromerzeugung aus Biomasse um den Faktor Einhundert! Das Adjektiv „sekundär“ macht aus Sicht des Planetologen Sinn. Wie immer, kommt es auf das Kleingedruckte an. Es geht nicht um den Standort Deutschland und auch nicht um Ökonomisches. Auf dem Prüfstand der Jenaer Forscher steht das Erdsystem als Ganzes. Diese holistische Sicht wird durch eine thermodynamische Betrachtung der Energieflüsse im „Erdorganismus“ ermöglicht.

Es handelt sich beim „Faktor Einhundert“ um ein Mittel über alle Zonen und Jahreszeiten. Nicht berücksichtigt wurde, was man unter Kollateralschäden verbucht. Energieentnahme greift ja nicht nur in Energieflüsse ein, auch Stoffflüsse sind betroffen, insbesondere der Wasserhaushalt („Seht, der Wind treibt Regen über's Land!“).

Thermodynamik ersetzt keine Untersuchung der meteorologisch-klimatologischen Details. Sie legt aber den Rahmen dessen fest, was überhaupt möglich ist, – weshalb Mitarbeiter von Patentämtern gewisse „Erfindungen“ ungelesen in den Papierkorb entsorgen.

Die geringe Effizienz, mit der Sonnenenergie in horizontale Bewegung von Luftmassen umgesetzt wird, ist schnell erklärt. Während die Direktverstromung des Sonnenlichts thermodynamisch die enorme Temperaturdifferenz zwischen Sonnen- (5800 K) und Erdoberfläche (288 K) nutzt, steht der „Windmaschine Erde“ nur das bescheidene Gefälle zwischen den Tropen und den Extratropen zu Gebote. Entscheidend für den sog. Carnotwirkungsgrad ist das relative Temperaturgefälle, im Falle von Solarenergie also  $(5800 - 288)/5800 = 0,95$ . Sonnenenergie ist somit „reine“ (wärmefreie) Energie (und deshalb sehr gut verstrombar)! Die ersten, die „erkannt“ hatten, dass man aus dem Sonnenlicht etwas machen sollte, bevor es auf den Boden aufschlägt und bloß noch wärmt, waren die grünen Pflanzen. Allerdings ist seither der Planet nicht mehr wieder zu erkennen. Die gut 20 Grad Temperaturunterschied zwischen Tropen und Extratropen machen, dass der Carnot-Wirkungsgrad der horizontalen „Windmaschine Erde“ nicht besser als der einer Watt'schen Dampfmaschine ist. (Das Erdinnere arbeitet diesbezüglich effizienter, wie die Mantelkonvektion zeigt, welche die Plattentektonik treibt. Das ist kein Wunder: Der Erdkern ist fast so heiß, wie die Sonnenoberfläche. Damit kann die „Wärmekraftmaschine Erde“ etwas anfangen.)

Dass kinetische Energie, sprich Wind, nur eine untergeordnete Rolle spielt, verblüfft. Selbst ein Orkan ist hauptsächlich feucht, „warme Luft“. 99 % der Energie ist Wärme, nur 1 % entfällt auf den Wind! Die Wärme ist teilweise

versteckt (latent). Sie steckt in der Luftfeuchte und wird beim Kondensieren frei. Schaut man sich die Gleichung für den meridionalen (polwärts gerichteten) Energietransport an, staunt man nicht schlecht: Meist sucht man vergebens nach dem Wind! Die Meteorologen lassen ihn weg – zu unbedeutend in der globalen Energiebilanz<sup>4</sup>!

Das Thema „Wind“ gäbe noch mehr her, zumal ein Vergleich mit dem „windigen“ Mars und dem Titan lohnt. Der Kosmos-Bote kommt darauf zurück!

## Auch Kleinigkeiten haben Gewicht

Wie Isaac Newton (1643–1727) 1666 festgestellt hatte, fällt der Mond um die Erde wie der Apfel vom Baum. Sein 1687 publiziertes  $1/r^2$ -Gesetz der Gravitation „degradiert“ die Keplerschen Gesetze zu einem Spezialfall, dem Zwei-Körper-Fall. Die Gravitationskonstante  $G$  tauchte erst später auf. Newton war nicht an der Newtonschen Gravitationskonstanten interessiert. Sie dient lediglich der Umrechnung von träger in schwere Masse (Gravitationsladung). Drückt der Himmelsmechaniker Abstände in Astronomischen Einheiten, Umlaufzeiten in Jahren und Massen in Sonneneinheiten aus, entfällt die Gravitationskonstante. (Nur, wenn es auf die Dichte ankommt, bei den Gezeiten und Schwingungen<sup>5</sup>, benötigt man  $G$ .)

Gemessen wurde  $G$  erstmals 1797, und zwar mit einer Torsionswaage, von Henry Cavendish (1731–1810), der damit, wie es so schön heißt, als erster die Erde „wog“<sup>6</sup>. Recht genau übrigens – auf 1 %!

Die Notwendigkeit,  $G$  zu ermitteln, ergab sich auch aus der Landvermessung. Um die geografische Breite eines Ortes astronomisch einwandfrei zu ermitteln, muss man sich sicher sein, dass ein frei hängendes Schnurlot tatsächlich senkrecht auf dem gedachten Erdrotationsellipsoid steht (bzw. ein Quecksilberhorizont die Tangentialebene repräsentiert). Am Matterhorn ist das vermutlich nicht gewährleistet. Die Lotabweichung kann im Himalaja, wie sich nach den groß angelegten Vermessungskampagnen von Sir George Everest (1790–1866) im 19. Jh. herausstellte, fast eine halbe Bogenminute ausmachen, was einem Fehler in geografischer Breite von ca. 600 Metern gleichkommt.

Man muss wissen, dass die Newtonsche Gravitationskonstante<sup>7</sup> die mit Abstand „störriechste“ unter den Naturkonstanten ist. Ihre relative Unsicherheit

---

<sup>4</sup>Das Sonnenlicht bringt am Boden pro Quadratmeter im Mittel 163 W, der Wind leistet 2–3 W – und da sind die Höhenwinde (u. a. Jetstreams) bereits eingerechnet.

<sup>5</sup>Das Produkt aus Dichte und  $G$  ist das Quadrat einer Frequenz.

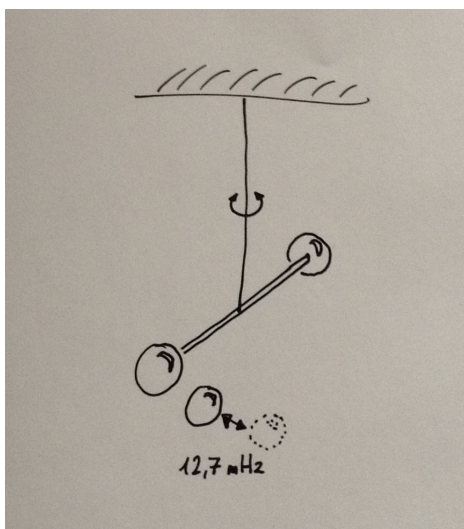
<sup>6</sup>Er bestimmte die mittlere Dichte der Erde. Aber das läuft auf das Gleiche hinaus.

<sup>7</sup>  $G = (6,67430 \pm 0,00015) \cdot 10^{-11} \text{m}^3 \text{kg}^{-1} \text{s}^{-2}$  (Stand 2018)

bemisst sich immer noch auf zwei Hunderttausendstel. Andere Naturkonstanten sind wesentlich genauer bekannt!

Es ist noch schlimmer. Neuere Bestimmungen von  $G$  schließen einander formal aus! Die Fehlerbalken überlappen nicht. Und außerdem ist nicht sicher, ob es sich überhaupt um eine Konstante handelt.

In Wien ist es Quantenphysikern gelungen, Henry Cavendishs Torsionswaagenexperiment *en miniature* und im Vakuum zu wiederholen. Der 6 Fuß lange hölzerne Stab von 1797 mit den beiden Bleikugeln von 2 Zoll Durchmesser an seinen Enden, er schrumpfte bei den Wienern auf 4 cm mit zwei Goldkugelchen von ca. 1 mm Durchmesser. Und aus Holz war die „Hantel“-Stange auch nicht mehr. Der Balken ist nun eine gläserne Kapillare, 1/2 mm stark, und hängt an einer 4- $\mu\text{m}$ -starken Glasfaser von 35 mm Länge. Die Torsionsschwingungen werden aufgezeichnet. Auch die Schwerkraftquelle ist unscheinbar. Anders als Cavendish mit seinen beiden 350 Pfund schweren Bleikugeln, begnügt man sich mit *e i n e m* Goldkugelchen von 92 mg.



Cavendishs Trick: Die Erdschwere ist bei so einer Anordnung (s. Abb.) faktisch ausgeschaltet. Nur das Horizontale zählt. Und einzig die Anziehungskraft des 92 mg Kugelchens stört die freie Schwingung des Waagbalkens. Um den Einfluss nachzuweisen, ist die gravitative Störung zeitlich variabel angelegt, ein üblicher Trick. Finden sich Hinweise auf die erzwungene Frequenz von 12,7 mHz (Periode: 79 s) und ihre Oberschwingungen, beweist das, dass es einen solchen Einfluss gibt. Dazu muss man allerdings alle nicht-gravischen Störeffekte sorgfältig ausschließen.

Der Abstand zwischen den einander anziehenden Goldkugelchen wurde also schnell (vergl. mit der Eigenfrequenz der Torsionswaage) periodisch variiert, zwischen 2,5 mm and 5,8 mm. Der Spalt zwischen den beiden Goldkugelchen erreichte minimal 0,4 mm. Die wirkende Gravitationskraft beträgt bei einem Abstand der Kugelzentren von 2,5 mm  $9 \cdot 10^{-14}$  N, das ist ein 10-Milliardstel des Kugelgewichts.

Das Newtonsche Gravitationsgesetz konnte durch das Experiment nun auch für Massen  $< 0,1$  g bestätigt werden. Die errechnete Gravitationskonstan-

te wich gerade einmal um 9% von dem bekannten Wert ab. Das heißt, elektrische bzw. magnetische Kräfte können das Experiment nicht wesentlich gestört haben. Die Forscher sprechen von einem Anfang. Die Miniaturisierung könne noch weiter getrieben werden. Dazu wäre allerdings ein ruhigeres Plätzchen vonnöten. Eine Straßenbahn 50 Meter weiter übe den gleichen Effekt aus auf das Probekügelchen! Man hofft, eines Tages bis zur sog. Planck-Masse<sup>8</sup> von  $22 \mu\text{g}$  vordringen zu können. Irgendwann muss das Newtonsche Gravitationsgesetz versagen und Quanteneffekte der Gravitation sich bemerkbar machen. („Normale“ Quanteneffekte, wie die Casimir-Anziehung<sup>9</sup>, muss man bei kleinen Abständen in Rechnung setzen. Aber das ist bekanntes Terrain.)

Zum Schluss noch ein wenig Einstein. Seine Allgemeine Relativitätstheorie von 1916 – immer noch die beste Gravitationstheorie, die wir haben – sieht in der „gefühlten“ Anziehung zwischen Massen einen (im wesentlichen) **Z e i t - E f f e k t**: In der Nähe eines x-beliebigen Gegenstandes, egal ob Sonne oder Goldklümpchen, verrinnt, aus der Ferne betrachtet, die Zeit langsamer. Bei einem 90-mg-Kügelchen macht diese gravitative Zeitdilatation bei einer Zentrumsentfernung von 2,5 mm einen Zeitunterschied von einer Sekunde in  $10^{21}$  Jahren aus. Das wären 100 Milliarden Weltalter! Die Schwerkraft ist halt die schwächste der vier fundamentalen Wechselwirkungen.

---

<sup>8</sup>Bei einem Gebilde unter einer Planck-Masse überträfe die quantenmechanische Ortsunschärfe des Schwerpunkts den Gravitations- bzw. Schwarzschildradius eines schwarzen Lochs entsprechender Masse.

<sup>9</sup>Im Raum zwischen den Kügelchen sind weniger Vakuumfluktuationen möglich als außerhalb. Das bewirkt eine scheinbaren Anziehung.