

Liebe Leserin, lieber Leser,

ein Jahr geht zur Neige. Viel war in diesem Jahr von Sonne und Wind die Rede. Kein Wunder, es war das „Jahr der Energie“. Der Kosmos-Bote möchte da nicht abseits stehen und erlaubt sich, über Sonnenenergie nachzusinnen und darüber, wie man sie wieder los wird. (Beim Wind handelt es sich um eine Zwischenstation bei der Verwandlung der Sonnenenergie.) Energie also einmal aus globaler Sicht, der des Astrophysikers.

Die Sonne wäre auf jeden Fall dran: Vor 400 Jahren, am 8. Dezember 1610, zeichnete der Engländer Thomas Harriot in sein Notizbüchlein ein Bild der Sonne, wie es ihm sein Teleskop zeigte, – mit Sonnenflecken. Es ist die älteste erhaltene Aufzeichnung darüber aus dem Teleskopzeitalter. Ein halbes Jahr später erschien dann bereits Johannes Fabricius' Buch über Sonnenflecken. Wir kommen darauf zurück.

Eine frohe Advents- und Weihnachtszeit wünscht Ihnen

Ihr Hans-Erich Fröhlich

Der Himmel im Dezember

Am Morgenhimmel tummeln sich Venus und Saturn. Die Venus zeigt sich am 2. Dezember in ihrem größtem Glanze: $-4,6$ mag. Am 7. bekommt sie Besuch. Die japanische Venussonde Akatsuki schwenkt in eine Umlaufbahn ein. Vor 40 Jahren, im Dezember 1970, gab's mit Venera-7 die erste erfolgreiche Venuslandung!

Jupiter kann noch bis kurz vor Mitternacht gesehen werden.

Am 21. gibt's eine totale Mondfinsternis. Vollmond, also Finsternismaximum, ist 9:14 in der Frühe. Aber da ist der Mond schon untergegangen und die Sonne auf. Wir wollen uns also hier nicht zu viel von diesem Ereignis versprechen. Unter günstigen Bedingungen sollte der Eintritt in den Kernschatten gegen 7:30 zu sehen sein.

Tags darauf startet der astronomische Winter. Wintersonnenwende ist am 22. Dezember. Der Tag ist gerade 38 Minuten alt, da erreicht die Sonne, für

uns verborgen, ihren tiefsten Stand am Himmel. Danach kann es nur wieder aufwärts gehen. Die Tage werden, zunächst unmerklich, wieder länger.

Energie und Entropie

Über *Energie*, insbesondere Sonnenenergie, und die Senkung des Energie„verbrauchs“ wird derzeit viel geschrieben. Was wundert: Es ist so gut wie nie von *Entropie* die Rede¹. Der Physiklehrer, der den Kindern beibringt, dass Energie weder erschaffen, noch vernichtet werden kann, ist nicht zu beneiden! Um sich dem Sprachgebrauch anzunähern, sprechen Thermodynamiker neuerdings von *Exergie*. Das klingt wie Energie und trifft in etwa, was in der Zeitung unter dem Begriff „Energie“ läuft. Die unzerstörbare Energie ist die Summe aus *Exergie* und *Anergie*. Letzteres bezeichnet jenen Anteil, der sich prinzipiell nicht nutzen lässt und bloß die Umwelt aufheizt. Alles klar? (Das mit der Exergie und Anergie war mir auch neu.) Also willkommen im „Jahr der Exergie“!

Mit Energie„verbrauch“ ist die *Entwertung* der Energie gemeint. Die Energie ist nach wie vor vorhanden, bloß anfangen kann man nichts mehr mit ihr. Sie ist wertlos geworden – Anergie.

Stellen Sie sich vor, Sie mischen kaltes Wasser mit heißem. Die Gesamtenergie ändert sich dadurch nicht. Und trotzdem ist etwas verloren gegangen. Sie hätten ja vor dem Mischen durch Ausnutzung des Temperaturunterschieds mittels eines Thermoelements elektrischen Strom erzeugen können. Das geht nun nicht mehr. Hausmüll ist ein weiteres Beispiel für Mischentropie. Ist erst einmal alles zusammen in der Tonne gelandet, ist es zu spät. Der Aufwand des Trennens ist immens, zumal, wenn es sich um Klein- und Kleinstteile handelt. (Bei der Aktenvernichtung ist genau dies gewollt: Unumkehrbarkeit.)

Das Maß für die Energieentwertung, die Unfähigkeit, Arbeit zu verrichten, aber ist die Entropie. (Nun wissen Sie, warum von Entropie zu reden sich nicht schickt. Alles negativ besetzt: „Entwertung“, „Unfähigkeit“, „Arbeit“!) *Mehr muss man über Entropie nicht wissen!* Dem französischen Wärmetechniker Nicolas Léonard Sadi Carnot (1796–1832) war klar, dass Energie nicht gleich Energie ist. Es gibt *nutzbare* und nicht nutzbare. Die 1 1/2 Billionen

¹Natürlich kann man sachlich über Energie reden, ohne den Begriff „Entropie“ in den Mund zu nehmen. Die Scheu ist aber unbegründet, es sei denn man befürchtet, es hört einem dann keiner mehr zu.

KWh, die, wie man seit Einstein weiß, jeder von uns mit sich herumschleppt – der eine mehr, der andere weniger –, sind offenbar niemandem von Nutzen. Auch nicht nutzbar: Die Wärmeenergie der Ozeane. Das ist schade. Um den gegenwärtigen Weltprimärenergiebedarf zu decken, reichte es rechnerisch aus, die Wassermassen um jährlich 0,0002 Grad abzukühlen.

Der Entropiebegriff geht auf den Physiker Rudolf Clausius (1822–1888) zurück. Er erfuhr verschiedentlich Erweiterungen, u. a. von Ludwig Boltzmann (1844–1906), und wird heute auch außerhalb von Thermodynamik und statistischer Physik angewendet, z. B. in der Informationstheorie. Dahinter verbirgt sich nichts Geheimnisvolles, noch gar Mystisches. Boltzmanns Entropie beziffert, lax formuliert, die *Unordnung* eines Systems. (Wie man Unordnung mathematisch fasst, ist das Problem!) Nehmen Sie Wasser. Sie erhitzen es. Die Temperatur steigt. Sie erhitzen es auf 100°C und führen unentwegt weiterhin Wärme zu. Die Temperatur bleibt bei 100°C bis Sie alles Wasser in Wasserdampf verwandelt haben. Die Wärme, die Sie aufgewendet haben, ist in thermische Bewegung der Gasteilchen überführt worden. Die Unordnung ist größer als vorher, die Entropie von Wasserdampf übersteigt die von flüssigem Wasser. (Die Entropiezunahme ist in diesem Fall Verdampfungswärme geteilt durch Siedetemperatur (in Kelvin).) Pflanzen kennen den Entropieunterschied zwischen flüssigem und gasförmigem Wasser. Photosynthese schafft mittels Sonnenlicht Ordnung: Aus vielen kleinen Molekülen, Kohlendioxid und Wasser, entsteht ein großes, das Makromolekül Kohlenhydrat (Zucker, Stärke, Zellulose). Das Herstellen von Ordnung wider den gewöhnlichen Gang der Dinge – Unordnung entsteht von selbst – ist nicht umsonst. Die Pflanze zahlt mit Entropie. Mit dem Wasserdampf wird sie ausgeschieden. „Tiere“ kennen diesen Trick auch. Einsteins Ente zum Beispiel. Diese Miniwärmekraftmaschine nutzt Verdunstungskälte. Auch sie „lebt“ vom Entropieexport durch verdunstendes Wasser.

Vermutlich ist dies der grandioseste Einfall überhaupt: Erschaffen und Erhalten von Strukturen hohen Organisationsgrades durch Entäußern von Entropie. Oder auf gut Deutsch: Um Ordnung zu erzeugen, muss ein Mehr an Unordnung in Kauf genommen werden. Damit hat sich das Leben aus dem Sumpf gezogen. Der Preis dieser Wertschöpfung: Entropiemüll.

Erwin Schrödinger, der Quantenphysiker, hat es 1944 in seinem Buch „Was ist Leben?“ auf den Punkt gebracht: „Negative Entropie – das ist es, wovon der Organismus lebt. Oder, um es weniger paradox zu formulieren, das wesentliche am Stoffwechsel besteht darin, dass es dem Organismus gelingen

muss, sich all der Entropie wieder zu entledigen, die er gezwungen ist zu produzieren, solange er lebt.“

Mit der Entropie hat die Physik des 19. Jahrhunderts das Tor zur wirklichen Welt aufgeschlagen. Solange wir einzelne Teilchen und ihre Wechselwirkung betrachten, ist die Zeit umkehrbar. Alle Elementarvorgänge sind zeitsymmetrisch. (Das gilt selbst für die Ausbreitung von Licht.) Erst beim Zusammenspiel sehr sehr vieler Teilchen, entstehen Zeitpfeil und Vergänglichkeit, macht sich der Trend zu wachsender Unordnung bemerkbar. Der Erde als Massepunkt im Sonnensystem ist es egal, wieherum die Zeit verläuft. Die Keplerschen Gesetze gelten auch bei Zeitspiegelung. Der Himmelsmechaniker braucht den Entropiebegriff nicht. Aber auf und in der Erde ist es nicht mehr egal, weil hier das unentwirrbare Zusammenspiel von Myriaden von Kräften die Szene beherrscht. Einen Film vom Planetensystem können Sie rückwärts laufen lassen, es fiel niemandem auf. Ein Film, der den Alltag zeigt, wirkte, rückwärts abgespult, sofort unnatürlich, sogar komisch.

Doch zurück zu Carnot, der wissen wollte, inwiefern sich die Dampfmaschine prinzipiell verbessern lässt. Außer jenen 45 Seiten „Betrachtungen über die bewegende Kraft des Feuers und über Maschinen, die diese Kraft entwickeln können“ hat Carnot nichts hinterlassen. Er starb mit 36 Jahren. Was er herausfand? „Es genügt nicht, Wärme zu erzeugen, um das Auftreten einer bewegenden Kraft hervorzurufen: Man muss noch Kälte hinzufügen, ohne sie bliebe die Wärme nutzlos.“ In Gestalt ästhetisch geschwungener Kühltürme bei konventionellen Kraftwerken ist diese Erkenntnis heutzutage überall in der Industrielandschaft augenfällig – und sogar anstößig: „Was für eine Verschwendung!“, mag manch einer denken, „Zwei Drittel der Wärmeenergie gehen in die Luft!“.

Was hat Carnot damit gemeint, Kälte sei vonnöten, um Wärme zur Erzeugung von mechanischer Energie zu nutzen?

Von der Verwandlung des Sonnenlichts

Dazu ein Gedankenexperiment aus meinem Metier, der Astronomie: Mehr Sonne stillte doch den Energiehunger des Planeten, oder? Wir treiben es gleich auf die Spitze: Pflastern wir doch in Gedanken den Himmel voll mit Sonne, lassen keinen Quadratzentimeter Himmel aus. Das niederschmetternde Ergebnis: Wir könnten mit der Energie von nunmehr 52 000 Sonnen rein gar nichts anfangen. Es wäre nämlich überall gleich heiß, wohlige 5780 Grad,

nirgends Kälte. Der Wirkungsgrad unserer Wärmekraftanlagen erreichte Null Prozent². Warum funktioniert es mit nur einer Sonne besser? Weil sich zur 5780 K heißen Sonne, die aus einer Richtung scheint, der 3-Grad (Kelvin!) kalte Weltenraum um uns herum auftut!

Das funktioniert so. Die Sonnenstrahlung, die mit der Erde kollidiert – ein Zweimilliardstel ihrer Gesamtstrahlung –, kommt aus nur einer Richtung. Die Sonne ist ein kleiner Fleck am Himmel. Außerdem ist Sonnenlicht, nach der Energie der Photonen zu urteilen, heiß. Beides trägt zur Entropiearmut einfallender Sonnenstrahlen bei: ein geordneter Strom von (vergleichsweise!) wenigen Photonen. Der Physiker spricht von einer extrem verdünnten heißen Wärmestrahlung. Unordnung sähe anders aus. Da kämen die Photonen aus beliebigen Richtungen. Sonnenlicht hingegen ist ein hochgradig geordneter Photonenstrom, mithin nützlich. Auch für den Menschen: Möglicherweise bis zu 80% lassen sich in entropiefreie Elektroenergie überführen! Davon vermögen Betreiber von Fotovoltaik-Anlagen allerdings nur zu träumen. Wird elektrischer Strom in einem Sonnenkraftwerk über Heißdampf erzeugt, ist der Wirkungsgrad geringer.

Was geschieht weiter mit der Sonnenenergie?

Egal, welche Verwandlung sie noch erleiden mag – ob als Wind, ob als Kohlenhydrat –, sie endet in Wärme und heizt Erdoberfläche und Erdatmosphäre. Auch der von uns Menschen genutzte Anteil wird, sofern er nicht als Licht- und Radiostrahlung in den Weltenraum entweicht, durch Reibung in Wärme umgewandelt.

Eine warme Oberfläche strahlt. Im Falle der Erde ist es Infrarotstrahlung mit einer Temperatur von 255 K. Sie verlässt die Erde, weil der Weltenraum noch viel kälter ist. Auch Strahlung strömt vom Heißen zum Kalten.

Was hat sich beim Durchlaufen dieser Umwandlungskette geändert? Der Energiebetrag von 167 PW³ ist es nicht. Die Erde gibt auf Heller und Pfennig genau das an Watt ab, was sie an Watt von der Sonne erhält. Alles andere wäre über kurz oder lang eine Katastrophe, wie bereits 1827 Jean-Baptiste Joseph Fourier (1768–1830) wusste. Es ist die *Qualität* der Energie, ihre Fähigkeit, Arbeit zu verrichten! Die irdische Wärmestrahlung ist entropie-

²Aus dem gleichen Grund kann ein Schiff, das über die Weltmeere schippert, nicht vom Wärmeverrat der Ozeane profitieren. Patentämter wissen ein Lied davon zu singen. Es hat sich immer noch nicht herumgesprochen, dass es kein Perpetuum mobile 2. Art geben kann.

³1 Petawatt = 1000 000 000 MW

reich: Sie entweicht (a) in *x-beliebige* Richtung und die Anzahl der Photonen hat sich (b) verzwanzigfacht! Es handelt sich um wertlose *Abwärme*.

Sie haben von der Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) gehört und widersprechen mir? Nun, der Trick dabei ist, man nimmt eine *Verschlechterung* des Wirkungsgrads bei der Verstromung in Kauf, weil der Nutzungsgrad, die Ausnutzung des Energieträgers, sich verbessert. Strom und Wärme getrennt zur Verfügung zu stellen, soll teurer kommen.

Übrigens, der KWK-Trick ist so neu nicht. Nur durch ihn ist die Erde wohnlich! Dazu muss ich ein wenig ausholen. 30% der Sonneneinstrahlung werden sofort in den Weltenraum reflektiert. Die restlichen 70% müssen als Wärmestrahlung wieder abgegeben werden. Dazu müsste die Oberflächentemperatur bei 255 K liegen, das sind -18°C ! Da das für uns zu kalt wäre, hat sich die Erde eine Art „Pelzmantel“ zugelegt: eine wärmeisolierende Wasserdampfhülle. Der Wirkungsgrad der Wärmekraftmaschine Erdhaut sinkt dadurch zwar etwas, aber dafür ist es nun über 30 Grad wärmer.

Ein Rätsel ist immer noch, wieso die Erde früher nicht total vereist gewesen war. Die Sonne hatte vor einer Milliarde Jahren noch nicht ihre heutige Leistung. Vielleicht war Methan (CH_4) der Stoff, aus dem der damalige Pelzmantel bestand.

Wie ich las, entfallen 15% der Gesamtentropieproduktion des Planeten auf diesen *Treibhauseffekt*. Er ist ein Hauptentwerter von Sonnenenergie!

Entropie und Ökologie

Wenn sich durch Reibung unvermeidlich alle Energie schleichend *entwertet* und zu Wärme wird, heißt das nicht, der „Wärmetod“ steht bevor? Diese Frage stellte man sich Ende des 19. Jahrhunderts. Das 20. hatte die Antwort darauf parat: Passiert nicht, weil sich das Universum ausdehnt. In dem größer werdenden Universum versickert der Wärmeabfall. Das All ist eine einzige Entropiedeponie⁴! Es verhindert, dass wir am Entropiemüll ersticken. Das All ist lebenswichtig!

⁴Nahezu die gesamte Entropie des Universums steckt in der Hintergrundstrahlung. Das ersieht man schon an den Anzahlen: Auf jedes Proton oder Neutron entfallen eine Milliarde Photonen der Hintergrundstrahlung! In dem Maße, in dem die Temperatur der Hintergrundstrahlung fällt, erhöht sich die generelle Unordnung. Im Gegenzug kann in auserwählten Regionen Ordnung entstehen.

Es gab zumindest einen Nobelpreisträger, der meinte, der Zweite Hauptsatz der Thermodynamik, wonach in einem abgeschlossenen System die Entropie nur zunehmen⁵ kann, niemals abnehmen, sei für alles Höhere (Leben, Technik, Wirtschaft, ...) wichtiger denn der Erste, der von der Erhaltung der Energie handelt.

Da ist was daran: Wie jedermann weiß, geht im Laufe der Zeit alles den Bach runter, *arbeitet* man nicht wider den Verfall: Man isst entropiearme Kost, räumt auf, bessert das Dach aus, mäht den Rasen, sortiert den Müll usw. All dies gegen den Wandel stemmen kostet etwas. Wir wenden (vermutlich überproportional) viel Energie nur zum Erhalt des *Status quo* auf (und altern trotzdem)! Bezahlt wird mit Entropieexport. Kurz: Müll (Abwärme, Abfall) ist unabdingbar. Sammeln, Sortieren, Recyceln bedeutet Veräußern von Entropie, also letztlich Erzeugung von nicht weiter nutzbarer Abwärme (Müllverbrennung). Um zu funktionieren, muss auch ein Wirtschaftssystem Entropie exportieren, das Tohuwabohu draußen vergrößern. Ein geschlossener Stoffkreislauf ist möglich – die Biosphäre führt uns das ja vor –, aber nur unter Aufwand: Entäußerung von Abwärme! Wohin damit? Dorthin, wo auch die Sterne ihre Strahlung entsorgen: Endstation Weltall. Das Problem: Die Erde muss den Abtransport⁶ bewältigen! Sie hat keine Kühlrippen, die in den kalten Weltenraum ragen! Der Wohlstandsbürger von heute dürfte dutzendmal mehr Entropie produzieren als sein biologischer Stoffwechsel! Das will abtransportiert sein. (Das ist keineswegs anklagend gemeint! Eine gewisse „Verschwendung“ eignet allen Lebensvorgängen. Denken Sie an den Luxus der Mobilität. Geistige Produktion ist davon nicht ausgenommen. Selbst der harmlose Kosmos-Bote erhöht noch die Entropie in der Landschaft – beim Schreiben wie beim Lesen.)

Wo führt das hin?

Eine 50 Jahre alte Suchstrategie (SETI) für Super-Zivilisationen im Weltenraum lautet: Halte Ausschau nach „Entropieschleudern“ kosmischen Ausmaßes! Der rationale Kern: boomende Geschäftigkeit, der heilige Gral der Moderne, äußert sich zwangsläufig in Entropieexport!

⁵Die Entropie ist statistischer Natur. Schwankungen sind im mikroskopisch Kleinen erlaubt – der blaue Himmel beruht darauf! – makroskopisch ist der 2. Hauptsatz unumstößliches Gesetz!

⁶Laut Internet beläuft sich der Primärenergie„verbrauch“ der Menschheit auf (2009) 0,015 PW, einem Zehntausendstel der Sonneneinstrahlung! Dem steht eine Entropieproduktion von ca. 50 GW/K gegenüber.

Und die Informationsgesellschaft? Auch EDV zeitigt Abwärme, notgedrungen: Entropie und Information sind laut Claude E. Shannon (1916–2001) nicht zu trennen. Wenigstens das Löschen eines Bits im Rechenwerk, beispielsweise bei der Fehlerkorrektur, ist unumkehrbar und erhöht die Entropie in der Umwelt! Die tatsächliche Abwärme liegt, technisch bedingt, weit über dem Unabwendbaren. Ich sah das Bild eines Hochleistungsrechenzentrums im Internet. Apokalyptisch die Wolke darüber – wie bei einem Kraftwerks-Kühlturm!

„Entropieeffizienz“ ist ein Wort mit Zukunft. Ich hatte mir in Goslar die Erztrennung im Weltkulturerbe-Bergwerk Rammelsberg angesehen. Impionierend, gewaltig! Ich war hingerissen. Anlagen zur Anreicherung und Stofftrennung sind gewaltige Entropiequellen. Da erhebt sich wie von allein die Frage, wieviel davon vermeidbar wäre, die Frage nach der Entropieeffizienz? Liegt sie bei 0,1 oder gar bei 0,001?

Der Entropiebegriff ist das Geschenk der Physik an die Geoökologie. Er ist universell, weil er gleichermaßen die Entwertung von Energie- *und* Stoffströmen umfasst. Denken Sie nur an die Wasser„entwertung“ durch Verschmutzung (Mischungsentropie!). Die Quintessenz der Entropiebetrachtung: Abwärme lässt sich nicht vermeiden, sollte aber womöglich auf das Unvermeidliche beschränkt werden.

Von Kernfusion und Windkraft

Ortswechsel. Zurück zur Sonne, genauer: der Herkunft ihrer Energie. Die kontrollierte Kernfusion könnte eines Tages eine nahezu unerschöpfliche Exernergiequelle werden, sofern sie politisch auf Akzeptanz stößt. Technisch wird sie gemeistert werden. Irgendwann. Das steht außer Frage. (Aber auch aus Kernenergie wird letztlich Wärme, die raus in den Weltenraum muss.)

Holen wir wirklich „das Feuer der Sonne auf die Erde“, wie man in einer Sonderausgabe zum Tag der Energie, dem 25. September, lesen konnte? Das nun nicht. Den ersten Schritt bei der Freisetzung von thermonuklearer Energie im tiefen Innern der Sonne, die Bildung von schwerem Wasserstoff, Deuterium, den übergehen die Fusionsheizer. Es wird von vornherein Deuterium (und später überschwerer Wasserstoff, Tritium) als Brennstoff verwendet. Physikalisch gesehen – nicht technisch! – ist die Verschmelzung von jeweils zwei Deuteriumatomkernen (bzw. von Deuterium und Tritium) zu einem Heliumatomkern unproblematisch. Das läuft faktisch bei Temperaturen um

100 Millionen Grad von selbst. Hier wirkt die starke Kernkraft. Die Herstellung von Deuterium aus zwei Protonen hingegen, dem Ausgangsmaterial, ist der schwachen Kernkraft geschuldet, sprich der Radioaktivität. Die spontane Umwandlung eines Protons in ein Neutron ist beliebig unwahrscheinlich. (Das Neutron ist schwerer als das Proton!) Deshalb lebt die Sonne so lange! Diese Verwandlung soll so selten sein, dass sie bisher in keinem kernphysikalischen Labor messbar ist. Im Innern der Sonne ist dieser Vorgang genauso unwahrscheinlich, aber die Sonne enthält so viele Protonen, dass auch das Unerlaubteste hinreichend oft geschieht.

Die Sonne verwandelt sekundlich 564 Millionen Tonnen Wasserstoff in Helium. Es entstehen allerdings nur 560 Millionen Tonnen von diesem „Sonnenstoff“. (Das Wort „Helium“ geht auf Helios zurück. Das Edelgas wurde zuerst auf der Sonne entdeckt, danach erst auf der Erde.) Und der Rest? Vier Millionen Tonnen verliert die Sonne in jeder Sekunde in Form von Strahlung. Auf dem Weg nach draußen hat die Strahlung schon enorm an Entropie zugenommen. Was die Sonne verlässt, ist bereits *entwertet*. Transportentropie⁷ nennt man das. Außerdem wird unter der Sonnenoberfläche, dort, wo es brodeln, Schwerstarbeit verrichtet (allerdings nicht von der Strahlung). Die Sonnenkonvektionszone ist eine Wärmekraftmaschine mit angekoppeltem Dynamo. Dort wird irgendwo das magnetische Wechselfeld der Sonne generiert, das den Sonnenfleckenzyklus treibt.

Doch zurück zur Erde. Wir wollten noch etwas zum Wind sagen, dem „himmlichen Kind“!

Schaut man in die Bilanzen, zeigt sich, dass die Tropen mehr Sonnenenergie abbekommen als sie im Langwelligen in den Weltraum abgeben. Bei den Polen ist das umgekehrt. Also muss sich ein meridionaler Wärmestrom durch Luftozean und Weltmeere vom Äquator zu den Polen ergießen. Er soll maximal fünf Petawatt⁸ ausmachen. Es ist dieser Wärmeausgleich, der die Wind- und Wasserzirkulation unseres Planeten treibt. Ohne ihn gäb's kein Wetter! Technisch gesehen eine Wärmekraftmaschine: Wärme wird teilweise in mechanische Energie verwandelt: Wind, Strömungen, Wellen, ...

Vor einem halben Jahrhundert meinte der „Vater des deterministischen Chaos“ und des „Schmetterlingseffekts“, der Meteorologe Edward N. Lorenz

⁷Sie kennen das von der Wärmedämmung Ihres Hauses: Jede Wand verwandelt nützliche Wärme in nutzlose!

⁸In Jena wird an einem PW-Laser gebaut, der hinsichtlich der Leistung da herankommt, allerdings nur im Impulsbetrieb, für maximal 0,000 000 000 000 001 Sekunden.

(1917–2008), diese Maschine arbeite „unter Volldampf“, sie maximiere Arbeitsleistung und Entropieproduktion. Diese sog. MEP-Hyptothese ist unter Klimatologen umstritten. Glaubt man den Befürwortern, trifft sie aber auch auf Mars und den Saturnmond Titan zu. Sogar die Mantelkonvektion unter unseren Füßen, die Kontinente verschiebt, soll Entropiemaximierung betreiben! Einen *richtigen*, physikalischen Grund für MEP gibt es nicht, aber womöglich einen statistischen: Der Zustand maximaler Entropieproduktion mag einfach der wahrscheinlichste sein.

Indem wir Windräder errichten, die dem Ausgleich Widerstand entgegensetzen, zweigen wir ein wenig⁹ davon für uns ab und verstromen es.

Dass wir die Sonne für uns arbeiten lassen, ist nicht verwerflich. Doch machen wir uns nichts vor: Die Entsorgung der Sonnenenergie, ihre Verwandlung durch Reibung in Wärme, geschieht nicht dort, wo dies ohne unser Zutun geschähe. Was wir auch tun, wir greifen in den Energiehaushalt des Planeten ein.

⁹Gegenwärtig etwa 0,04 TW. Die installierte Leistung lag Ende 2009 bei 0,16 TW.