

Bei der Wassermühle oder der Windmühle gehört freilich eine aufmerksamere Untersuchung der bewegten Wasser- und Luftmassen dazu, um die Ueberzeugung zu gewinnen, dass durch die Arbeit, die sie verrichtet haben, ein Theil ihrer Geschwindigkeit verloren gegangen ist.

Hermann Helmholtz (1821–1894)

Liebe Leserin, lieber Leser,

Wissenschaft kennt kein Sommerloch. Selbst ein Juli ist produktiv (was erklärt, warum dieser Newsletter seine Fortsetzung im August findet). Er hat einstens sogar eine Sternstunde hervorgebracht: Am 23. Juli 1847 sprach der gebürtige Potsdamer Hermann Ludwig Ferdinand Helmholtz (1821–1894) auf einer Sitzung der Physikalischen Gesellschaft zu Berlin „Ueber die Erhaltung der Kraft“. Es ging um nichts weniger als den Erhaltungssatz der Energie! Helmholtz bezog sich auf Vorarbeiten des Heilbronner Mediziners Julius Robert Mayer (1814–1878) sowie des englischen Bierbrauers James Prescott Joule (1818–1889) aus Manchester, der 1843 das mechanische Wärmeäquivalent ($1 \text{ kcal} = 426,9 \text{ kp}\cdot\text{m}$) exakt¹ bestimmt hatte. (Mit der Energiemenge, die man benötigt, Wasser um ein Grad zu erwärmen, könnte man die gleiche Wassermenge um 427 m anheben.)

Wollte man die Geburtsstunde der modernen Physik datieren, es böte sich jener denkwürdige Freitag vor 175 Jahren an! Hätte er ihn erlebt, Naturforscher Goethe (1749–1832) wäre entsetzt gewesen ob so viel Mathematik²: Der Energiebegriff gehört jener Sphäre an, die sich unmittelbarer geistiger Anschauung verschließt. Was soll man auch davon halten? Steige ich mit meinem Einkaufskorb die 39 Stufen zu meiner Wohnung empor, so hat mein Einkauf, ohne dass man ihm das ansähe, einen Zuwachs an potentieller Energie er-

¹Joules Wert war nur 0,8% zu klein.

²Goethe dachte gegenständlich: „Man suche nur nichts hinter den Phänomenen: sie selbst sind die Lehre.“ Die Welt anschauungsleerer Begriffe war nicht die seine, und die Vorstellung von Gott als „Optimierer“, wie sich das Leibniz (1646–1716) mit seiner (von Voltaire verlachten) Idee von der „besten aller möglichen Welten“ zurechtlegte, dürfte ihm ein Gräuel gewesen sein.

fahren. Treppensteigen ist Arbeit! Und die ist nun im Einkauf gespeichert³. Energie ist unheimlich. Es muss egal sein, auf welchem Weg ich in meine Wohnung gelange, ansonsten könnte ich ja über einen geeignet gewählten Umweg ein *Perpetuum mobile* bauen – was der Erfahrung widerspräche.

Wie Helmholtz schreibt, ist die Forderung nach der Unmöglichkeit eines *Perpetuum mobile* 1. Art gleichbedeutend mit „der Annahme, dass alle Wirkungen in der Natur zurückzuführen seien auf anziehende und abstossende Kräfte, deren Intensität nur von der Entfernung der auf einander wirkenden Punkte abhängt.“ Es ist die Beschränkung der Natur auf Zentralkräfte, die verhindert, „durch die Wirkungen irgendeiner Combination von Naturkörpern auf einander in das Unbegrenzte Arbeitskraft zu gewinnen“.

Wir kennen verschiedene Energieformen, die potentielle ist eine unter vielen nur, doch was macht, dass sich ungeachtet allen Wandels, der Gesamtbeitrag der Energie in einem abgeschlossenen Ruhesystem niemals ändert? Es ist eine Eigenheit der Zeit, wie 1918 die Göttinger Mathematikerin Amalie Emmy Noether (1882–1935) herausfand, ihre Homogenität. Erhaltungssätze (Energie, Impuls, Drehimpuls) fußen auf kontinuierlichen Symmetrien⁴!

Auf die Energie – und ihre Degradation – kommen wir zurück. Verweilen wir kurz bei der Zeit⁵. Vor 30 Jahren, im Juli 1992, überraschte Stephen Hawking (1942–2018) mit der sog. Chronologieschutz-Vermutung. Zu den unangenehmen Seiten von Albert Einsteins Allgemeiner Relativitätstheorie zählt, dass die Theorie nicht von vornherein (zeitartig) geschlossene Weltlinien ausschließt. So wie sich eine Schlange in ihren eigenen Schwanz beißen mag, könnte sich das Morgen als ein Gestern erweisen – mit allen sonderbaren Konsequenzen, wie der Verletzung des Kausalitätsgesetzes. Als erster hatte Kurt Gödel (1906–1978) seinen Freund Einstein darauf aufmerksam gemacht. Auch wenn Gödels kreiselnder Spielzeugkosmos nichts mit dem expandierenden Universum gemein hat, Einstein war nicht amüsiert. Seine Theorie lässt tatsächlich derartige Zeitreisen zu. Solange dies so ist und um dem bereits jetzt einen Riegel vorzuschieben, verbot Hawking *par ordre du moufti* Zeitreisen makroskopischer Körper. Die Natur (und die Historiker) hätten etwas gegen Zeitmaschinen, ansonsten könnten wir uns vor Zeitreisenden aus der

³Die Massezunahme durch potentielle Energie macht ein Billiardstel des Einkaufs aus. Masse ist, anders als Energie, keine Erhaltungsgröße. Dass alle Atome nun etwas schneller schwingen, bekomme ich selbst nicht mit, da auch meine biologische Uhr schneller tickt.

⁴Der Ausgang eines Experiments, das *unter gleichen Bedingungen* zu einem anderen Zeitpunkt wiederholt wird, ist stets der gleiche. (Weil das Universum expandiert, ändern sich die Umstände. Fürs Universum gilt kein wohldefinierter Energieerhaltungssatz.)

⁵Zur Energie gehört die Zeit, wie zum Ort der Impuls. Man sagt, Zeit sei kanonisch konjugiert zur Energie.

Zukunft nicht retten! Zu hoffen ist, dass demaleinst eine Vereinigung von Einsteins klassischer Gravitationstheorie mit der Quantenphysik solchen Unfug unterbindet. Aber vielleicht führt ja eine Zeitschleife bloß zurück in ein *alternatives* Universum ... Die Paralleluniversen-Idee – auch sie erblickte in einem Juli das Licht der Welt, und zwar 1957, also vor 65 Jahren – ist dem Hirn des Quantenphysikers Hugh Everett III (1930–1982) entsprungen, als es an seiner Doktorarbeit arbeitete.

Fünf Jahre vor der sog. Viele-Welten-Interpretation der Quantenmechanik, im Juli 1952, also vor nunmehr 70 Jahren, wurde publik, dass u. a. der Riesenstern R Geminorum spektroskopisch nachweisbar Technetium enthält. Wie der Name verrät, kommt Element 43 in der Natur eigentlich nicht vor. Es gibt kein stabiles Technetium. 1937 wurde ^{97}Tc in einem Metallteil eines verschrotteten Zyklotrons nachgewiesen. Es war durch Bestrahlung von Molybdän mit Neutronen und Deuteronen synthetisiert worden. Sein Vorkommen auf gewissen Riesensternen belegt das Abfließen von Kernumwandlungen in den Sternen. Das längstlebige Isotop hat eine Halbwertszeit von 4,2 Millionen Jahren, was kurz in Anbetracht der Lebensdauer dieser Sterne ist. Das Element muss dort im Riesenstadium erzeugt und durch Konvektion an die Sternoberfläche gespült worden sein.

Der radioaktive Zerfall, insbesondere die β -Radioaktivität, stellte eine Bewährungsprobe für den Satz von der Energieerhaltung dar. Um Energie-, Impuls- und Drehimpulserhaltung zu retten, war Wolfgang Pauli (1900–1958) 1931 gar gewillt, ein Gespensterteilchen zu erfinden, das Neutrino. Es wurde ein Vierteljahrhundert danach an einem Kernreaktor nachgewiesen. Man durfte aufatmen!

Die Quantenphysik erlaubt nur Wahrscheinlichkeitsvorhersagen. Eine zeitlang sah es sogar so aus, als gelte Energieerhaltung in der Mikrowelt nur in einem statistischen Sinne, sprich im Mittel, nicht im Einzelfall. Diese Ansicht von 1924 sollte sich zwar nicht bewahrheiten, dennoch eine gewisse Aufweichung hat der Energiebegriff in der Quantenphysik durchaus erfahren. Wegen der Energie-Zeit-Unschärfe kann man sich in der Tat kurzzeitig Energie „borgen“, je kürzer, desto mehr. Das hat mit dem Wellencharakter von Teilchen zu tun. Nach Max Planck (1858–1947) ist mit der Energie E eine Frequenz ν verknüpft. Es gilt $E = h \cdot \nu$, mit h als Planck'scher Konstante. Die Frequenz einer Schwingung aber ist kurzfristig schlecht definiert. Je weniger Schwingungen, desto ungenauer die Frequenz. Jede präzise Energieerfassung geht einher mit dem Verzicht auf exakte zeitliche Einordnung und umgekehrt. Mathematisch ist die Sache klar: Die Frequenzunschärfe ist umgekehrt proportional zur Messdauer Δt . Multiplikation mit h ergibt die Energieunschärfe ΔE und die Unschärferelation $\Delta E \cdot \Delta t \propto h$. Für eine Sekunde wird die „Veruntreuung“ von 10^{-34} Js toleriert. Zum Vergleich: Ein Elektron allein „wiegt“ schon $8,2 \cdot 10^{-14}$ Js.

Elektroniker kennen das Flickerrauschen, auch Rosa- oder $1/f$ -Rauschen⁶

⁶Jede Oktave des Rauschspektrums trägt gleich viel zur Rauschleistung (Gesamtstreu-

genannt. Man findet es auch anderswo, so in der erratischen Lichtkurve des Quasars 3C273. (Was für den Elektroniker Rauschen, ist für den Astronomen Signal!) Das ist unangenehm, wird doch der Mittelwert der Quasarhelligkeit nicht dadurch genauer, dass man letztere wieder und wieder misst. (Die natürliche Klimavariabilität scheint einem ähnlichen Muster zu folgen.)

Auch das primordiale Rauschen gleich nach dem Urknall, aus dem letztlich der heutige hochstrukturierte Kosmos durch gravitative Verklumpung hervorging, soll diese Eigenschaft gehabt haben. Sie verhinderte, dass weder eine Unmenge kleiner schwarzer Löcher entstanden, noch dass das Ganze anschließend zu einigen wenigen Superlöchern kollabierte.

Zurück zur Erde: Zu den $1/f$ -Zufällen zählen Lawinen, Erdbeben, Waldbrände und das Gebaren der Finanzmärkte. Was diesen allen gemeinsam ist? Es handelt sich um nicht-lineare dynamische Systeme, wobei durch das Zusammenspiel vieler Teilsysteme und Rückkopplungen komplexe Strukturen entstehen. Anscheinend gelten auf der makroskopischen Ebene universelle Gesetze, welche von den mikroskopischen Details absehen. So etwas kannte man von Phasenübergängen an kritischen Punkten⁷. Vor 35 Jahren, im Juli 1987, hörte die wissenschaftliche Welt zum ersten Mal etwas von „Selbstorganisierter Kritikalität“ als Erklärung für so viel rosa Rauschen in der Welt. *Self-organized criticality* (SOC) meint, dass kritische Punkte im Phasenraum wie Attraktoren „anziehend“ wirken. So folgen Katastrophen einem Automatismus, ohne dass es dafür einer Feinjustierung des Systems bedürfte. Hauptautor des $3\frac{1}{2}$ -seitigen „Briefes“ an die *Physical Review Letters* war der dänische Sandlawinen- und Komplexitätsforscher Per Bak (1948–2002) vom Niels-Bohr-Institut in Kopenhagen.

Wie würde wohl der „Reichskanzler der Physik“ und Schöpfer des *Terminus technicus* „freie Energie“, Herr von Helmholtz, reagieren, vernähme er, wie unbekümmert Politik und Gesellschaft von „erneuerbaren“ Energien palavern, wo doch Energie das einzige in der Welt ist, das *partout* nicht erneuerbar ist? Er würde uns gehörig die Leviten lesen, meint

Ihr Hans-Erich Fröhlich

ung) bei. Das Ganze divergiert mild-logarithmisch sowohl zu niedrigen als auch hohen Frequenzen. In der Psychoakustik wird rosa Rauschen als angenehm empfunden. Ein $1/f$ -Lichtspektrum würde vom Auge als Pink wahrgenommen.

⁷Beispielsweise das Ende der Dampfdruckkurve von Wasser bei 374°C und 22 MPa (218 atm). Oberhalb der kritischen Temperatur erübrigt sich die Unterscheidung flüssig/gasförmig.

Der Himmel im Juli

Venus ist Morgenstern und nähert sich in den kommenden Monaten am Himmel unaufhaltsam der Sonne. Da sie sich räumlich von uns entfernt, erscheint sie immer kleiner und rundlicher. (Vollvenus ist am 22. Oktober.)

Die äußeren Planeten Mars, Jupiter und Saturn werden immer günstiger. Saturn befindet sich schon seit Anfang Juni in der Oppositionsphase, d. h., er bewegt sich rückläufig (also im Uhrzeigersinn) bezüglich der Sterne. Ende Juli ist er bereits die ganze Nacht über sichtbar. Jupiter folgt ihm mit nicht ganz drei Stunden Abstand am Himmel. Der größte unter den Riesenplaneten kommt am 29. Juli zum Stillstand und bewegt sich danach rückläufig. Marsenthusiasten müssen sich noch bis Ende Oktober gedulden, bevor der Rote Planet zu seiner Oppositionsschleife ansetzt. Mars geht aber ab Mitte des Monats bereits vor Mitternacht auf. Und er wird immer heller!

Es dürfte kaum auffallen, aber am 4. Juli, kurz nach 9 Uhr MESZ, gehen Sonne und Erde auf maximale Distanz. Die Sonne erscheint zum Zeitpunkt des Aphel-Durchgangs (vom Zentrum der Erde aus gesehen) besonders klein am Himmel. In diesem Jahr entfernt sich der Erdmittelpunkt bis zu 152 098 459 km vom Sonnenmittelpunkt.

„Die Energie der Welt ist konstant.“⁸

Wo Bewegung entsteht
Wärme vergeht.
Wo Bewegung verschwindet
Wärme sich findet.

Es bleiben erhalten
Des Weltalls Gewalten,
Die Form nur vergeht,
Das Wesen besteht.

Inschrift am Sockel des Robert-Mayer-Denkmal in Heilbronn

In der Mechanik, insbesondere der reibungsfreien Himmelsmechanik⁹, lag Energieerhaltung nahe. Bereits Voltaires (1694–1778) Muse und Friedrich des

⁸Rudolf Clausius (1822–1888)

⁹Abgesehen von „Gezeitenreibung“ bei nicht-punktförmigen Himmelskörpern ist die Himmelsmechanik frei von Wärmeproduktion. Liefße man das Planetensystem rückwärts laufen, es fiele niemandem auf.

Großen (1712–1786) Brieffreundin, die Marquise Émilie du Châtelet (1706–1749), war darauf gestoßen, als sie Newtons „Principia“ ins Französische übersetzte und kommentierte. Isaac Newton (1643–1727) selbst wusste nur von Impulserhaltung¹⁰. Wer die Welt mechanistisch sah – idealerweise als gut geölten Mechanismus –, für den war Energieerhaltung kein Thema. Auch später nicht. Man musste bloß eine besondere Erscheinungsform der Energie, Wärme¹¹, mit *un geordnet*er Bewegung assoziieren und die chemische Energie mit der potentiellen Energie von Atomen und Molekülen.

Spannend wurde es, als die Elektrodynamik aufkam, eine von der klassischen Mechanik unabhängige Disziplin. Die Energie, die raumfüllend im elektrischen wie magnetischen Feld steckt bzw. vom elektrischen Strom oder einer elektromagnetischen Welle transportiert wird, konnte man spätestens nach dem Experiment von Michelson, das den hypothetischen Äther obsolet machte, nicht mehr mechanisch interpretieren. Albert Abraham Michelson (1852–1931), Physiknobelpreisträger von 1907, hatte 1881 vergeblich versucht, mit seinem Interferometer des „Ätherwindes Wehen“ auf dem Potsdamer Telegraphenberg zu messen. Das Experiment wurde des öfteren (ab 1886) und an anderen Orten weltweit wiederholt – mit ständig wachsender Genauigkeit. Das Nichtvorhandensein des elastischen „Äthers“ als Trägermedium elektromagnetischer Wellen gab Einstein recht, welcher 1905 in seiner Speziellen Relativitätstheorie die Mechanik mit der Elektrodynamik vereinbar machte. Er nahm dafür die Absolutheit der Vakuum-Lichtgeschwindigkeit (exakt: 299 792 458 m/s) in Kauf – wie in der Elektrodynamik.

Michelson kam im September 1880 ans Physikalische Institut der Berliner Universität, wo er bei Helmholtz auf jemanden traf, der höchlichst an dem Ätherexperiment interessiert war. Das Interferometer wurde von einer Berliner Firma gebaut und zunächst im Kellerraum des Magnus-Hauses (nahe dem heutigen Pergamonmuseum) aufgestellt. Doch war das Großstadtgetriebe der Physik abhold, so daß man ins ruhigere Potsdam umzog. Die Messungen im sog. Michelson-Keller unter der Ostkuppel des Hauptgebäudes des Astrophysikalischen Observatoriums begannen im April 1881. Die Erde rast zu dieser Jahreszeit auf das Sternbild Herkules zu – wie auch die Sonne selbst. Sonnengeschwindigkeit (20 km/s) und Erdbahngeschwindigkeit (30 km/s) addierten sich. Der Lichtgeschwindigkeit (300 000 km/s) jedoch waren die zusätzlichen 50 km/s egal. Sie ist von der Geschwindigkeit der Lichtquelle unabhängig. Es bleibt dabei: Es ist unmöglich, Absolutgeschwindigkeiten¹²

¹⁰Dass es auch auf die „lebendige Kraft“ $m \cdot v^2$ ankommt und nicht allein auf den Impuls $m \cdot v$, war 1693 Gottfried Wilhelm Leibniz (1646–1716) aufgegangen.

¹¹Lange Zeit hielt man Wärme für einen sehr feinen *Stoff*, unwägbar, unzerstörbar, zuweilen verborgen (latent).

¹²Die kosmologische Hintergrundstrahlung bietet sich als natürliches Ruhesystem an.

zu messen.

Folgt man Friedrich Schiller (1759–1805), wonach die Wissenschaft¹³ „sucht den ruhenden Pol in der Erscheinungen Flucht“, wird die Tragweite der Energieerhaltung als nützlicher Leitgedanke begreiflich. Immer, wenn dieser „ruhende Pol“ ins Schlingern geriet, hielt man fest am Glauben und nach einer neuen Energieform Ausschau. Stets ließ sich ein mathematischer Ausdruck finden, der sich als Energiedichte bzw. Energiestrom interpretieren ließ, und für den Fehlbetrag aufkam. Lange war z. B. unklar, ob Gravitationswellen, also Schwankungen im Raum-Zeit-Gefüge, die sich mit Lichtgeschwindigkeit fortpflanzen, überhaupt Energie transportieren und wie der Energiestrom allgemeinrelativistisch korrekt zu berechnen sei.

Als Physiker und Physiologe schlug Helmholtz die Brücke vom Kosmischen zum Lebendigen, der Biosphäre. Dass der Energiesatz – also „dass die Summe der wirkungsfähigen Kraftmengen¹⁴ im Naturganzen bei allen Veränderungen in der Natur ewig und unverändert dieselbe bleibt“ – auch für Lebendiges¹⁵ gelte, davon war er überzeugt. Sein Argument: Bildete das Leben eine Ausnahme, könnte man mit seiner Hilfe ein *Perpetuum mobile* konstruieren! Trotzdem wurde noch bis in das erste Drittel des 20. Jh. von philosophisch interessierter Seite eine geheimnisvolle Lebenskraft bemüht, um das „Feinstofflich“-Organische vom Anorganischen abzugrenzen. Doch es bedarf keines ominösen *Elan vital*, es bedarf freier Energie!

Fortsetzung folgt.

¹³Das Schiller-Wort trifft mehr noch auf unsere Sinnesorgane zu, die, durch Erfahrung gewitzt, das Bekannte und Wahrscheinliche, auch das Angstmachende, aus dem Wust an Daten herauslesen (selbst, wenn es gar nicht vorhanden sein sollte, wie Helmholtz wusste).

¹⁴d. h. Energien

¹⁵Er wurde von einem Mediziner entdeckt! Robert Mayer (1814–1878) ist als Schiffsarzt auf einer Java-Reise auf den Energiesatz gekommen. Wie ihm auffiel, war die Sauerstoffausnutzung, merklich am Farbunterschied zwischen arteriellem und venösem menschlichen Blut, in den Tropen verringert, weil, so seine Erklärung, dort weniger Energie zur Wärmeproduktion benötigt würde.