

Mensch und Umwelt II

Karl-Otto Eschrich

Seit der Entstehung der Erde vor etwa 4,7 Milliarden Jahren unterliegt sie einer steten Wandlung. Das wohl bedeutendste Merkmal gegenüber den Nachbarplaneten ist die Herausbildung der Biosphäre, also des Bereiches, welcher das Leben ermöglicht, erhält und sich dadurch verändert. So, beispielsweise, gab es vor zwei Milliarden Jahren in der Erdatmosphäre keinen Sauerstoff. Er wurde von niederen Lebewesen, Bakterien, als ein für diese giftiges Ausscheidungsprodukt, erzeugt. Dadurch wurden andere Lebensformen ermöglicht, ebenfalls Bakterien, aber auch Pflanzen, die ihrerseits den Anteil des Sauerstoffs in der Atmosphäre vergrößerten und somit die Entstehung der Tierwelt ermöglichten. Im Verlaufe einiger Milliarden Jahre hat sich aus "toter" Materie die heutige Lebenswelt entwickelt. In der frühen Phase der Entwicklung nicht zu unterschätzen ist die Wirkung von Pilzen, beispielsweise bei der Zersetzung von Gestein. Insgesamt ist aus einem wenig geordneten Zustand im Laufe der Zeit aus einem nahezu chaotischen Teil der Erde nicht nur der hochgradig geordnete, strukturierte Bereich der Biosphäre entstanden, sondern weit ins Innere der Erde reichende Anhäufungen bestimmter Stoffe (Lagerstätten von Erzen oder Erdöl), Meeresströmungen und Schichtungen und Strömungen der Lufthülle. Der (eigentliche) Antrieb dieses Prozesses kommt jedoch nicht aus dem Planeten Erde selbst, sondern ist zuallererst durch die Lichtstrahlung der Sonne verursacht.

Diese Sonnenstrahlung beinhaltet einen, allgemein bekannten, Wärmestrom. Als wichtigstes jedoch mit ihr verbunden ist ein Strom der Ordnungsgröße. Das muss etwas erläutert werden. In der Chemie und der Physik bezeichnet man diese Ordnungsgröße als Entropie. Die Entropie ist eine thermodynamische Zustandsgröße wie Temperatur, Druck, Dichte (oder Volumen), aber auch bei Gemischen verschiedener Stoffe deren chemische Potentiale. Alle Materie besitzt diese Zustandsgrößen, gleichgültig von deren Aggregatzustand fest, flüssig oder gasförmig. Aber nicht nur diese stoffliche Materie, sondern auch die „unstoffliche“ Materie, die keine Ruhmasse, genauer gesagt keine Ruheenergie, besitzt, wie das Licht, hat bestimmte Werte ihrer Zustandsgrößen (genauer gesagt nur im thermischen Gleichgewichtszustand oder in dessen Nähe). Das Licht, bestehend aus Photonen, hat gleichsam eine Temperatur (gleich der des erzeugenden Strahlers), einen Druck, eine Dichte (oder Volumen) und selbstverständlich eine Entropie.

Grundlagen

Um die Bedeutung der Entropie zu veranschaulichen seien zwei Beispiele genannt. Zum einen wird ein Gefäß mit kleinen Bällen betrachtet. Die Bälle seien bis auf ihre Farbe alle gleich (Material, Größe, Masse), sie haben jedoch zwei unterschiedliche Färbungen. Sie liegen alle im Behälter, ihre Anordnung darin kann jedoch ganz verschieden sein, zum Beispiel sortiert in einer bestimmten Anordnung oder vollkommen durcheinander. Auf jeden Fall besitzt die ungeordnete Lage der Bälle die höchste Entropie und jede spezielle Sortierung hat ihr kleineres spezielle Maß an Entropie. Im zweiten Beispiel wird ein abgeschlossenes Gefäß mit einer beweglichen Trennwand betrachtet, etwa einer drehbaren Klappe. Zu Beginn ist die Trennwand geschlossen und in jedem Teil des Gefäßes befindet sich ein anderes, aber gleich „schweres“ Gas (oder eine andere Flüssigkeit, die jedoch beide mischbar sein sollen). Wird die Trennwand geöffnet, werden sich beide Gase (oder Flüssigkeiten) mischen. Dieser gemischte Zustand hat eine größere Entropie als der mehr geordnete ursprüngliche Zustand. In beiden Beispielen lässt sich der geordnetere Zustand niedriger Entropie nur durch Eingriffe von „Aussen“ wieder herstellen. So etwas kennt man vom Kühlschrank. Ist er innen kühler als der Raum, in dem er steht, wird er im ausgeschalteten Zustand im Laufe der Zeit innen wärmer, bis sich die Temperaturen angeglichen haben. Der Zustand höchster Entropie ist erreicht. Nur

durch Zufuhr elektrischen Stromes, der einen hohen Ordnungszustand besitzt, kann die Temperatur im Inneren des Kühlschranks wieder unter die Temperatur des Raumes, der dabei übrigens erwärmt wird, abgesenkt werden.

Bei der Betrachtung von Strukturen ist es umständlich den Begriff der Entropie zu gebrauchen. Es ist praktikabler im Zusammenhang mit den Begriffen Ordnung oder Struktur mit dem negativ genommenen Wert der Entropie S , der Negentropie \hat{S} , umzugehen. Im Falle $\hat{S} = 0$ ist die Grösse der Ordnung 0, also keine Ordnung bzw. der Zustand maximaler Unordnung mit dem Höchstwert an Entropie S_{\max} . Es wäre demnach $\hat{S} = S_{\max} - S$ oder für die Änderungen $\Delta\hat{S} = -\Delta S$.

Je höher der Wert der Negentropie ist, um so geordneter oder strukturierter ist der Zustand eines Systems (Körpers, Gegenstandes, ...). Ein Lebewesen muss zu seiner Existenz Entropie abgeben oder andersherum Negentropie aufnehmen (natürlich in Form bestimmter Materie, denn Entropie und Negentropie selbst sind keine Materie).

Es gibt allerdings verschiedene Definitionen von Negentropie, die jedoch die gleiche Bedeutung haben.

In der Thermodynamik wird die Wärmemenge Q eines thermodynamischen Systems um ΔQ bei seiner Temperatur T vergrössert, wenn die Entropie S um ΔS erhöht wird (dies gilt nur für kleine Erhöhungen, ansonsten muss über dS integriert werden). Dies wird durch die einfache Formel $\Delta Q = T \cdot \Delta S$ ausgedrückt. Dabei muss das Volumen konstant bleiben oder es gibt zusätzliche Terme. Ebenso darf sich bei einem Gemisch von Stoffen deren Zusammensetzung nicht ändern, sonst würde sich dadurch dessen Entropie ändern.

Es gilt natürlich auch die Umkehrung: $\Delta S = \Delta Q/T$, die Entropie S eines Systems wird durch die Zufuhr einer Wärmemenge ΔQ bei seiner Temperatur T um ΔS erhöht. Entsprechend führt der Entzug von Entropie zu einer Reduzierung der Wärmemenge, bzw. der Entzug einer Wärmemenge zu einer Reduktion der Entropie. Dieses soll hier nicht weiter erläutert werden; bei WIKIPEDIA kann man sich darüber genügend informieren.

Die Zustandsgrössen können durch eine atomistische Betrachtung veranschaulicht werden. Ein thermodynamisches System besteht aus Atomen oder Molekülen, die sich nicht in Ruhe befinden, sondern bewegen. Ihre Bewegungsenergie ergibt die Temperatur, die Stösse auf eine Begrenzung ergibt den Druck und deren Anzahl pro Volumeneinheit die Dichte bzw. die Gesamtzahl der Atome/Moleküle das Volumen. Aus der Verteilung ihrer Geschwindigkeit kann die Entropie des Systems bestimmt werden.

Wesentlich für die nachfolgende Betrachtung ist noch der Betrag der Energie/Wärmemenge durch die Abstrahlung von Licht. Bei einer ideal schwarzen Fläche der Größe A und der Temperatur T des Körpers wird durch das Licht die Energie E pro Zeiteinheit s , also die Strahlungsleistung P in das umgebende Vakuum zu $P = \sigma \cdot A \cdot T^4$ abgestrahlt, σ ist eine diesbezügliche Naturkonstante (Stefan-Boltzmann-Konstante), mit $\sigma \approx 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2/\text{K}^4$. Trifft das abgestrahlte Licht auf einen Körper, so wird ein Teil dessen aufgenommen und in Wärme ΔQ (pro Zeit) umgewandelt, der restliche Teil wird reflektiert. Gemäss seiner Temperatur T strahlt er Licht der Strahlungsleistung P und der Entropie pro Zeit ΔS wieder ab. Nach einer gewissen Zeit stellt sich ein thermisches Gleichgewicht ein, seine Temperatur nimmt also nicht mehr zu und die abgegebene Wärmemenge ist gleich der aufgenommenen ΔQ_0 . Diese Gleichgewichtstemperatur T_0 ist also die höchste Temperatur des Körpers beim Wärmestrom P_0 .

Ist die bestrahlte Fläche ein Teil der Oberfläche eines Körpers, so trifft dies nur dann zu, wenn auf den unbestrahlten Seiten kein Licht abgestrahlt wird. Was nur möglich ist, wenn dort die Temperatur $T = 0$ ist, ihren absoluten Nullpunkt hat. Dies ist ein idealisierter, transzendentaler Wert, der niemals erreicht wird (dritter Hauptsatz der Thermodynamik).

Ein einfacher, aber realistischer Fall ist ein flacher Körper, eine Platte, ohne nennenswerte seitliche Abstrahlung. Hat er auf der Rückseite die gleiche Temperatur T_0 wie auf der vorderen bestrahlten Seite, so wäre im thermischen Gleichgewicht die gesamte abgestrahlte Wärmemenge ebenfalls gleich der aufgenommenen. Die Rückseite des Körpers

hätte das gleiche Flächenmaß A wie die Vorderseite und würde die Hälfte der vom Körper aufgenommenen Wärmemenge abstrahlen. Daraus folgt $T_0^4 = T_Q^4/2$, oder $T_0/T_Q = 1/2^{1/4} \approx 1/1,189 \approx 0,8409$. Dies stellt im Vergleich zum allgemeinen Fall den grössten Wert der Temperatur auf der Rückseite und den kleinsten Wert auf der Vorderseite des Körpers dar. Wie gross aber ist nun im Wärmegleichgewicht die abgestrahlte Entropie im Vergleich zur aufgenommenen $\Delta S_Q = \Delta Q_Q/T_Q$? Sie ist für die vordere wie für die rückwärtige Seite des Körpers jeweils $\Delta S = \Delta Q_0/T_0$, insgesamt also $\Delta S_0 = 2 \cdot \Delta Q_0/T_0$, somit ist $\Delta S_0/\Delta S_Q = T_Q/T_0 = 2^{1/4} \approx 1,189$. Die abgestrahlte Entropie eines idealen Schwarzen Strahlers pro Zeiteinheit ist um den Faktor $2^{1/4} \approx 1,189$ grösser als die aufgenommene. Die Entropie des Körpers würde in diesem Fall stetig abnehmen, wenn auf ihm keine weiteren, andersartigen Prozesse ablaufen würden. Was bedeutet das? Es müssen dann auf und im Körper Strukturen entstehen und je nach seiner Zusammensetzung müssten chemische Reaktionen ablaufen, die neue chemische Verbindungen, die dort vorher nicht vorhanden waren, erzeugen. Nur so können organische Stoffe und letztlich erste Lebewesen entstehen. Auf Sternen würden wegen der hohen Temperaturen nicht chemische, sondern Kern- oder gar Elementarteilchenreaktionen ablaufen.

Im Allgemeinen ist die Temperatur des Körpers auf der bestrahlten Seite T_2 und auf der unbestrahlten Seite T_1 . Offensichtlich bildet sich in einem Gleichgewichtszustand auf der Oberfläche des Körpers eine bestimmte Verteilung der Temperatur heraus. T_2 und T_1 stellen gemittelten Werte dar, die sich aus dem Wärmegleichgewicht einstellen. Und selbstverständlich ist T_2 grösser als T_1 und damit unterscheidet sich auch der jeweils abgegebene Wärmestrom ΔQ_2 und ΔQ_1 , der zusammengenommen dem aufgenommenen entspricht, solange es keine weiteren Wärmequellen auf dem Körper gibt. Für die Temperaturwerte ergibt sich die Ordnung: $0 < T_1 < T_0 < T_2 < T_Q$. Im energetischen Gleichgewicht muss die Summe der abgestrahlten Energieströme P_1 und P_2 dem aufgenommenen Energiestrom P_Q entsprechen, woraus $T_1^4 + T_2^4 = T_Q^4$ folgt. Für die Entropie hingegen ist $\Delta S_1 + \Delta S_2 > \Delta S_Q$, was man erkennt, wenn die Beziehung $\Delta S = \Delta Q/T$ mit dem zugehörigen Index eingesetzt wird: $\Delta Q_1/T_1 + \Delta Q_2/T_2 > \Delta Q_Q/T_Q$. Multipliziert man diese Ungleichung mit T_Q , so erkennt man sofort ihre Richtigkeit, da $\Delta Q_1 + \Delta Q_2 = \Delta Q_Q$ und stets $T_Q/T_1 > 1$ und $T_Q/T_2 > 1$ ist gilt: $\Delta Q_1(T_Q/T_1) + \Delta Q_2(T_Q/T_2) > \Delta Q_Q$.

Eine Gleichung erhält man, indem im oder auf dem Körper Veränderungen geschehen die eine Zunahme der Entropie um ΔS_x (bei der Temperatur T_x) bewirken, ohne dass dabei Wärme entsteht oder verbraucht wird. Dann ist $\Delta S_x T_Q = \Delta Q_1 (T_Q/T_1 - 1) + \Delta Q_2 (T_Q/T_2 - 1)$, denn die (zuviel) abgestrahlte Entropie wird im Entropiegleichgewicht durch nichtthermische Vorgänge auf dem Körper mit $\Delta S_x > 0$ kompensiert. Strukturen, wie sie entstehen, zerfallen wieder.

Durch menschliche Tätigkeit können auf dem Körper Prozesse in Gang gesetzt werden, bei denen Wärme ΔQ_i bei der Temperatur T_i entsteht, wenn auch nur als Abwärme. Dann kommt zu der Gleichung noch ein Glied $\Delta S_i \cdot T_Q = \Delta Q_i \cdot (T_Q/T_i)$ hinzu. Das bedeutet aber auch eine Verletzung des thermischen Gleichgewichtes – die Temperatur des Körpers würde zunehmen. Ein Teil der Entropie ΔS_x kann von ΔS_i übernommen werden:

$$\Delta Q_i \cdot (T_Q/T_i) + \Delta S_x T_Q = \Delta Q_1 (T_Q/T_1 - 1) + \Delta Q_2 (T_Q/T_2 - 1). \quad (*)$$

Dies ist die grundlegende Beziehung für die Herstellung eines Gleichgewichtes der Entropie eines bestrahlten Körpers, indem mit der Zunahme der Entropien ΔS_x und $\Delta S_i = \Delta Q_i / T_i$ die gesamte Entropie unverändert bleibt. Daraus folgt aber, wenn auf einem Körper bestimmte Strukturen entstehen oder auch nur erhalten bleiben sollen, darf es kein Entropiegleichgewicht geben. Es muss eine Ungleichung vorliegen, in der die linke Seite kleiner sein muss als die rechte.

Da dieses Ergebnis nur für flache Körper gilt, kann es nicht auf nahezu kugelförmige Himmelskörper angewandt werden. Hier wird idealisierend eine bestrahlte Kugel betrachtet. Die bestrahlte Fläche F ist effektiv der Querschnitt der Kugel $F = \pi r^2$ beim Radius r . Es strahlt jedoch die gesamte Oberfläche der Kugel mit der Fläche $O = 4 \pi r^2 = 4F$ (beim

flachen Körper haben die beiden strahlende Flächen die Grösse $2F$). Real nimmt die Temperatur auf der Oberfläche in der Nähe des Aufpunktes über den Rand hin bis zu einem Gegenpunkt ab. Eine solche Rechnung gehört in ein Fachbuch. Hier soll eine zweite starke Vereinfachung gemacht werden, indem es nur zwei idealisierte Temperaturwerte geben soll. Einen Werte T_2 für die beschienene Halbkugel, den anderen Wert T_1 für die dunklere rückwärtige Halbkugel, beide mit der Grösse $2F$. Es handelt sich dabei nicht um Mittelwerte, sondern über das Strahlungsgleichgewicht definierte charakteristische Werte. Damit gibt es nicht nur einen kräftigen Übergang der Temperatur an der Licht-Schattengrenze, sondern sogar idealisiert einen Sprung. Dies wird jedoch auf das genauere Ergebnis keine verfälschende Aussage bewirken.

Wie beim flachen Körper ist im energetischen Gleichgewicht die aufgenommene Wärmemenge (immer pro Zeiteinheit, also der Wärmestrom P_Q) gleich der abgegebenen ΔQ_Q . Der empfangene Entropiestrom ist $\Delta S_Q = \Delta Q_Q/T_Q$. Gibt nur die bestrahlte Kugelhälfte wieder Strahlung ab, muss wegen der doppelten Grösse dieser Flächen die Temperatur T_2 der abgestrahlten Wärme niedriger sein, nämlich $T_2 = T_Q/2^{1/4} \approx 0,8409 T_Q$. Im anderen Extremfall gleicher Temperatur T_0 auf Vorder- und Rückseite, somit der strahlenden Fläche $4F$ und den beiden gleichen Wärmeströmen $\Delta Q_Q/2$, ist mit $T_0 = T_Q/4^{1/4} = T_Q/\sqrt{2} \approx 0,7071 T_Q$. Der abgegebene Entropiestrom (pro Zeiteinheit) ist $\Delta S_Q = \Delta Q_Q/T_Q$, der hingegen ist $\Delta S_0 = \Delta Q_Q/T_0 = \sqrt{2} \Delta Q_Q/T_Q \approx 1,414 \Delta S_Q$. Er ist demnach bei diesem Extremfall um den Faktor $2^{1/4}$ grösser als der eines flachen Körpers.

Im allgemeineren Fall ist die Temperatur der bestrahlten Halbkugel T_2 , die der Rückseite T_1 . Auch hier ist $\Delta Q_1 + \Delta Q_2 = \Delta Q_Q$, allerdings gilt hier $T_Q^4 = 2(T_1^4 + T_2^4)$ wegen der doppelt so grossen abstrahlenden Flächen. Für die Entropie gilt wiederum die obige Gleichung (*), wobei allerdings die Verhältnisse der Temperaturen T_Q/T_1 und T_Q/T_2 andere sind.

Analog zur Strahlungstemperatur t_Q gemäss dem Strahlungsgesetz von Max Planck zum Energie/Wärme-Strom wird hier die Strahlungstemperatur t_S zur Veranschaulichung des Entropiestromes eines Körpers eingeführt. Es wird $t_S^3 = \Delta S_Q/\sigma F$ festgelegt. Das Verhältnis $\alpha = t_S/t_Q$ charakterisiert die Effizienz zur „Erzeugung“ von Negentropie. Die Maximalwerte sind $\alpha_{Max} \approx 0,574$ für eine Platte und $\alpha_{Max} \approx 0,7454$ für eine Kugel unter vereinfachenden Rechnungen.

Auf der Erde wird die Zunahme der Wärmemenge ΔQ_i hauptsächlich durch Verbrennung erreicht. Davon ein Teil durch die Verbrennung von Kohlenstoff, wodurch Kohlendioxid CO_2 entsteht. Deshalb wurde der Ausstoß von CO_2 als Indikator zur Erwärmung der Erde herangezogen. Dabei ist es absolut gleichgültig, wodurch die Wärmemenge ΔQ_i hervorgerufen wird, ob als Abwärme von allen möglichen Prozessen, eben auch der Abwärme bei der Kernspaltung im sogenannten Atomreaktor oder als Abwärme bei der Kernfusion im Fusionsreaktor, der leider in Verkennung der thermodynamischen Grundlagen als „sauberer“ Energieerzeuger gilt, da er immerhin wenig radioaktive Stoffe hervorbringt. (Es wird allerdings eine ursprüngliche Idee wieder aufgegriffen, anstatt Uran-Brennstäben flüssige Uranverbindungen einzusetzen. Letztere sind leichter zu steuern und erbringen wesentlich geringere Mengen an radioaktiven Abfällen.)

Neben den gewollten und herbeigeführten Prozessen laufen ungewollte ab. Diese können wiederum andere Prozesse, Sekundärprozesse, hervorrufen, die für den Menschen unerwünschte Erscheinungen hervorrufen. Selbst die sehr geringe mittlere Erhöhung der Erdtemperatur von 1,5 ... 2 K seit Beginn der Industrialisierung etwa im Jahre 1850 führt zur fortschreitenden Schmelze des arktischen Eises und der Änderung der Lebenswelt. Dauerfrostböden tauen auf und setzen Methan frei, so dass neben dem CO_2 die Bedingungen der Ein- und Abstrahlung von Wärme und Entropie sich in der Atmosphäre ändern. Für die Wärme haben wir ein Gefühl, nicht jedoch für die bedeutendere Grösse Entropie. Denn durch die Abnahme der Negentropie setzt der Zerfall verschiedener Strukturen ein (siehe weiter unten).

Bei der einstmals euphorisch begrüsst Kernenergie, die durch Kernspaltung gewonnen wird, ist das Missverhältnis extrem. Das grosse Potential, welches in den schweren Atomkernen und ihrer Spaltung steckt – die Entropiedifferenz – ist enorm. Genutzt wird lediglich die

Bremsenergie der freigesetzten Neutronen, nicht einmal der Hauptanteil der Neutronen selbst. Eine Verschwendung pur. Dabei sind die schweren spaltbaren Atomkerne unter extremen Bedingungen entstanden. Bei der Explosion eines Sternes, genau genommen in seinem inneren Bereich der Implosion. (Der Stern explodiert und implodiert in einem, er eximplodiert sozusagen.)

Und natürlich ist das absolute Maß eines strukturerzeugenden Abflusses von Entropie mit dem Maß der zugeführten Wärmemenge direkt verbunden. Je weiter ein Körper von seiner Strahlungsquelle entfernt ist, um so geringer sind die Entropieströme und um so weniger können Strukturen entstehen.

Die Erde im Vergleich zum Mond

Wichtig für die Existenz der Menschheit auf der Erde ist die von der Sonne empfangene Strahlung des Lichtes. Verbunden mit dieser Strahlung sind ein Wärme- und ein Entropiestrom, wie im vorangehenden Abschnitt skizziert. Allerdings sind die realen Vorgänge viel komplexer, so dass nur charakteristische Werte angegeben werden können. Das fängt bereits bei der Sonne an. Sie ist kein idealer Schwarzer Strahler, für den die hauptsächlich von Max Planck abgeleiteten Formeln gültig sind. Sie hat ja nicht einmal eine feste, strahlende Oberfläche, sondern strahlt aus einer etwa 200 km tiefen Plasmaschicht, für deren Strahlungsmenge nicht T_{Sonne}^4 gilt, sondern dessen Tiefenschichtung (dem Gradienten). Aber man kann die abgestrahlte Wärmemenge messen und ihr mit T_{Sonne}^4 eine Temperatur T_{Sonne} in Kelvin zuschreiben. Auf der Erde wird es wegen ihrer vielgestaltigen Oberfläche ganz verzwickelt. Dazu kommt der Einfluss der Atmosphäre. Das von der Sonne erhaltene Licht kann die Lufthülle grossenteils passieren, aber das von der Erde hauptsächlich abgestrahlte Infrarotlicht kaum. Dies führt zu einer zusätzlichen Erhöhung der Temperatur der Oberfläche der Erde – der Treibhauseffekt. (Man kann aber wie im Fall der Sonne auf gemessene Parameter zugreifen. Ein Vergleich mit Messwerten vom Mond macht die Unterschiede deutlich.

Temperaturen	T_1	T_2	T_Q	$T_s_ΔS$	$\alpha = T_s/T_Q$
Mond, Platte	113 K (-160°C)	403 K (+130°C)	403,62 K (130,62°C)	105 0,0646	0,2588
Mond, Kugel	113 K (-160°C)	403 K (+130°C)	480 K (207°C)	285 1,3156	0,5942
Erde ₂₀ , Platte	273 K (0°C)	293 K (+20°C)	337,175 K (64,2°C)	193 0,4064	0,5718
Erde ₃₀ , Platte	273 K (0°C)	303 K (+30°C)	343,875 K (70°C)	196 0,4253	0,5692
Erde ₂₀ , Kugel	273 K (0°C)	293 K (+20°C)	400,97 K (128°C)	298 1,5045	0,7439
Erde ₃₀ , Kugel	273 K (0°C)	303 K (+30°C)	409 K (136°C)	303 1,5843	0,7419

Tabelle der Temperaturen, des Entropiestromes/F [W/K³/F] und von T_s/T_Q

Auf dem Mond (als Platte) besteht eher der Grenzfall eines Gleichgewichtes der Entropie. Auf seiner Tagesseite werden nahezu die gleiche Energie- und Entropiemenge abgestrahlt wie die empfangenen, wie man an der sehr kleinen Differenz $T_Q - T_2 \approx 0,62$ sieht. Die

Abstrahlung von Energie und Entropie ist auf seiner Rückseite marginal, da der Temperaturunterschied zwischen Tag- und Nachtseite sehr hoch ist.¹

Für die Erde trifft eher der andere Grenzfall zu, der Temperaturunterschied zwischen Tag und Nacht ist im Mittel gering. Allerdings herrschen auf der Erde regional grosse Unterschiede. So ist der Temperaturunterschied auf den überragenden Flächen der Ozeane zwischen Tag- und Nachtseite minimal. In den Wüsten hingegen herrschen zwischen Tag und Nacht grosse Unterschiede, entsprechend der Differenz der Gleichgewichtstemperatur T_0 und der mittleren Temperatur der Nachtseite T_1 .

Übrigens ist die Wärmemenge der Sonnenstrahlung pro Zeiteinheit auf der Erdoberfläche etwa 1 kW/m^2 (senkrecht zur Strahlrichtung), oberhalb der Atmosphäre ist sie etwa $1,367 \text{ kW/m}^2$, die sogenannte Solarkonstante. Die Erdatmosphäre strahlt also $0,367 \text{ kW/m}^2$ zurück, durch Reflexion und durch Streuung (erkennbar am hohen Blauanteil). Die Strahlung der Sonne stammt von einer Kreisfläche (Draufsicht) mit ihrem Radius von etwa 0,696 Mio. km bei einer Temperatur von 5778 K. Durch den Abstand der Erde zur Sonne von rund 150 Mio. km wird die Energiestromdichte reduziert, was einer Reduktion der Strahlungstemperatur bezüglich des Energiestromes in der Entfernung der Erde auf etwa 344 K entspricht (die Lage des Maximums ändert sich nicht!). Dabei spielt die Beschaffenheit der Erdoberfläche eine grosse Rolle. Den grössten Beitrag zum Temperaturengleich zwischen T_2 und T_1 hat jedoch die Rotation der Erde. Noch bevor die Tagseite voll erhitzt ist, ist sie zur Nachtseite zur Abkühlung gedreht. Wieviel dies mit all den anderen Ausgleichsmechanismen ausmacht, erkennt man an dem kleinen Wert der Differenz von Maximal- und Minimaltemperatur $T_2 - T_1$, die hauptsächlich auf die Ozeane, der Atmosphäre u.U. mit Wolken und die „grünen“ Bereiche der Erdoberfläche zurückzuführen ist.

Bedeutung der charakteristischen Temperaturen für die Erde

Die Lebensbedingungen für uns Menschen sind in den verschiedenen Gebieten sehr unterschiedlich. Abgesehen von den niedrigeren Temperaturen in den Polregionen und den hohen in den Wüsten, ist dafür der grosse Unterschied des Entropie-Regimes die Ursache. In den Wüsten wird nicht viel Entropieüberschuss abgeführt (wie auf dem Mond), weshalb dort kaum Strukturen entstehen können, z.B. in Form von pflanzlichen Nahrungsmitteln. In den Gebieten mit wesentlichem Temperaturengleich zwischen Tag und Nacht ist die Abnahme der Entropie und somit die Strukturbildung am grössten. Dies macht sich vor allem in der Artenvielfalt von Pflanzen, Tieren und Pilzen, Bakterien und Viren bemerkbar und auch in der Menge dieser organischen Materie, wie eingangs erwähnt. Dabei gehören zur Biosphäre auch alle technischen Geräte, Gebäude, und die gesamte Infrastruktur, sie stellen einen – erhöhten – Ordnungszustand dar. Auch in anderen Bereichen der Biosphäre und in deren Nähe gibt es komplexe Strukturen, so in der Ionosphäre und auf dem Meeresboden. Aber es kann niemals mehr Ordnung, d.h. auch Summe von Leben – Lebewesen – entstehen, als dem Differenzbetrag der Ordnungsgrösse Entropie entspricht.

Ein jeder einzelne Mensch stellt ein Stück Materie sehr hoher Ordnung, also sehr hoher Dichte an Negentropie dar. Zur Aufrechterhaltung seines entropischen Zustandes darf er nicht von seiner Umwelt isoliert sein. Er muss nicht nur Luft verschiedener Zusammensetzung ein- und ausatmen, er braucht wie bekannt ist Nahrung und muss sie in veränderter Form wieder ausscheiden. Andernfalls kann er nur wenige Minuten leben und die Verwesung beginnt nach wenigen Stunden. Am deutlichsten ist das beim Gehirn. Je nach dessen Tätigkeit muss es eine bestimmte Menge an Nahrung aufnehmen. Der damit verbundene Entropiestrom kann sogar bestimmt werden, der natürlich von den gerade geleisteten Denkvorgängen abhängt. Der Körper muss ständig Entropie in Form bestimmter Stoffe abgeben, die höher sein muss als die aufgenommene. Wie gross ist wohl die derartige Entropiedifferenz aller im Moment lebender Menschen zusammen mit der

aller Tiere auf der Erde? Abschätzungen ergeben einen Betrag, der nahezu so hoch liegt wie die von der Erde abgestrahlte Entropiedifferenz. Die Biosphäre befindet sich sicherlich seit einigen Jahrzehnten im Zustand des Zerfalles.

Grosse Beiträge kommen durch alle technischen Prozesse in der Landwirtschaft, im Handwerk und in der Industrie. Es gibt aber noch eine Reihe anderer Strukturen, die in einer Gesellschaft aufrecht erhalten werden müssen. Diese hängen ebenfalls mit einer Entropiesenke zusammen, deren Zusammenhänge nicht einfach zu erschließen sind. Man kann sie indirekt erkennen.

Erhellend in dieser Hinsicht ist die Entstehung der Menschheit, die untrennbar mit einer fortschreitenden Erhöhung der Dichte der Negentropie in der Biosphäre verbunden gewesen ist. Dies äussert sich zuerst in der Nutzung von Hilfsmitteln, weiterhin deren Bearbeitung und daraus folgend die Entwicklung von Werkzeugen. Dafür muss Zeit vorhanden sein, die durch ein genügend grosses Angebot an Nahrung ermöglicht wird. Daraus wiederum können über eine Sippe hinaus grössere Strukturen entstehen, die eine höhere Organisationsform erfordern und auch schaffen. Neben der Herausbildung einer Schrift sind Menschen erforderlich, die eigens dafür existieren. Es bilden sich neben Handwerkern und Händlern Schichten von Beamten und die herrschenden Oberschicht zur Organisation eines Staates. In deren Diensten stehen – wie man heute sagt – Lehrer, Ingenieure und Wissenschaftler. Wir alle wissen, welche Berufsgruppen heutzutage notwendig sind. Je strukturierter eine Gesellschaft ist, um so effizienter kann sie werden, um ein so höheres Maß an Zufriedenheit der einzelnen Mitglieder kann erreicht werden. Basis ist stets ein genügend grosser Bestand an lebenserhaltenden Stoffen bzw. Materialien, die ein hohes Maß an Negentropie darstellen. Man kann sagen, die notwendige Negentropie zur Strukturierung einer Gesellschaft oder Staates, insbesondere deren Infrastruktur, wird durch die Transformation der Negentropie von Menschen aufgebracht.

Entwicklungsbedingter Zuwachs an Entropie in der Biosphäre

Leider kennt das Streben nach „Wohlstand“ keine Grenzen. Dieser Begriff wird zusehends ad Absurdum geführt. Die unsinnigsten Bedürfnisse werden geweckt, die Verteilung der Güter wird immer ungleichmäßiger, die Dichte der Negentropie übersteigt lokal das physikalisch mögliche Maß. Die unausweichliche Folge ist die Zerstörung des Systems, weil dafür lokal an anderer Stelle die Negentropie abnimmt, Strukturen zerfallen. Dies muss den Untergang, das Erlöschen einer Gesellschaft bedeuten.

Dafür gibt es in der Geschichte der Menschheit auf begrenzten Gebieten eine Reihe von Fällen. In dem Buch von Jared Diamond „KOLLAPS – Warum Gesellschaften überleben oder untergehen“ (S. Fischer) werden einige Fälle dargelegt. Letztlich handelt es sich um die ungewollte oder unbeabsichtigte Zerstörung der Lebensgrundlage. Ob durch die Abholzung des Lebensraumes oder dem unverhältnismässigen Verbrauch bestimmter Stoffe zu kultischem Gebrauch, der Prunksucht nicht nur von Herrschern oder für unmässige Anhäufung von – ansonsten nutzlosen – Produkten, insbesondere Waffen. Einiges davon ist allerdings als Kulturgut erhaltenswert.

Zwei Bücher mit der gleichen Anzahl von Wörtern und mit gleicher Verteilung können in einer Sprache in ihrer spezifischen Entropie gleich sein, über ihren gedanklichen Wert und der Kunst ihrer Sprache kann die Entropie jedoch nur begrenzt ein Urteil abgeben. Ebenso ist es bei Gemälden, Skulpturen und Kompositionen. Dafür ist das menschliche Verständnis zu komplex, die Erfahrung eines Menschen mit vielen seiner Erlebnisse nicht allgemein erfassbar. So können zwei Kompositionen sehr unterschiedlich aufgenommen werden. Die eine wird gefeiert, die andere versinkt nach der Uraufführung in der Versenkung. Jahrzehnte oder gar Hundert Jahre später kann sich das umkehren. Die versunkene wird ausgegraben und gefeiert, die andere verliert an Ausstrahlung. Dafür gibt es kein Maß der Entropie. Jede Kultur hat ihren eigenen Hintergrund.

Um einmal in einen Mechanismus einer entropisch „überhitzten“ Gesellschaft hineinzuschauen ein Beispiel. Zur Gewinnung weiterer landwirtschaftlichen „Nutzflächen“ wird ein ökologisch intakter Wald abgeholzt. Dadurch sterben eine Vielzahl von Pflanzen, Insekten und sogenannte höhere Tieren aus, deren Lebensraum zerstört ist. Stattdessen breiten sich einige wenige Arten übermäßig aus, zuweilen so stark, dass sie sich selbst ihrer Lebensgrundlage berauben und aussterben. Die Erosion des Bodens mag hinzukommen. Ein Endzustand ist erreicht, wenn sich das Land in eine Wüste umgewandelt hat und ein Gleichgewicht der Energie und nahezu der Entropie der Strahlung erreicht ist. Die Bildung neuer Strukturen ist unmöglich – die Biosphäre ist aufgelöst, es herrscht eine für alles Leben unbewohnbare Wüste.

Wenn es noch nicht zu diesem Extrem gekommen ist, gibt es einige andere Möglichkeiten des Zerfalls, einmal der des Menschen selbst oder der seiner Gesellschaft.

Negentropie und Gesellschaft

Der uns als bekannter komplexester Stoff ist wohl das menschliche DNS/DNA-Molekül (DNS – Desoxy-Nuklein-Säure, A für Säure auf englisch acid), der Träger der Erbsubstanz. Dieses Molekül ist nicht bei allen Menschen gleich, hat jedoch für alle prinzipiell den gleichen Aufbau. Gemäss diesem Molekül wird daraus ein Lebewesens aufgebaut. Ein Lebewesen stellt die Ausprägung seiner Erbsubstanz dar. Der Stammbaum der DNS-Moleküle aller Lebewesen wird durch den Stammbaum der Lebewesen, in deren Grundform, abgebildet. Die Evolution der Lebewesen entspringt der Evolution ihrer Erbsubstanz. Jedes DNS/DNA-Molekül ist nicht starr festgelegt, so dass je nach äußeren Bedingungen das herausgebildete Lebewesen bei gleicher DNS anders geartet ist. Mehr noch, bei jeder Art muss eine gewisse Variation der Gene und folgend der Lebewesen vorhanden sein, um sich als Art sich veränderten Lebensbedingungen besser anpassen zu können. Dies hat der geniale Verhaltensforscher Konrad Lorenz aus seinen Beobachtungen der Tierwelt gefolgert. Leider hat er einige politisch wirksame falsche Schlüsse gezogen. So ging es ihm neben „Fehlmutationen“ um die genetische „Reinheit“, die zu erhalten sei. Das Gegenteil ist jedoch wichtig, eine Mischung der genetischen Eigenschaften ist zur weiteren Existenz der Menschheit unabdingbar, wie mindestens einmal brachial in der Entwicklung der Menschheit geschehen.

Der Mensch sucht zur Paarung ihm ähnliche Partner; aber das Fremde, das Andersartige hat zuweilen eine größere Anziehungskraft. Dies ist zur Erhaltung der Art wesentlich. Bestimmte Besonderheiten eines Menschen führen allerdings zum Ausbleiben einer Nachkommenschaft – zur Erhaltung der „Reinheit“ ohne absonderliche Ideologie.

Die Leistung des genetischen „Materials“ DNS geht sogar so weit, in bestimmtem Maße Beschädigungen des Lebewesens und sogar seiner selbst reparieren zu können. Was für eine überwältigende Funktion dieses grossartige Molekül hat!

Da ist es kein Wunder, wie „zerbrechlich“ es ist. Sollte die Entropie auf der Erde über den Gleichgewichtswert anzuwachsen drohen, setzen Prozesse zur Reduktion der Strukturen ein. Das trifft zuerst die Stoffe höchster Negentropie, wie es die DNS-Moleküle sind. Bakterien sind überall in der Biosphäre vorhanden, einige von ihnen sind sogar Lebensnotwendig, z.B. im Verdauungsprozess. Andererseits haben alle Tiere, auch Pflanzen, zu deren spezifischen Abwehr hochkomplexe „Immunsysteme“ entwickelt, die noch nicht einmal vollständig erforscht sind. Die DNS ist in den Zellkernen sogar besonders geschützt. Aber es gibt Moleküle, deren Struktur bestimmten Abschnitten einer DNS entsprechen. Dort können sie andocken und die Funktion einer Zelle ändern und sich sogar duplizieren. Bei solchen Molekülen spricht man von Viren. Dazu müssen sie auf weitere Zellkerne im Körper eines Lebewesens übergehen können. Eventuell ist die Schädigung des betroffenen Lebewesens so stark, dass lebenswichtige Funktionen nicht

mehr vorhanden sind. Da ist es für den Virus entscheidend, möglichst vorher den „Wirt“ verlassen zu haben und auf ein anderes Lebewesen mit passender DNS übergegangen zu sein. Das ist nicht immer möglich, es bedarf besonderer Umstände sich verbreiten zu können. Diese Voraussetzungen sind bei zunehmender Entropiedichte in der Lebensumwelt eventuell vorhanden (real ist die Wirkungsweise der Viren sehr komplex).

Dies kann irgendwelche, scheinbar zusammenhanglose Umstände erbringen. Beispielsweise gab es einmal im Osten Deutschlands eine Tollwutepidemie. Sie verlief – nach den ersten Tagen einer unbehandelten Infektion – immer tödlich. Wie kam es zu diesen Tollwutausbrüchen? Es stellte sich heraus, dass eine zu hohe Dichte an Füchsen in der Natur ursächlich gewesen ist. Die Felle der Tiere waren ein begehrter Exportartikel und Devisenbringer. Deshalb wurde die Dichte der Population über das natürliche Maß hinaus von den Jägern vorangetrieben. Füchse sind Einzelgänger, haben ihr Revier, welches sie verteidigen. Nachwachsende Tiere werden aus ihm vertrieben. Da die Nachbarreviere besetzt gewesen sind, gab es tödliche Kämpfe um sie. So konnte ein einziger von Tollwut erkrankter Fuchs, der sonst einsam verstorben wäre, seine Infektion an alle Tiere der Nachbarschaft übertragen. Da manche Füchse die Dörfer durchstreifen, haben sie dort mit der Zeit auch Hunde angesteckt. Im Endzustand der Krankheit von Schmerzen gequält haben diese dann Menschen, vornehmlich Kinder, gebissen. Wenn diese nicht in den ersten zwei bis drei Tagen durch eine von Louis Pasteur erfundene Methode behandelt wurden, starben sie alle nach etwa vier Wochen. Da die Her- ausbildung und der Weg der Verbreitung übersichtlich waren, konnte er nach einigen Monaten ausfindig gemacht werden. Durch die Reduzierung der Population der Füchse auf deren natürliche Größe verschwand die Tollwut aus dem Gebiet.

Nur selten werden die Ursprünge einer Viruspanemie gefunden. Je mehr Menschen die Erde besiedeln und je mehr diese in die in einem ökologischen Gleichgewicht sich befindende Natur eingreifen, um so häufiger werden neuartige Viren auf den Menschen übergreifen. Und irgendwann ist ein Virus entstanden der, bevor irgendwelche Gegenmassnahmen entwickelt werden konnten, die Menschheit besonders in dicht besiedelten Gebieten radikal reduziert. Auch dafür gibt es aus dem Mittelalter etliche Erinnerungen. Aber durch die heutzutage erdumspannenden Kontakte werden ebensolche Pandemien entstehen.

Das Erbmolekül DNS ist in seiner Komplexität und Leistungsfähigkeit zwar unübertroffen und auf Grund seiner zwangsweise hohen Dichte an Negentropie auch anfällig zu seinem Zerfall. Eine Menschliche Gesellschaft ist ebenso fragil und anfällig. Denn selbst immaterielle Größen, wie Gesetze und deren Einhaltung, sind Ordnungsgrößen in der Gesellschaft innerhalb der Biosphäre. Dazu gehören auch unausgesprochene Gesetze, wie Normen des Zusammenlebens eines Kulturkreises und soziale Strukturen.

Bereits ihre einzelnen Fragmente, sozusagen die Atome einer Gesellschaft, sind Menschen mit vielerlei physischen und psychischen Eigenheiten. Es gibt Sonderlinge ohne jedwede Bedeutung, aber einige mit herausragenden Fähigkeiten, die der Gesellschaft ihren Stempel aufdrücken. Ihre Beschreibungen füllen die Weltliteratur und Spielfilme.

Es gibt relativ stabile Diktaturen und freie, demokratische Gesellschaften, die allerdings sehr fragil sein können. Diesen Strukturen entsprechen ebenfalls hohe Werte an Negentropie, die im Einzelnen nicht einfach zu erschließen sind. Auf jeden Fall müssen genügend hohe Werte der Produktivität zur Sicherung der Lebensgrundlagen vorhanden sein, um ein notwendiges Potential für Ordnungskräfte, zur Ausbildung des Nachwuchses und an körperlicher und geistiger Arbeit zur Verfügung zu haben. Da ist unmerklich schnell die Schwelle zum Entropiegleichgewicht erreicht. Die Folge ist der Zerfall all dieser Werte und Strukturen. In jeder Gruppe gibt es Menschen mit pathologischen Eigenschaften. Sie bekommen dann die Gelegenheit an die Macht zu kommen. Beispielsweise, wenn sie in Demokratien sogar von einer zunehmend unbedachten oder gar ungebildeten Mehrheit gewählt werden. Ist ein Psychopath einmal an die oberste Stufe der Leitungsebene gelangt, wird er allmählich die demokratischen Grundwerte der Gesellschaft abschaffen

und sich zum Diktator aufschwingen. In der Diktatur wird die Vielfalt in der Gesellschaft und damit ihre Negentropie reduziert.

Ein anderer Aspekt einer Gesellschaft stellt in ihr die Verteilung der Negentropie dar. Sie kann einigermaßen gleichförmig sein oder konzentriert auf einzelne Gruppen. Vermutlich hat dies einen wesentlichen Einfluss auf ihr Entwicklungspotential. Bei einer Gleichverteilung herrscht Stillstand. Über Jahrtausende oder sogar Millionen Jahren gibt es keine Entwicklung. Bei einer ungleichen Verteilung kommt es hingegen darauf an, wie die bevorzugten Gruppen ihre Negentropie, ihr Potential, einsetzen. Verschwendung, gar Verschwendungssucht, führt zum Niedergang, wie man beim Studium der Menschheitsgeschichte feststellen kann. Wird andererseits das Potential in Forschung und Entwicklung zum Wohl der Gesellschaft eingesetzt, werden evolutionäre Fortschritte erzielt. Man denke nur an das alte Ägypten und andere „Hochkulturen“, wo eine kleine Anzahl an Personen von der mühsamen Feldarbeit befreit gewesen ist, stattdessen eine Rechenkunst und die Astronomie entwickelten, ebenso die Natur beobachteten und Zusammenhänge erkannten, auf deren Grundlage Bewässerungssysteme angelegt wurden, die eine ertragreiche Felderwirtschaft ermöglichten ...

Wie aus einem artenreichen Waldgebiet eine lebensfeindliche Wüste gemacht werden kann, ebenso kann aus einer Gesellschaft mit blühender Kultur ein System mit Erziehungs-, Arbeits- und letztendlich Vernichtungslagern werden.

Oder es entstehen in einer Gesellschaft gewaltsame Gruppierungen, die Konflikte heraufbeschwören, die zu Kriegen führen können. Durch die Einmischung fremder Mächte können daraus unentwirrbare Interessen-gegensätze entstehen, die die Existenz eines ganzen Volkes kosten können.

Das 21. Jahrhundert wird wohl das Jahrhundert der zahllosen gewalttätigen Konflikte und der Pandemien werden.

*
**

Lit.: Viele Details zu den Einflüssen auf die Temperatur der Erdoberfläche enthält der Artikel „Klimawandel“ in der dt. Wikipedia



Aus einem englischen Lexikon: *life is a struggle against entropy*: deterioration, degeneration, crumbling, decline, degradation, decomposition, breaking down, collapse; disorder, chaos.



Komposition: **Max Richter - On The Nature Of Daylight (Entropy)**

Z.B. auf https://www.youtube.com/watch?v=b_YHE4Sx-08



Bemerkung des Verfassers

Mit meinem damaligen Arbeitskollegen Dr. Helmut Domke sprachen wir in der „Teestunde“ über die physikalischen Grundlagen zur Entstehung des Lebens und seiner Evolution. Es war schnell klar, dass das Entropiestromdefizit der Lichtstrahlung entscheidend sein muss. Der hierzu daraufhin erste von mir um 1974 verfasste Beitrag ging verloren. Bei einer Mitarbeit zur Lokalen Agenda 21 schrieb ich den Artikel 1999 noch einmal in ähnlicher Form. Inzwischen stellte ich fest, dass zur besseren Vermittlung des Themas eine physikalisch mehr ausgearbeitete Form notwendig ist, die nun seit April 2020 nach mehr als 20 Jahren vorliegt.

Dr. Gerd Gebhardt befasste sich auf der gleichen thermodynamischen Grundlage um 1980 mit der gleichen Problematik, mehr bezogen auf die damalige Gesellschaft. Er prognostizierte daraufhin den ökonomischen und nachfolgend politischen Zusammenbruch Ostdeutschlands gegen Ende der 80-ziger Jahre. Beschleunigend wirkte sich der Abfluss von Negentropie in die Sowjetunion wegen neokolonialer Handelsbeziehungen aus.



1) Die Oberflächentemperatur T_2 des Mondes von 130°C , wie bei Wikipedia angegeben, scheint zu hoch zu sein. Berechnet man sie aus der von der Sonne abgestrahlten Energie (siehe Solarkonstante), erhält man etwa 120°C . Berücksichtigt man den Grauwert von typischerweise 0,88 der Oberfläche des Mondes, erhält man $T_2 = 380,6\text{ K}$ ($107,6^\circ\text{C}$) und damit $T_0 \approx 381,38\text{ K}$ ($108,38^\circ\text{C}$), was jedoch keine massgebliche Änderung des thermischen Verhältnisses darstellt.