

Vergänglichkeit

Flugsand der Stunden. Leise fortwährende Schwindung
auch noch des glücklich gesegneten Baus.

Leben weht immer. Schon ragen ohne Verbindung
die nicht mehr tragenden Säulen heraus.

Aber Verfall: ist er trauriger, als der Fontäne
Rückkehr zum Spiegel, den sie mit Schimmer bestaubt?
Halten wir uns dem Wandel zwischen die Zähne,
daß er uns völlig begreift in sein schauendes Haupt.

Rainer Maria Rilke (1924)

Liebe Leserin, lieber Leser,

alles „Höhere“ lebt vom Gefälle. Doch wodurch werden Höhen- und Temperaturunterschiede, Konzentrationsgradienten und Potentialdifferenzen über die Äonen aufrechterhalten, wo doch von Natur aus alles auf „leise fortwährende Schwindung“, sprich Abbau, Ausgleich, Entladung aus ist? Nehmen Sie nur das Wasser. Immer wieder wird es (als Wasserdampf) bergauf befördert, immer wieder fließt es bergab ins Meer, ozeanisches Leben mit Mineralien düngend. Doch wie gelangt beispielsweise Phosphat wieder nach „oben“? Phosphor ist ein lebenswichtiges Spurenelement! Eine Überlebensfrage.

Das Dilemma datiert aus der zweiten Hälfte des 19. Jh. Der Biologe Charles Darwin (1809–1882) fand den Mechanismus heraus, mit dem Natur sich quasi am eigenen Schopfe aus dem Sumpf zieht und „Höheres“ gebiert, während zur gleichen Zeit Physiker, wie Rudolf Clausius (1822–1888) und Lord Kelvin alias William Thomson (1824–1907) feststellten, dass alles, sich selbst überlassen, den „Bach runter“ geht, vorbehaltlich einer kleinen Klausel: Das mit dem „Bach runter“ gilt für abgeschlossene Systeme, also fürs Große und Ganze, also für den Kosmos. Im „Kleinen“ darf – gegen ein Entgelt – der Spieß umgedreht werden. Niedergang im Großen macht Fortschritt im Kleinen möglich.

Der Kosmos-Bote geht dem nach. Es ist zugegebenermaßen ein Lieblingsthema von ihm. Beginnen wir mit der Erde. Sie kämpft seit Jahrmilliarden gegen den „Zahn der Zeit“ an, mit Erfolg.

Wünschen wir uns für 2013 stets genügend Gefälle¹, nachhaltiges, auf dass der Motor des Lebens und der Wirtschaft trotz allem „Sand im Getriebe“ weiterhin fröhlich tuckert.

Ihr Hans-Erich Fröhlich

Der Himmel im Januar

Am 2. Januar kommt die Erde auf ihrem Jahresgang der Sonne wieder einmal am nächsten. Sie erscheint dann besonders groß am Himmel. Von der scheinbaren Fläche her übertrifft die Januarsonne die Julisonne um sage und schreibe 7 %. Das sind 7 % mehr an Einstrahlung! Den Nordhalbkugler freut's. Das mindert den Sommer-Winter-Kontrast.

Von den Planeten sind gut sichtbar der Jupiter – er hält sich an prominenter Stelle zwischen Hyaden und Plejaden auf – und, in den Morgenstunden, der Saturn.

„Die Weltherrin und ihr Schatten“

In einer kleinen populären Schrift aus dem Jahre 1902 tituliert der Jenaer Physikprofessor und Kunstmäzen Felix Auerbach (1856–1933) die Energie mit „Weltherrin“. Der Entropie billigte er nur ein Schattendasein zu.

Die Entropie beziffert die *Entwertung* der Energie. Deshalb ist sie unpopulär, sie ist negativ besetzt! Sie ist das Maß für den Niedergang, den schleichenden Verfall. Wir reden statt dessen gewöhnlich von *Verbrauch*. Sie ist mehr als das. Thomas Mann hätte sicherlich von „Liederlichkeit“ gesprochen. Unordnung entsteht bekanntlich von allein. Entropie hat zu tun mit dem Aufwand, den man treiben muss, um immer wieder das Kinderzimmer aufzuräumen, genauer: der Anzahl der Sortierhandlungen, um das verstreute Spielzeug wieder in Kisten und Truhen zu verstauen. Man kommt kaum hinterher, den *Status quo* aufrechtzuerhalten. Man muss wie Alice im Spiegelland rennen, um wenigstens am gleichen Ort zu bleiben.

¹Gemeint ist nicht der Abstand zwischen arm und reich!

Gießen Sie heißes Wasser in kaltes, erhalten Sie lauwarmes. Zuvor hätten Sie mit der Temperaturdifferenz noch etwas anstellen können, z. B. elektrischen Strom gewinnen. Das haben Sie nun vermässelt. Vermischen entwertet. Die Energie ist keineswegs verschwunden – das kann sie gar nicht –, sie ist bloß nicht mehr nutzbar. Man sagt, die Entropie habe zugenommen.

Es muss nicht immer ein Temperaturunterschied sein, ein Konzentrationsunterschied tut es auch. Ein Tropfen Tinte löst sich im Wasser auf. Damit ist das Wasser „entwertet“, seine Reinheit ist dahin. Man sagt, die Mischungsentropie habe zugenommen. Dass von allein, durch Zufall, sich die Tinte wieder zusammenfindet, ist höchst unwahrscheinlich. Diese schleichende *spontane Entwertung* definiert den (thermodynamischen) „Pfeil der Zeit“. Die Welt wandelt durch den Raum der Möglichkeiten im allgemeinen einem deutlich wahrscheinlicheren Zustand zu, einem größerer Unordnung. Clausius hat das 1865 so formuliert: „Die Energie der Welt ist konstant. Die Entropie der Welt strebt einem Maximum zu.“

Mikroskopisch betrachtet könnte man auch sagen, die Entropie steht für die Menge an Zufall, die in einer Energieform steckt. Elektrizität ist ein geordneter Strom von Elektronen, also zufallsfrei. Deshalb ist Strom wertvoll. Ein Elektromotor vermag Arbeit zu verrichten. Wärmeenergie hingegen ist zufallsbeladen. Dem Hin und Her der Moleküle kann man nichts Nützliches abgewinnen. Obwohl der Wärmegehalt der Ozeane immens ist, lässt sich damit kein einziges Schiff fortbewegen. Die Energie ist zwar vorhanden, aber wertlos. Patentbeamte wissen das, weshalb sie ohne mit der Wimper zu zucken entsprechende Nutzungsvorschläge ungelesen in den Papierkorb² werfen.

Halten wir fest: *Global* gesehen ist „Schwindung“, wie der Dichter sagt, unvermeidlich, weil Unordnung natürlicher (wahrscheinlicher) als Ordnung ist. Von allein entmischen sich die Dinge nicht. Deshalb war Lord Kelvin Pessimist. Er prognostizierte den „Wärmetod“ des Weltalls. Nichts geschehe mehr, sei erst einmal alles nivelliert. Er irrte. Er konnte weder ahnen, dass der Drang

²Was schade ist. Das Herausfinden des Denkfehlers kann lehrreich sein: James Clerk Maxwell (1831–1879) hatte um 1870 ein Perpetuum mobile 2. Art „erfunden“ gehabt. Es war ein Gedankenexperiment. Ein pfiffiges Kerlchen wurde mit dem Sortieren von Gasmolekülen betraut, in einen Haufen langsame und einen Haufen schnelle. 90 (!) Jahre später stellte sich heraus, warum es nicht funktioniert. Wie man 1961 bei IBM entdeckte, erzeugt selbst Rechnen, ob im Kopf des Maxwellschen Dämons oder mit dem Computer, Entropie! Das war eine Sternstunde der Wissenschaft. Zumindest das Löschen eines Bits erzeugt Wärme. Wie beim Radieren mit einem Gummi! Entropie und Information haben miteinander zu tun.

zum Tode, zur Gleichmacherei, die Mühlen des Lebens treibt, noch, dass das Universum als Ganzes – die Entropiemülldeponie *par excellence* – sich stündlich vergrößert. Die Schöpfung, ihm war sie ein dem Untergang geweihtes Unternehmen.

Der Deal der Schöpfung: Sie schafft und erhält in Teilbereichen Ordnung durch *Export von Unordnung*. Sie gewinnt der Ruinierung im Großen, die spontan geschieht, noch etwas Positives ab, indem sie sich in diesen Vorgang einklingt. Rilke, die Vergänglichkeit besingend, hat eine antike Säule im Sinn. Von oben rieselt es. Der Schuttkegel am Fuße der Ruine wächst. Warum nicht aus dem herabrieselnden „Flugsand“ noch Kapital schlagen und eine Mühle damit treiben? Kaum zu glauben, aber so lautet das Erfolgsrezept von Mutter Natur!

Auch die Technik kennt den Trick: In jedem Kraftwerk gibt es eine heiße Stelle, den Ofen. Von dort strömt die Wärme nach draußen, ins Kalte. Sie tut dies spontan. Dabei trifft sie auf eine „Mühle“, eine Turbine, die wenigstens einen Teil des Energiestroms in elektrischen Strom umwandelt. Um (ordentliche) Elektrizität zu erzeugen, muss zumindest die Unordnung, die beim Verbrennen entsteht, über die Abwärme veräußert werden. Insgesamt nimmt die Unordnung (Entropie) zu. Die Umwelt wird *belastet*, wie es sich physikalisch gehört. Die „Wärmeschutthalde“ wächst. Kraftwerke sind Scheideanstalten: Die „verunreinigte“ Energie wird getrennt in „reine“ (entropiefreie) Elektroenergie und „liederliche“ (entropiebeladene) Abwärme. Das „Aufwerten“ hat seinen Preis: Abwärme³.

Bäume tun übrigens ein Gleiches. Was für das Kraftwerk das Temperaturgefälle, ist für den Baum ein Konzentrationsgefälle. Die trockene Luft saugt die Feuchtigkeit über das Blätterdach aus Baum und Boden, dabei die Entropie (chemische Reaktionswärme) als latente Wärme des Wasserdampfes in die Umgebung entsorgend. Wasser ist nicht bloß Reaktionsprodukt, es ist das Vehikel zum Entropieabtransport! Deshalb sind Pflanzen „Säufer“. Dieser entropiegetriebene (weil auf Konzentrationsausgleich bedachte) Transpirationssog übertrifft an Saugwirkung jede Saugpumpe. Letztere schafft gerade einmal einen Höhenunterschied von 10 m. Urwaldriesen erreichen fast das Zehnfache⁴! Und welcher Entfeuchter sorgt für die Trockenheit der Luft? Die

³Weshalb man niemals elektrisch heizen und kochen sollte. Das Edelprodukt Strom, womit man Arbeit verrichten kann, ist, da mit Abwärme bereits doppelt und dreifach bezahlt, zum Kochen zu schade – aber halt bequem.

⁴Dass bei diesem Höhenunterschied nicht alle Wasserfädchen reißen, grenzt an ein Wun-

Konvektion über dem sonnenbeschiene Land! In großer Höhe kondensiert die Feuchtigkeit und regnet ab.

Beim Süsschenkochen entsteht, kurz bevor es anfängt, chaotisch zu brodeln, durch Wärmestau ein reguläres Konvektionsmuster, sog. Bénard-Zellen. Es sind diese Zellen im Innern der Erde, die an der Oberfläche Kontinente verschieben und Ozeanböden recyceln. Die Bénard-Konvektion illustriert die dissipative Strukturbildung weitab vom thermischen Gleichgewicht. Der Wärmestrom von der heißen Herdplatte in die Umwelt ist mit so viel Entropieproduktion verbunden, dass sich die Natur ein wenig geordnete Bewegung, die ja mit negativer Entropie einhergeht, leisten kann.

Es ist immer das gleiche: Das Aufrechterhalten von innerer Ordnung, das Reparieren von Schäden eingeschlossen, ist nur durch vermehrte Unordnung draußen zu haben. Die Entropieabgabe muss die Entropieaufnahme übersteigen. Zum Transport dient ein Energie- oder Stoffstrom, meist Wasser. Nun wissen Sie, warum Sie schwitzen und wie die Menschheit ihren Unrat entsorgt.

Geistiges (Information) ist davon nicht ausgenommen. Der Chemie-Nobelpreis-Träger Ilya Prigogine (1917–2003) pflegte zu sagen, dass jede Bibliothek mit einem Berg von (Entropie)Müll bezahlt wird, der die ganze Unordnung enthält, ohne die es keine Ordnung (Bibliothek) gäbe.

Wärmekraftmaschine Erde

Zwei thermische Antriebe arbeiten gegen die „leise fortwährende Schwindung“, den Abbau von Gefälle, an, ein innerer und ein äußerer. Der innere nutzt die Hitze des heißen Erdkerns (5000°C), der äußere die der Sonne (6000°C). Hitze allein genügt nicht. Die kalte Seite einer Wärmekraftmaschine, der Kühler, ist nicht weniger wichtig. Es ist – der kalte Himmel, das Firmament (-270°C). Der erste Antrieb bringt es auf 50 TW (Terawatt) oder 50 000 GW (Gigawatt), der zweite auf 120 PW (Petawatt) = 120 Millionen GW. Glauben Sie nicht, der Geomotor⁵, der unter unseren Füßen rumort und rumpelt, sei unwichtig! Er treibt die Mantelkonvektion und besorgt das stoffliche Recyceln – die Sonne liefert nur Strahlung, keinen Stoff! Strömun-

der. Das Abreißen soll man sogar mit empfindlichen Mikrofonen hören können!

⁵Die 50 TW Leistung entsprechen dem Gesamtenergieumsatz pro Sekunde der Menschheit. Wir sind bereits ein *global player*.

gen im Gesteinsmantel lassen den Meeresboden mit seinen Ablagerungen ins Erdinnere abtauchen. Dort wird das Sediment eingeschmolzen und ergießt sich irgendwann, verwandelt, über die Oberfläche. Beim Zusammenstoß von Kontinentalplatten türmen sich Gebirge auf. Durch Erosion werden diese zwar alsbald abgetragen, dafür entstehen anderswo neue Berge, neue Täler. Von Nivellierung keine Spur! Das steile Temperaturgefälle wird noch weitere Hundert Jahrmillionen aufrechterhalten. Das hält auch den Geodynamo am Laufen, der fürs irdische Magnetfeld zuständig ist. Die innere Hitze stammt zum Teil aus dem radioaktiven Zerfall, zum Teil aus Kristallisationswärme – beim Auskristallisieren wird latente Wärme frei –, der Rest ist Restwärme aus planetaren Kindertagen.

Der äußere Antrieb, eine „Photonenmühle“, so die anschauliche Bezeichnung durch einen Physiker, klingt sich ein in den spontanen Ausgleichsstrahlungsstrom zwischen Sonne und kosmischer Hintergrundstrahlung. Zwischen diesen *beiden* Polen ist die Erde wärmetechnisch eingespannt. Nur von der Sonne zu reden macht keinen Sinn! Der kalte Kosmos ist gleichermaßen wichtig. Dazu ein Gedankenexperiment: Pflastern Sie doch das Firmament mit Sonnenscheiben, lückenlos! Sie werden kein Quentchen freier Energie diesem Überangebot an Sonnenenergie entlocken können. Alles wäre gleichermaßen heiß. Es fehlte die Kälte! Eine Sonne ist nützlich, nicht aber 200 000 Sonnen. Ja, wir leben noch nicht einmal von der Sonnenenergie! Die gesamten 120 PW werden ja wieder abgestrahlt, in Gestalt von Infrarotstrahlung⁶! Das geht, weil der Weltenraum kälter⁷ als die Erde ist. Wärme strömt spontan vom Warmen zum Kalten. Es wäre eine Katastrophe, bliebe auch nur ein kleiner Teil der Sonnenenergie hier stecken. Das System Erde wird von der Sonnenenergie lediglich durchströmt. Was aus *einer* Richtung eingestrahlt wird – die Sonne ist ein kleiner Fleck am Himmel –, wird in *alle* Richtungen wieder abgestrahlt, allerdings wertgemindert. Nur die Qualität der Energie ändert sich, nicht die Quantität! Die einfallenden Photonen stellen, wie die Elektrizität, einen gerichteten Teilchenstrom mit wenig Zufall (niedriger Entropie) dar, die ungerichtete Wärmestrahlung der Erde, ihre Abwärme, hingegen enthält jede Menge Zufall.

⁶Im zeitlichen Mittel! Zur Zeit empfängt laut NASA die Erde 0,3% mehr als sie abstrahlt. Doch das gleicht sich irgendwann wieder aus.

⁷Theoretisch ließe sich noch das Temperaturgefälle zwischen der warmen Erde und dem kalten Himmel nutzen. Mit -18°C (255 K) ist jene viel wärmer als dieser. Bis zu 98% der Abwärme der Erde könnten theoretisch in mechanische Arbeit umgewandelt werden.

Wovon also lebt und gedeiht alles Irdische? – Von der *Entwertung* der Sonnenenergie! Physikalisch gesehen ist das die Differenz aus importierter und exportierter Entropie. Um handliche Zahlen zu haben beziehen wir uns auf einen Quadratmeter Erdoberfläche. Der Nettoexport von Entropie beziffert sich dann im Mittel auf $1,3 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$. (Die Differenz aus importierter und exportierter Energie ist im Mittel Null!) In diesen $1,3 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$, abzüglich $0,2 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$ für die Zusatzheizung durch den natürlichen Treibhauseffekt, ist alles enthalten, wovon nicht nur die ganze planetare Ordnung wie Wind- und Meeresströmungen lebt und profitiert, sondern auch die Biosphäre, wie überhaupt alles Höhere, einschließlich Weltwirtschaft und -kultur! Materieller Träger dieses Entropiestroms sind die 120 PW Abwärme der Erde. Man muss sie positiv sehen: Sie ist das Lösegeld, mit dem sich Natur vom Niedergang freikaufte. Keine Artenvielfalt, keine Zivilisation ohne Abwärme!

Zugegeben, die $1,3 \text{ W}/\text{K}$ sagen einem nichts. Wie sich der Kosmos-Bote hat belehren lassen, entsprechen sie etwa der Menge an Mischungsentropie, die ein Durchschnittsbundesbürger an Wasserverschmutzung anrichtet. Jeder von uns beansprucht einen Quadratmeter für sich, nur um die Mischungsentropie seines Feinmülls⁸ mittels Infrarotstrahlung ins All zu expedieren!

Wer hätte das 1902 gedacht? Gaia (die personifizierte Erde als *offenes System*) tut sich am „Schatten“ gütlich, sie vergreift sich nicht an der „Herrin“.

Sonne, Wind und Wetter

Die Erde badet im Sonnenlicht. Allerdings bekommen die Tropen mehr davon ab als die Pole. Die Abstrahlung ist besser gleichverteilt. Die Folge: Die Tropen empfangen mehr an Energie als sie abgeben, die Pole strahlen mehr ab als sie empfangen. Der horizontale Wärmeausgleich zwischen den Tropen und den Polen treibt den Wetter- und Klimamotor. In den Meeres- und Luftströmungen steckt mechanische Energie. Der Wirkungsgrad dieser „Maschine“ nimmt sich, wegen der vergleichsweise geringen Temperaturdifferenz zwischen Tropen und Polen, bescheiden aus. Er ist nicht besser als bei der Wattschen Dampfmaschine. Das ist sonderbar: Bei so viel einfallender Sonnenergie, so wenig Wind! Der Grund ist die Energieentwertung: In dem

⁸Der Grobmüll, der aus der Tonne quillt, fällt nicht ins Gewicht. Einen Tropfen Tinte aus dem Trinkwasser wieder zu entfernen, ist viel viel aufwendiger. Die Durchmischung erreicht im Falle der Tinte ja die molekulare Ebene!

Moment, wo die Photonen auf den Erdboden aufschlagen, ist es um ihre Arbeitsfähigkeit geschehen. Die in ihnen enthaltene nützliche Energie ist „vergeudet“. Es wird lediglich der Boden geheizt⁹. Die Luftzirkulation, Hoch- und Tiefdruckwirbel (auch unsere Windräder) nutzen nur noch bereits entwertete Sonnenenergie, sekundäre. Kein Wunder, dass dieses Potenzial begrenzt ist. Hoch sind die Pflanzen¹⁰ zu preisen, die die Sonnenstrahlen einfangen, bevor sie durch Bodenkontakt entwertet sind. (Der Photosynthese-Wirkungsgrad ist allerdings gering.)

Wir wissen, warum es in dieser Gegend des Alls – nahe einer Sonne – entgegen dem natürlichen Trend nicht bergab geht. Dank sei der „Photonenmühle“! Die spannendere Frage lautet: Wie konnte es, wo doch alles auf Temperaturausgleich aus ist, in einem sich insgesamt abkühlenden Kosmos punktuell zu „hot spots“, Sternen, kommen? Die Antwort dürfte überraschen. Sie hat mit der Schwerkraft zu tun.

⁹Was wir beim Sonnenbaden als wohlige Wärme empfinden, ist die Entropieproduktion beim Aufprall der Photonen auf die Haut. Der Alltagsbegriff von Wärme deckt sich in etwa mit dem physikalischen Entropiebegriff.

¹⁰Ludwig Boltzmann (1844–1906) schrieb 1905: „Der allgemeine Daseinskampf der Lebewesen ist daher nicht ein Kampf um die Grundstoffe [...] auch nicht um Energie, welche in Form von Wärme leider unverwandelbar in jedem Körper reichlich enthalten ist, sondern ein Kampf um die Entropie welche durch den Übergang der Energie von der heißen Sonne zur kalten Erde disponibel wird. Diesen Übergang möglichst auszunutzen, breiten die Pflanzen die unermeßliche Fläche ihrer Blätter aus und zwingen die Sonnenenergie in noch unerforschter Weise, ehe sie auf das Temperaturniveau der Erdoberfläche herabsinkt, chemische Synthesen auszuführen, von denen man in unseren Laboratorien noch keine Ahnung hat.“