

Jeder zählt Shakespeare zur Bildung, aber nicht den zweiten Hauptsatz der Thermodynamik.

C. P. Snow

Liebe Leserin, lieber Leser,

der April hat es in sich: kein Mangel an Aprilereignissen, an die anzuknüpfen sich lohnte!

Vor 200 Jahren, Anfang April 1815, kam es in der Inselwelt Indonesiens zu einem Vulkanausbruch. Asche-, Staub- und Schwefeldioxidausstoß des Tambora drehten am Klima. Weltweit kam es in den Jahren danach zu Hungersnöten und Auswanderungsschüben. 1816 ist das „Jahr ohne Sommer“. Mt. Tambora ist östlich von Java gelegen. Westlich davon, in der Sundastraße, befindet sich die Vulkaninsel Krakatau. Hier sollte es 1883 zu einem Ausbruch kommen. Die Krakataukatastrophe war dank des Telegraphen weltweit ein Medienereignis. Beide Vulkane befinden sich unweit des Javagrabens, wo sich mit 3 cm/Jahr die Indo-Australische Platte, das Bett des Indischen Ozeans, unter die Eurasische Platte schiebt. Für die Gewalt von Vulkanausbrüchen (wie für Erdbeben) macht die Angabe eines Mittelwerts keinen Sinn. Die Häufigkeitsverteilung der Stärke folgt keiner Gauss'schen Glockenkurve. Vor rund 73 000 Jahren kam es im westlichen Sumatra zum Ausbruch des Toba, wobei 2000–3000 km³ an Asche und Gestein ausgespien worden sein sollen. (Zum Vergleich: Tambora beförderte 60–160 km³ in die Atmosphäre, Krakatau gar nur 20 km³.) Einige Forscher vertreten die „Flaschenhalshypothese“ und bringen der Menschheit Mangel an genetischer Vielfalt mit einem solchen geophysikalischen Einschnitt in Zusammenhang. Danach hätten den jahre- oder jahrzehntelangen „vulkanischen Winter“ nur wenige überlebt. Von diesen stammen wir alle ab.

Unser Planet lebt! Die Erde ist der einzige Planet weit und breit, der Meeresboden generiert, Lithosphärenplatten recycelt, Gebirge auftürmt, die Meere mineralisch düngt. So etwas stabilisiert sogar langfristig das Klima (Kohlenstoffzyklus!). Das Aufrechterhalten von Unterschieden (Berg/Tal, Potenzialdifferenzen, Konzentrationsunterschiede etc.) entgegen dem Hang zur Nivellierung hat seinen energetischen Preis: Wie ein Lebewesen muss der Planet

sich der anfallenden Abwärme entledigen – in den kalten Weltenraum. Entropieexport sichert das Überleben!

Vor 60 Jahren, am 18. April 1955, starb Albert Einstein. Auf den Schöpfer der Allgemeinen Relativitätstheorie kommt der Kosmos-Bote dieses Jahr noch zurück. Einsteins Vermächtnis, seine Theorie der Schwerkraft, wird im November 100!

Und einer Sternstunde der Physik gilt es zu gedenken: Vor 150 Jahren, am 24. April 1865, erfuhren in Zürich die Mitglieder der Naturforschenden Gesellschaft aus dem Munde des Bonner Physikprofessors Rudolf Clausius (1822–1888) von einer neuen physikalischen Größe. Dergleichen geschieht nicht aller Tage. Man muss davon ausgehen, dass keiner der Anwesenden, der Vortragende eingeschlossen, die Tragweite hat ermessen können. Clausius' Vortrag endete mit zwei berühmten Zeilen, Formulierungen der beiden Hauptsätze der Wärmelehre:

- 1) Die Energie der Welt ist constant.
- 2) Die Entropie der Welt strebt einem Maximum zu.

Mit „Welt“ ist nicht die Erde gemeint! Treue Leser ahnen schon: Der Kosmos-Bote reitet wieder einmal sein Steckenpferd.

Unter „Vermischtes“ könnte folgende Meldung auf Ihr Interesse stoßen: Am Mittwoch, dem 15. April, gegen 18 Uhr 8 MESZ endet (für MEZler) das erste Siebtel des 21. Jh.

Frohe Ostern gehabt zu haben wünscht den Lesern des Kosmos-Boten
Hans-Erich Fröhlich

Der Himmel im April

Frühlingsvollmond fällt auf Ostersonnabend. Einen halben Monat nach der Sonnenfinsternis stehen Sonne, Erde und Mond wieder in einer Reihe, allerdings haben Erde und Mond ihre Stellung getauscht. Auf der anderen Seite des Globus dürfen sich die Menschen einer Mondfinsternis erfreuen.

Am Monatsende betritt Merkur den Abendhimmel. Er ist etwa eine Stunde nach Sonnenuntergang im NW auszumachen, am besten mit einem Feldstecher. Merkur zieht am 22. April ein Grad nördlich am Mars vorbei, zur Walpurgisnacht südlich an den Plejaden.

Abendstern aber ist die Venus. Sie geht gegen Mitternacht unter. Während für Jupiter mit dem Stillstand am 8. April seine diesjährige Oppositionszeit

formal endet, geht Saturn rückläufig aber zielstrebig seiner Opposition Ende Mai entgegen.

„Es führt kein Weg zurück.“

Dass ohne Energie nichts läuft, ist Gemeingut. Doch was ist Energie? Das herausfinden zu wollen (was bislang niemanden gelungen ist), setzt als erstes voraus, dass man vergisst, was man über Energie so zu wissen glaubt. Das Reden über Energie hat dem Verständnis nicht gut getan. Wir reden von Energiegewinnung und -verbrauch und wissen doch, spätestens seit den Forschungen eines Julius Robert Mayer (1814–1878), James Prescott Joule (1818–1889) und Hermann v. Helmholtz (1821–1894): „Die Energie der Welt ist constant.“ Ist von Energieverbrauch die Rede, ist damit -entwertung gemeint. Die Energie ist nicht weg, man kann bloß mit ihr nichts rechtes mehr anfangen. Das Maß für die Nichtverwertbarkeit bzw. Unverwandelbarkeit von Energie ist die Entropie.

Wer wissen will, woher die Schöpfung ihre kreative Kraft bezieht und wer sie bewahren möchte, kommt um die Entropie nicht herum. Das Kunstwort „Entropie“, in Anlehnung an „Energie“ von Clausius eingeführt, bezeichnet den energetischen „Verwandlungsinhalt“ eines Systems. (Die Verdeutschung macht die Sache leider keinen Deut deutlicher.) Clausius war aufgefallen, dass bei Energieumwandlungen der Wärme eine Sonderstellung zukommt. Während man beispielsweise Bewegungsenergie 1:1 in Elektroenergie umwandeln kann (Siemens'scher Dynamo) und umgekehrt (Elektromotor), ist Wärme ohne zusätzlichen Energieaufwand nicht rückverwandelbar. So ist Wärme auf dem Niveau der Umgebungstemperatur prinzipiell nicht nutzbar. Es ist nicht möglich, allein durch Abkühlung der Ozeane auch nur ein einziges Schiff zu bewegen. Patentbeamte berufen sich auf die Unmöglichkeit eines *Perpetuum mobile zweiter Art*, entsorgen sie entsprechende „Erfindungen“ in den Papierkorb..

Es ist zwar nicht notwendig, aber hilfreich an die atomistische Deutung der Wärme zu erinnern: Wärmeenergie ist Bewegungsenergie, die in der Zufallsbewegung der Teilchen steckt. Entropie bemisst, anschaulich gesprochen, die Menge an Zufall! Die Energiearten unterscheiden sich hinsichtlich ihres Gehalts an „Zufall“. Elektrischer Strom ist ein gerichteter Strom von Elektronen, mithin zufallsfrei (entropiefrei). Von der Sonne erreicht uns ein nahezu gerichteter Strom von Photonen (Lichtteilchen). Die Sonne ist ja bloß ein

Scheibchen am Himmel. Sonnenlicht ist daher, wie elektrischer Strom, fast entropiefrei – enthält also entgegen landläufiger Meinung keine Wärme! –, und ist gerade deshalb wertvoll¹. Wind enthält beides und ist deshalb weniger wertvoll. Nur die systematische Bewegung der Luftmassen, die Strömung, lässt sich durch Windräder² nutzen, nicht jedoch die Wärmeenergie, die in der ungeordneten Bewegung der Luftmoleküle steckt. Letztere übertrifft die mechanische Energie eines Orkanwirbels um das Hundertfache! Nutzen lässt sie sich genauso wenig wie die Wärme der Ozeane.

Hier ist sie, die Unsymmetrie in der Zeit: Aus etwas Geordnetem, einem gerichteten Strom von Elektronen oder Photonen, etwas Ungeordnetes werden zu lassen, Wärme, ist leicht und geschieht von selbst. (Beim Sonnenbaden spürt man, wie die Haut beim Aufprall der Photonen sich erwärmt.) Das Umgekehrte ist immer nur unter Aufwendung von Energie möglich. (Man denke an das Aufräumen des Kinderzimmers.) Ordnung kann im Prinzip auch spontan entstehen, aber das grenzt an ein Wunder.

Im Fernsehen lief Alfred Hitchcocks „Psycho“. Als Physiker interessiert man sich bei der Duschszene für die Mischbatterie. Durch Mischen von Heiß und Kalt wird wertvoller Unterschied eingeebnet. Vorher hätte man dem Unterschied nützliche Energie entziehen können (beispielsweise mit einem Thermoelement). Man hat schlicht „Unterschied vergeudet“³. Mischungsentropie, stoffliche, entsteht auch am Abfluss, was dem Kameraauge nicht entgeht: Wasser und Blut vermischen sich von selbst. Die Mischungsentropie bemisst

¹Wäre der Himmel vollgepflastert mit Sonnenscheiben, wäre es zwar schön warm, aber die Sonnenenergie völlig nutzlos (wie die erwähnte Wärme der Ozeane)!

²Es stimmt, Windenergie ist auch Sonnenenergie. Allerdings handelt es sich um bereits entwertete Sonnenenergie. In dem Moment, wo ein Lichtteilchen auf den Erdboden aufschlägt, büßt es an Nützlichkeit ein. Die wertvolle Energie wird zu wertloser Wärme – es sei denn, ein grünes Blatt oder eine Solarzelle stellt sich in den Weg, um doch noch etwas von der freien Energie der Lichtteilchen zu retten, sprich in chemische bzw. elektrische Energie umzuwandeln. Windenergie lebt nur noch von dem vergleichsweise geringen Temperaturunterschied zwischen den Tropen und den Polen und ist daher nur begrenzt verfügbar. Die Windkraftnutzung nutzt nur die sekundäre Sonnenenergie und greift in den klimawichtigen Ausgleichsenergiestrom ein, der sich von den Tropen zu den Polen ergießt.

³Das ist der rationale Hintergrund bei der Kraft-Wärme-Kopplung (KWK). Es ist geradezu absurd, mit einer Gasflamme von vielen Hundert Grad sein Wohnzimmer auf, sagen wir, 22°C zu halten. Man könnte den Temperaturunterschied sinnvoll nutzen, indem man außerdem noch elektrische Energie erzeugt. Das Problem: Wären die Häuser gut gedämmt, brauchte man (fast) keine Wärmeenergie, wie jeder Iglubesitzer weiß! Beides zu fördern, KWK und das Dämmen der Häuser, macht keinen Sinn.

den energetischen Mindestaufwand, den das Klärwerk aufwenden muss, beides wieder zu trennen. Wasserwiederaufbereitung ist teuer!

An Energie besteht kein Mangel, die Welt ist voll davon. (Man denke nur an die 3-K-Hintergrundstrahlung.) Bloß nutzbare Energie ist rar. Diese basiert auf dem Bestehen von Unterschieden (Temperaturunterschiede, Spannungsdifferenzen, Unterschieden bei chemischen Potentialen etc.). Da Unterschiede spontan abgebaut werden – ein Felsbrocken, der zu Tal rollt, bleibt dort liegen⁴, weil seine Bewegungsenergie zu Wärme wurde –, verringert sich die Nutzbarkeit von Energie mit der Zeit. Die Entropie nimmt zu.

Bleiben wir noch im Gebirge. Da ist der Bergsee, der sich nicht ins Tal entladen kann, weil eine Felsbarriere ihn daran hindert. Um Potenzialdifferenzen nutzbar zu machen, muss zuweilen nachgeholfen werden. Der Bauingenieur gräbt einen Tunnel, der Chemiker entwickelt einen Katalysator, die Sonne erinnert sich des Gamov'schen Tunneleffekts, um trotz niedriger Zentraltemperatur, sozusagen auf kaltem Wege, Kernfusionen (zumindest auf Sparflamme) ablaufen zu lassen.

Der Bonner Physiker hatte herausgefunden, was jedem Nichtphysiker geläufig ist: Man kann die Zeitrichtung nicht umkehren! Die Nichtumkehrbarkeit der Zeit ist eine Eigenheit der Wärmelehre! Andere physikalische Disziplinen sind davon nicht betroffen. Die schleichende Entwertung der Energie, ihr Verlust an Arbeitstauglichkeit, gibt dem Zeitpfeil die Richtung vor! Später sollte die Mathematikerin Emmy Noether (1882–1935) herausfinden, dass die Konstanz der Energie⁵ auch etwas mit der Zeit zu tun hat, mit der Tatsache, dass es keinen ausgezeichneten Ort in der Zeit gibt. Das Ergebnis eines physikalischen Experiments darf nicht davon abhängen, ob es im 17. Jh. oder im 21. Jh. ausgeführt wird.

Die Zeit nagt an der Energie. Diese Feststellung sprengte den Rahmen der Physik vor Clausius. Die Zeitrichtung spielte bis dato kaum eine Rolle. Beispiel Himmelsmechanik⁶: Beim Durchlaufen der Bahnellipse des Merkur um

⁴Ohne Wärmeerzeugung müsste der Felsbrocken auf der anderen Seite des Tals wieder seine Ausgangshöhe erklimmen und immer und ewig zwischen den Talhängen hin und her pendeln.

⁵An der Konstanz der Energie waren Zweifel aufgekommen als man bemerkte, dass im Rahmen der Einsteinschen ART die Gravitationsenergie selbst „schwer“ ist und zur Gesamtenergie beiträgt.

⁶In der Elektrodynamik das Gleiche: Elektromagnetische Wellen können aus der Zukunft in die Vergangenheit reisen! Beim Physikstudium wurde uns gesagt, diese *a v a n c i e r t e n* Lösungen der Maxwellschen Gleichungen müsse man ignorieren. Später las ich,

die Sonne wird ständig potentielle Energie in kinetische Energie und umgekehrt verwandelt – völlig verlustfrei (im Ggs. zum Felsen, der im Talgrund liegenbleibt). In Sonnennähe ist der Planet besonders schnell, seine kinetische Energie ist hoch, in Sonnenferne ist es die potentielle Energie, die maximal wird. Niemandem fiel es auf, drehte ein Himmelsmechaniker die Zeitrichtung einfach um. Es bedarf schon eines geschärften Forscherblicks, festzustellen, dass auch am Planetensystem die Zeit nicht spurlos vorübergeht. Edmond Halley (1656–1742) hatte diesen Scharfblick. Er entdeckte die Gezeitenreibung. Der Mond entfernt sich langsam von der Erde, er würde dies auch tun, kehrte man alle Bewegungen im Planetensystem um! Dass die Zeit auch im Planetensystem immer nur voranschreitet, hängt allein mit dem bisschen „Reibung“ zusammen. Durch Reibung entsteht Wärme. Dieser Vorgang ist unumkehrbar. Für den Physiker ist Wärme deshalb eine minderwertige Form der Energie. Sie steht am Ende jeder Umwandlungskette. Der Techniker versucht stets, unnötige Wärmeezeugung zu vermeiden⁷.

Der Entropiebegriff ist negativ besetzt. Was kann an spontaner Energieentwertung schon Positives sein? – Vielleicht ist dies der Grund, warum er in der Öffentlichkeit gemieden wird.

Für Clausius und seine Nachfolger war Entropie tatsächlich mit Niedergang verbunden. Ist irgendwann alles eingeebnet, nivelliert, gibt es keine Möglichkeit mehr, durch Abbau von Unterschieden an *f r e i e* Energie heranzukommen. Das Weltganze eilt dem „Wärmetod“ entgegen.

Nun, dieser lässt auf sich warten. Dass das so ist, hat mit einem Versäumnis Clausius' zu tun: Der Gelehrte hatte beim Formulieren des 2. Hauptsatzes der Wärmelehre die Schwerkraft noch außen vor gelassen. Für selbstgravitierende Systeme gibt es das von Clausius avisierte Entropiemaximum gar nicht. Das klingt verheißungsvoll und wäre durchaus einer eigenen Betrachtung wert.

sie gehörten der Vollständigkeit halber unbedingt dazu – man kann nicht einfach etwas weglassen, bloß weil es nicht ins Konzept passt! –, sie haben aber keine beobachtbaren Konsequenzen, insbesondere übermitteln sie keinerlei Informationen über Zukünftiges.

⁷Nicht so der Energiepolitiker: Er wirft wertvolle kWh (Elektroenergie) und nahezu wertlose kWh (Wärmeenergie) in einen Topf und erfreut sich eines hohen „Nutzungsgrades“ der eingesetzten Energie. Für ihn ist kWh gleich kWh. Dabei lehrt die Energierechnung anderes: Eine Wärme-kWh ist billiger als eine Elektro-kWh. Es wäre uns allen geholfen, unterschiede er wie der Techniker zwischen kWh_e (nützlicher *E x e r g i e*) und kWh_a (nutzloser *A n e r g i e*).

„Ich bin ein Teil von jener Kraft, die stets das Böse will und stets das Gute schafft.“

Die Selbsteinschätzung des Mephisto aus dem „Faust“ leite über zur positiven Rolle, die die Entropie im Weltgeschehen spielt. Hat die tektonische Aktivität des Planeten Erde, Auslöser für verheerende Katastrophen, ihr Gutes?

Das Rumoren und Rumpeln unter unseren Füßen wird getrieben vom Temperaturgefälle zwischen 5400°C heißem Erdkern und kalter Lithosphäre (Kruste und oberer Erdmantel). Der Hang zum Temperatúrausgleich äußert sich in einem Ausgleichswärmestrom von 44 TW⁸. Zum Ausgleich kommt's aber nicht. Die Oberfläche des Planeten ist, abgesehen von einem wärmenden Wasserdampfmantel in der Troposphäre, schutzlos der -270°C-Kälte des Weltraums ausgeliefert. Die Wärme aus dem Erdinnern verpufft als Infrarotstrahlung. Es ist dieser Verlust ins All, der die Wärmekraftmaschine namens Erde gehen macht! (Bleibe die Wärme in der Erde stecken, wäre der Erdball bald überall gleichwarm, und aus wär's mit dem Rumpeln.) Der Vergleich mit einem Wärmekraftwerk trifft zu: Über die Abwärme wird Entropie entsorgt – wie in einem Wärmekraftwerk⁹, das entropiefreien Strom liefert. Wegen des enormen Temperaturunterschieds arbeitet der Geo-Motor effizienter als jedes Wärmekraftwerk. Von 5400°C Betriebstemperatur können Kraftwerkstechniker nur träumen.

Energie strömt spontan vom Heißen zum Kalten, weil sich dabei die Entropie erhöht¹⁰. Der umgekehrte Vorgang ist (von statistischen Schwankungen abgesehen) verboten. Wegen des steilen Temperaturabfalls erfolgt der Energietransport im Erdinneren konvektiv. Heißes Material steigt auf, kühles sinkt ab. Im Verein mit der Erdrotation kommt es im äußeren Erdkern und im unteren Erdmantel zu großräumigen *g e r i c h t e t e n* Strömungen, aus denen sich etwas machen lässt: ein schützendes Erdmagnetfeld aufbauen und auf-

⁸Das ist vergleichbar mit dem Energiekonsum der Menschheit.

⁹Sollte ein Bekannter Ihnen gegenüber beklagen, das Wärmekraftwerk mit seinen Kühltürmen auf der grünen Wiese heize hauptsächlich die Umgebung, geben Sie ihm zu bedenken, dass jede Wärmekraftmaschine zweien Herren dienen muss: dem Gebot der Energieerhaltung und der Forderung, dass die Entropie insgesamt nicht abnehmen darf. Wer entropiefreie Energie (Strom) haben will, muss in Kauf nehmen, dass Entropie in die Umwelt entsorgt wird, als Abwärme. Die Pflanzen auf der Wiese nutzen das gleiche Prinzip. Sie saufen Wasser, um die Abwärme durch Verdunstung loszuwerden.

¹⁰Der Wärmestrom vom Wohnzimmer durch die Hauswand nach draußen geht mit Entropieproduktion einher. Die Wand ist produktiv!

rechterhalten, Mineralien recyceln, verbuddelten Kohlenstoff wieder freisetzen, an mittelozeanischen heißen Quellen Erze ausfällen, Gebirge auftürmen . . . , Vorgänge, die von allein niemals geschähen!

Alles „Höhere“ basiert auf *dissipativer* Strukturbildung: Irgendetwas „geht den Bach hinunter“, wobei Energie in großem Stil entwertet (dissipiert) wird – und eröffnet eben dadurch dem Aufstrebenden eine Chance. (Man kann das im Kochtopf beobachten: Bei ausreichender Heizung von unten bildet sich wie durch Zauberei ein *reguläres* Konvektionszellenmuster aus, die sog. Rayleigh-Bénard-Konvektion.) Dem Einfall, vom globalen Niedergang zu profitieren, um lokal noch etwas Gescheites daraus zu machen, verdanken wir nicht nur neue Gebirge, auch das Leben bedient sich dieses Tricks. Es bedarf dazu keines besonderen *Élan vitale*, wie mancher noch vor 100 Jahren wähte. Der 2. Hauptsatz der Wärmelehre offeriert generös Freiräume: Er fordert lediglich, dass in einem abgeschlossenen System, die Entropie *insgesamt* zunehmen muss. Lokal kann durch Entropieexport durchaus ein Zustand niedriger Entropie aufrechterhalten werden. Der Erhalt von Struktur und Ordnung entgegen dem spontanen Trend zur Unordnung ist durch Export von Unordnung möglich. Das hat seinen Preis. Alle Naturkreisläufe¹¹ sind gepowert, sie würden ohne Sonne oder heißem Erdkern knirschend zum Stillstand kommen. Immer mit von der Partie: das kalte All. In ihm verschwindet der Wärmemüll. Diese Deponie läuft niemals über. Das All expandiert.

Bei abklingender radioaktive Heizung durch den ⁴⁰K-Zerfall, nur von Kristallisations- und Restwärme lebend, kühlt der Erdkern ab. In einer Milliarde Jahren bereits könnte die Plattentektonik zum Erliegen¹² kommen. Das war's dann. Erosion ebnet alle Unterschiede ein. Unser Planet stirbt den Wärmetod.

¹¹Wie der Ökonom Nicholas Georgescu-Roegen (1906–1994) vor über 40 Jahren feststellte, kann deshalb keine Kreislaufwirtschaft sein.

¹²Beschleunigend trägt eventuell der Schmiermittelverlust bei: Wasser. Die trockene Venus kennt keine Plattentektonik.