

Die Geometrie ist das Urbild der Schönheit der Welt.

Johannes Kepler (1571–1630)

Liebe Leserin, lieber Leser,

vor vier Jahrhunderten, 1619, erschien Keplers „Weltharmonik¹“, worin er ein drittes Gesetz der Planetenbewegung mitteilt. Es offenbart das Verbindende in der Planetenfamilie: Die Quadrate der Umlaufzeiten verhalten sich wie die Kuben der maximalen Bahndurchmesser. Danach ging es Schlag auf Schlag. 1666 leitete Isaac Newton (1643–1727) die Kepler’schen Gesetze aus seinem $1/r^2$ -Gesetz der Gravitationsanziehung ab. Die Trennung zwischen irdischer und himmlischer Physik ward aufgehoben. Newtons Apfel fällt vom Stamm wie der Mond um die Erde. Die Neuzeit konnte beginnen.

In der Novemberausgabe ging’s um den Kohlenstoffkreislauf und die Fragilität des Erdklimas. Wir erinnern uns: Die CO₂ Bilanz ist nicht ausgeglichen. Zur Zeit werden ca. 4% mehr CO₂ in das Erdsystem eingespeist als durch natürliche Prozesse (hauptsächlich Photosynthese) entnommen – was nicht ohne Folgen bleibt. Wenige Prozent machen etwas aus! Dekarbonisierung ist das Gebot der Stunde. Doch ein Raus-aus-der-Kohle bedeutet für die Energiewirtschaft ein Hin-zum-Wind. Welche Folgen aber hat eine großtechnische Windverstromung auf das Klima, das es doch zu retten gilt? Wieviel Wind darf sich ein jeder „nehmen“, ohne dadurch „vom Regen in die Traufe“ zu kommen? Derzeit unbeantwortbar.

Windverstromung bedeutet, dass ein Teil der Windenergie woanders dissipiert, d. h. in Wärme umgewandelt wird, als das sonst der Fall wäre. Wind ist wichtig, z. B. für den Wasserkreislauf. Davon singt der Volksmund: „Seht, der Wind treibt Regen übers Land!“.

Das irdische Windsystem leistet etwa 900 TW. Gehen wir einmal davon aus, die Entnahme von einem Prozent, also 9 TW, werde schon nichts ausmachen, dann stünden pro Erdbewohner etwa 1 kW zu freier Verfügung, d. h. 90 GW für die deutsche Bevölkerung. Auf’s Jahr hochgerechnet wären das 800 TWh.

¹Harmonices mundi libri V

Zum Vergleich: 2018 wurden in Deutschland 111,5 TWh dem Winde entnommen². Klingt nicht schlecht, aber Deutschland hat eine hohe Bevölkerungsdichte. Lassen wir die Fairness beiseite und die Physik sprechen. Eigentlich sollte man als Bemessungsgrundlage 1 % der hierzulande dissipierten Windenergie ansetzen. Da der Kosmos-Bote diese nicht kennt, wechselt er vom Anteil an der Weltbevölkerung zum Anteil an der Weltfläche. Die deutschen Lande machen 0,07 % der Erdoberfläche aus. So gesehen – flächenmäßig! – stünden uns an Windenergie lokal bloß noch 6 GW zu, bzw. jährlich 50 TWh – die Hälfte dessen, was wir im vorigen Jahr dem globalen Windsystem entzogen haben! Diese Überschlagsrechnung ist nur unwesentlich gescheiter als die Pro-Kopf-Milchmädchenrechnung. Es fehlt an einer fundierten Abschätzung. Die Botschaft indes ist eindeutig: Wind ist bloß *s e k u n d ä r e* Sonnenenergie! (Wäre die Erde eine Scheibe, gäbe es keinen Wind!) An *p r i m ä r e r* Sonnenenergie herrscht kein Mangel³, an *s e k u n d ä r e r* schon. Windenergie könnte als „erneuerbar“ durchgehen, ginge ein Mehr an Windverstromung mit einem Mehr⁴ an Wind einher. Doch niemand wünscht sich einen stürmischeren Planeten ...

Kommen Sie gut und mit einer Portion Gelassenheit ins Schaltjahr 2020!

Ein frohes Fest wünscht Hans-Erich Fröhlich

Der Himmel im Dezember

Zu Anfang ist Merkur noch am Morgenhimmel sichtbar. Der schnellfüßige Wanderer steht etwa 1 1/2 Stunden vor der Sonne auf.

Der Abendstern distanziert sich von der Sonne. Zum Jahreswechsel geht Venus schon fast drei Stunden nach der Sonne unter. Am 11. Dezember hat sie ein Rendezvous mit dem Saturn. Sie zieht in 1,8° Abstand südlich an diesen vorbei. Man beachte den enormen Helligkeitsunterschied von 4 1/2 Größenklassen! Das dürfte es dann mit dem Saturn gewesen sein. Er taucht erst wieder Ende Februar auf – dann auf der anderen Seite der Sonne.

²Das sind etwa 17 % der Bruttostromerzeugung (646,8 TWh).

³Eine Einschränkung gibt es: Die Albedo, das Rückstrahlvermögen des Planeten Erde, sollte sich nicht ändern.

⁴Mehr Wind erforderte vermutlich einen größeren Temperaturgegensatz zwischen Tropen und Polarregionen. Zur Zeit beobachtet man das Gegenteil: Die Pole erwärmen sich schneller als andere Regionen.

Bleibt noch der Mars. Er ist im Kommen, geht morgens gegen 5 Uhr auf. Das sind zum Jahreswechsel bereits $3\frac{1}{3}$ Stunden vor der Sonne!

Am Morgen des 22. Dezember, 5:19 Uhr, ist astronomischer Wintersanfang. Der Tagbogen der Sonne wird in gerade einmal $7\frac{2}{3}$ Stunden durchlaufen. Das ist etwa die Hälfte der maximalen Sonnenscheindauer zu Sommersbeginn. Die energetischen Verhältnisse sind wegen der Schrägheit des winterlichen Licht-einfalls noch deprimierender. Wir betrachten eine horizontale Fläche (1 m^2). Bei einer geographischen Breite von 52° bekommt dieser Quadratmeter Erdboden täglich mickrige $0,8\text{ kWh}$ ab. Das sind noch nicht einmal 10% der Sonneneinstrahlung am gleichen Ort zu Sommersbeginn vor einem halben Jahr! Wolkenloser Himmel vorausgesetzt, ist es am 22. Dezember 10-mal dunkler als am 21. Juni!

Kepler

Seine Größe war, dass er mit einem Vorurteil aufräumte, dem er selber lange anhing: dass allein der Kreis die für einen Himmelskörper angemessene Bahnform sei. Darauf gebracht hatte ihn die auf Bogenminuten genaue Vermessung der Marsbahn durch Tycho Brahe (1546–1601). Anfänglich glaubte er noch, er könne den „perfekten“ Kreis retten, indem er die Sonne ein klein wenig aus dessen Mittelpunkt rückte. Dass die Ellipse mit der Sonne in einem ihrer Brennpunkte zu den Brahe’schen Messungen passte, gab den Ausschlag. Statt verschachtelter Kreisbewegungen auf Epizykloiden folgen die Planeten der einfachen mathematischen Figur der Ellipse⁵. Zwar ist die Bahngeschwindigkeit nun variabel, dafür aber die sog. Flächengeschwindigkeit eine Konstante: Die Verbindungslinie zwischen Sonne und Planet überstreicht in gleichen Zeiträumen gleiche Flächen. (Dass sich ein Planet nahe dem Perihel beeilt und nahe dem Aphel trödelt, folgt aus der Drehimpulserhaltung.) In diesen einfachen mathematischen Gesetzmäßigkeiten offenbare

⁵Die Keplerellipse ist noch nicht einmal näherungsweise durch die Überlagerung zweier Kreisbewegungen darstellbar. Um eine (kleine) Abweichung von der Kreisbewegung (entgegen dem Uhrzeigersinn) mathematisch angemessen zu beschreiben ist dieser eine retrograde (also im Uhrzeigersinn erfolgenden) Bewegung auf einer Ellipse mit einem Achsenverhältnis von $2:1$ zu überlagern, wobei die kleine Achse zum Kreiszentrum weist! Die Umlaufzeit auf dieser elliptischen Epizykel entspricht exakt der Umlaufzeit der Kreisbewegung, weshalb die Keplerellipse ortsfest bleibt und nicht zu einer Rosette wird. Wegen der überlagerten retrograden Bewegung ist die Umlaufgeschwindigkeit im Aphel geringer und im Perihel größer als die Kreisbahngeschwindigkeit.

sich, so Kepler, der göttliche Wille. In der Schöpfung greife er Gott gleichsam mit den Händen.

Wie man seit Galilei (1564–1642) weiß, ist bei Abwesenheit von Kräften, trägheitsbedingt, die geradlinig-gleichförmige Bewegung die natürliche. Das zu „sehen“, wo doch, angesichts überall vorhandener Reibung, die tägliche Erfahrung einem etwas anderes lehrt, bedurfte es der Intuition eines Galilei, seines Idealisierungsvermögens! Ein gewissenhafter Beobachter, wie Aristoteles (384–322 v. Chr.), der – ohne Gespür für die Schönheit eines einfachen Naturgesetzes – auf die Daten pocht, hätte das nie herausgefunden.

Dass sich ein Planet, genau genommen, „geradlinig“ bewegt, hat als erster Albert Einstein (1879–1955) „gesehen“. In der Nähe einer Masse wie der der Sonne ist die Raum-Zeit gekrümmt und die Trägheitsgerade wird zur Geodäten (welche beim Durchlaufen die Eigenzeit des Planeten maximiert).

Kepler war ein „Brückenmensch“. Er stand zwischen Mittelalter und Neuzeit. Die Nicht-Geradlinigkeit der Planetenbewegung muss, so Isaac Newton (1643–1727), wie die Parabelbahn⁶ eines Geschosses (durch den luftleeren Raum), von einer Kraft herrühren. Dabei muss es sich, anders als von Kepler vermutet⁷, um eine Zentralkraft handeln. Nur bei dieser ist Drehimpulserhaltung garantiert, da es keine Kraftkomponente in tangentialer Richtung gibt. Newton jedenfalls konnte alle drei Kepler-Gesetze aus seinen Axiomen als Spezialfall ableiten. Der allgemeine Fall lässt beim Zwei-Körper-Problem neben der Ellipse noch offene Bahnformen zu: Parabel und Hyperbel. Und Newton konnte im Prinzip das Mehr-Körper-Problem der Himmelsmechanik angehen. Gott wurde nur noch benötigt, um das System der Planeten trotz gegenseitiger Störungen langfristig stabil zu halten.

Die Natur kam Kepler entgegen. Die Sonne dominiert dank ihrer Masse, und die Planeten stören einander kaum, so dass die Bewegung jedes Planeten isoliert betrachtet werden kann. Keplers Gesetze sind eine exakte Lösung des Zwei-Körper-Problems der Newton'schen Himmelsmechanik.

Durch Newton wurde alles ganz einfach – auf Gesetzesebene. Einfach sind nicht die Bewegungen der Himmelskörper, einfach ist das den Augen verborgene Kraftgesetz. Newtons Gravitationsgesetz ist makellos, reine Mathematik, und scheint unmittelbar Platos (425–348/347 v. Chr.) Ideenhimmel entsprungen. Es besticht durch höchste Symmetrie: die einer Kugel. Die Anziehungskraft hängt allein von der Entfernung ab, nicht von der Richtung.

⁶Genaugenommen ist die Wurf„parabel“ Teil einer Keplerellipse.

⁷Kepler glaubte an eine „magnetische“ Kraft in Bewegungsrichtung.

Das Material spielt auch keine Rolle: Wie ein Mondfahrer im Fernsehen demonstrierte, fallen Geologenhammer und Vogelfeder auf dem Mond gleich schnell. Und die Stärke der Kraft, sie schwindet mit dem Quadrat des Abstands (was der Dreidimensionalität des Raums geschuldet ist), und zwar exakt mit der 2-ten Potenz, nicht mit der 1,99-ten, nicht mit der 2,01-ten. Der Mathematiker spricht im Falle von Potenzgesetzen von Skalenfreiheit⁸: Es gibt keinen irgendwie ausgezeichneten Abstand. (Tatsächlich sind viele Planetensysteme sehr viel kleiner als das unsrige!) Das Gesetz ist in seiner Einfachheit derart überzeugend, dass man, als Uranus sich nicht daran zu halten schien, keineswegs das Gesetz in Zweifel zog. Nein, lieber „erfand“ man einen achten Planeten, dessen Störung die Unstimmigkeit erklärt. Der wurde dann auch im September 1846 an der Berliner Sternwarte aufgefunden. Und zwar just dort, wo ihn der französische Himmelsmechaniker Leverrier (1811–1877) verortet hatte. Um das Gesetz zu retten, scheute man sich nicht, das Inventar⁹ der Natur um einen weiteren Planeten zu bereichern, als ob es davon nicht schon genug gäbe.

Im Falle des Merkur führte Leverriers „Erfindung“ eines weiteren Planeten, des sonnennahen „Vulkan“, allerdings in die Irre. Wie sich herausstellte, stimmt Newtons Gravitationsgesetz nicht 100 %-ig. Merkur kann den Schwarzschildradius wegen seiner Sonnennähe nicht mehr ignorieren.

Die Entdeckung des Neptun am Schreibtisch machte Leverrier zum Popstar der Wissenschaft. Ideengeschichtlich erwies sich sein Erfolg als verheerend: Er beförderte den Irrglauben, in der Welt ginge es generell mechanisch deterministisch zu. Nun vermutete man auch „oberhalb“ der Physik die Existenz strenger Gesetze. „Orakelnde Philosophen“ (Karl Popper) behaupteten gar das Walten objektiver Gesetze in der Menschheitsgeschichte, Gesetzmäßigkeiten, die man sich zunutze zu machen gedachte – mit leidvollen Folgen, wie wir wissen.

⁸Erst Karl Schwarzschild (1873–1916), Potsdams bedeutendster Astronom, fand heraus, dass es in Einsteins Gravitationstheorie, der Allgemeinen Relativitätstheorie, einen kleinsten Abstand gibt, wodurch die Skalenfreiheit aufgehoben wird. Die Rede ist vom Schwarzschildradius. Dort wäre die Entweichgeschwindigkeit *à la* Newton formal gleich der Lichtgeschwindigkeit.

⁹Auch im Falle der „dunklen Materie“ stand der Glaube ans Gesetz Pate. Man könnte sie auf einen Schlag los werden – müßte dafür aber das Gravitationsgesetz opfern, wozu kaum jemand bereit ist.