

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

Hermann von Helmholtz (1821–1894)

## Liebe Leserin, lieber Leser,

vor vierzig Jahren wurde auf einer denkwürdigen Konferenz nahe Boston die Idee vom Quantencomputer geboren. Schon 1959 hatte der Physiker Richard Feynman (1918–1988) aus Spaß Überlegungen zur Möglichkeit der Miniaturisierung von Maschinen angestellt gehabt. Wie der Vordenker der Nanotechnologie versicherte, sei „da unten noch jede Menge Platz“. Ein PKW ließe sich mit der üblichen (relativen) Fertigungstoleranz durchaus *f a h r f ä h i g* auf einen Millimeter verkleinern. Allerdings erfordere das Herunterskalieren einige Änderungen, so bei den Schmiermitteln, der elektromotorischen Anlage etc. Aber das seien keine unüberwindlichen Schwierigkeiten. Beim Quantencomputer geht es um die Manipulation einzelner Atome<sup>1</sup>. Vom Bit mit seinen beiden reinen Zuständen (Ja/Nein) müsse man sich aber angesichts des Wahrscheinlichkeitscharakters der Quantenphysik verabschieden. Das Quantenbit, Qubit, steht für eine Überlagerung von Zuständen – Ja und Nein gleichzeitig. Doch dieses Weder-Noch ist störanfällig (weshalb Schrödingers Katze nur einen Wimpernschlag lang sowohl tot als auch lebendig sein kann).

Feynman hatte sich über den Energiekonsum elektronischer Rechenmaschinen gewundert. Reversibel<sup>2</sup> arbeitende Rechner benötigten so gut wie keine Energie. Nur das Vergessen kostet! Das irreversible Löschen eines Bits, das Freiräumen des Speichers, setzt Wärme frei. So gesehen, entpuppen sich Computer als „Wattfraße“. Rein theoretisch ließe sich, was das reine Rechnen samt Fehlerkorrektur anbelangt, der Stromverbrauch um zig Zehnerpotenzen reduzieren! Das Gehirn mit seiner unglaublichen Fähigkeit zur Mustererkennung (bis hin zur Aufstellung von Verschwörungstheorien) kommt ja auch mit 20 W aus.

Vor zwanzig Jahren, am 11. Mai 2001, verstarb der englische Autor Douglas Adams (geb. 1952). Wundern Sie sich nicht, begegnen Ihnen am Dienstag

---

<sup>1</sup>Im Prinzip wären noch winzigere Realisierungen eines sog. Qubits denkbar.

<sup>2</sup>Man kann ohne Informationsverlust aus dem Ergebnis einer Bitmanipulation den Herang rekonstruieren, sprich rückwärts rechnen.

nach Pfingsten angegraute Herrschaften, mit einem Handtuch unter'm Arm. Am „Handtuchtag“ gedenken „Per Anhalter durch die Galaxis“-Fans alljährlich am 25. Mai ihres Lieblingsautors.

Immer noch an der „Windmaschine Erde“ interessiert? Hier erwartet Sie die Fortsetzung! Frohe Pfingsten wünscht

Hans-Erich Fröhlich

## Der Himmel im Mai

Am 17. Mai erreicht Merkur mit  $22^\circ$  den größten Winkelabstand zur Sonne in diesem Jahr. Das garantiert eine Abendsichtbarkeit des schnellfüßigen Wanderers und Sonnenanbeters am WNW-Horizont eine Stunde bis anderthalb Stunden nach Sonnenuntergang. Ihm zugesellt sich am 13. Mai der junge Mond. Dessen Sichel zieht südlich am Merkur vorbei. Ebenfalls wieder mit von der Partie: die Venus. Sie distanziert sich *peu à peu* von der Sonne. Ende Mai verschwindet sie erst anderthalb Stunden nach Sonnenuntergang.

Mars bleibt uns noch bis in den Juni erhalten. Ende Mai verabschiedet er sich bereits vor der MEZ-Mitternacht im NW. Aber wir halten ja Funkkontakt zu Perseverance und dem Ingenuity-Helikopter und sind mit ihm über das Fernsehen „hautnah“ verbunden.

Während Mars schwächelt, leben Jupiter und Saturn auf. Ende des Monats geht Jupiter bereits gegen 2 Uhr MESZ auf. Saturn, etwas südlicher gelegen, geht ihm voran. Er wird bereits am 23. Mai stationär und beginnt damit seine diesjährige Oppositionsphase einen Monat bevor Jupiter die seine.

## Volldampfatosphären?

Unter demselben Himmelsgewölbe, an welchem die ewigen Sterne als das Sinnbild unabänderlicher Gesetzmäßigkeit der Natur einherziehen, ballen sich die Wolken, stürzt der Regen, wechseln die Winde, als Vertreter gleichsam des entgegengesetzten Extrems, unter allen Vorgängen der Natur diejenigen, die am launenhaftesten wechseln, flüchtig und unfaßbar jedem Versuche entschlüpfend, sie unter den Zaum des Gesetzes zu fangen. (Hermann von Helmholtz, 1875)

Edmond Halley (1656–1742), den ein Komet berühmt machen sollte, den er gar nicht entdeckt hatte, war u. a. auch Meteorologe. Als Zwanzigjähriger begab er sich auf die Insel St. Helena, um den südlichen Sternenhimmel zu

kartieren und am 7. November 1677 den Merkurdurchgang zu beobachten. Die Fahrt dorthin, in die südlichen Tropen, nutzte er, den NO- bzw. SO-Passat zu studieren. 1686 publizierte er die erste Weltwindkarte und erkannte in den Unterschieden der Sonneneinstrahlung die treibende Kraft für das irdische Windsystem.

Für Wettergeschehen und Erdklima ist der meridionale Energietransport in der nur wenige Kilometer starken Lufthülle von entscheidender Bedeutung. „Meridional“ heißt in N-S-Richtung. (Strömungen parallel zu Breitenkreisen heißen „zonal“.) Die Tropen erhalten mehr an kurzwelliger Strahlung (0,2–5  $\mu\text{m}$ ) von der Sonne als sie im Langwelligen (5–100  $\mu\text{m}$ ) in den Weltenraum abstrahlen. Jenseits der Tropen, insbesondere in den Polargebieten, wo das Sonnenlicht nur schräg, wenn überhaupt, einfällt, ist es umgekehrt. Zum Ausgleich muss Wärme polwärts strömen. Ohne diesen Ausgleichswärmestrom wäre es am Äquator um die 25 Grad heißer und an den Polen um bis zu 40 Grad kälter! Nordeuropa verschwände unter einem Eispanzer! Da Luft ein schlechter Wärmeleiter ist, wird die Wärme mittels Wind transportiert und durch Turbulenz verbreitet.

Auch Drehimpuls wird umverteilt. Halleys tropischer Dauerwind weht aus östlichen Richtungen und „bremst“ die Erde. Durch Reibung wird den unteren Luftmassen dort Drehimpuls zugeführt. In unseren Breiten ist es umgekehrt. Die bodennahen Winde aus meist westlicher Richtung geben Drehimpuls an den Planeten ab. Halley hatte nur die Unterschiede bei der Sonneneinstrahlung im Blick gehabt, nicht aber den Drehimpuls. Dessen Bedeutung wurde 1735 von George Hadley (1685–1768), einem Rechtsanwalt, erkannt<sup>3</sup>. 100 Jahre danach entdeckte Gaspard Gustave Coriolis (1792–1843) die nach ihm benannte Trägheitskraft in einem rotierenden Bezugssystem (wie dem der Erde). Es ist diese Scheinkraft<sup>4</sup>, die dem sofortigen Druckausgleich zwischen Hoch- und Tiefdruckgebieten einen Riegel vorschiebt, indem sie Luftmassen auf Isobaren um Wirbelzentren zwingt.

Am Wärmetransport beteiligt sind auch Meeresströmungen. Beides, das Ozeanische wie das Atmosphärische, sind miteinander verbandelt. So ist Wind ein wichtiger Treiber<sup>5</sup> für oberflächennahe Meeresströmung. Und durch Verdunstung gelangt latente<sup>6</sup> Wärme zuhauf in die Atmosphäre, wobei in den

---

<sup>3</sup>Hadley hatte allerdings Impuls-, nicht Drehimpulserhaltung, im Sinn und den Rotationseffekt entsprechend unterschätzt gehabt.

<sup>4</sup>Da wir nicht den Eindruck haben, uns auf einem rotierenden Planeten zu befinden, denken wir uns unsere Umgebung in Ruhe. Um dennoch Bewegungen korrekt zu beschreiben, bedarf es formal zweier Zusatzkräfte: Flieh- und Corioliskraft.

<sup>5</sup>neben der Änderung des Salzgehalts

<sup>6</sup>Mit der „verborgenen“ Wärme, welche bei der Kondensation von Wasserdampf frei wird, könnte man die gleiche Menge flüssigen Wassers um 500 Grad erwärmen (wenn es

Tropen diese latente Wärme, getragen vom bodennahen Passat, sogar äquatorwärts strömt. Da die beiden Hemisphären, was die Verteilung von Wasser und Land anbelangt, unterschiedlich sind, ist die Aufteilung der meridionalen Energieflüsse durchaus unterschiedlich. Generell gilt, dass der Hauptteil des Ausgleichsstromes von der Atmosphäre bewältigt wird. Die Ozeane spielen aber in den Tropen eine Rolle, wobei auf der Südhalbkugel die turbulente Wärmeleitung<sup>7</sup>, auf der Nordhalbkugel der Transport durch Strömung (z. B. Golfstrom) überwiegt. Das Maximum des meridionalen Energietransports wird bei  $\pm 41^\circ$  Breite mit etwa 4,5 PW erreicht. Das sind rund 4 % der unmittelbaren Wärmeleistung des Sonnenlichts.

Die Luftzirkulation ist in zonalen Zellen organisiert, wie man an den Bändern und Zonen des Jupiter ersehen kann. Die langsamer rotierende Erde hat nur drei Zonen pro Hemisphäre: Hadley-, Ferrel- und Polarzelle.

Die mathematische Modellierung der (saisonal variierenden) globalen Zirkulation bei Rotation obliegt der numerischen Strömungsmechanik, der CDF (*computational fluid dynamics*), und gehört damit ins Gebiet der Hydrodynamik, dem, von der Magneto-Hydrodynamik abgesehen, mathematisch anspruchsvollsten Gebiet der Physik, weil es die Viskosität (Zähigkeit oder „Dicke“) der Flüssigkeiten und Gase mit in Rechnung stellt – was den mathematischen Charakter des Problems ändert.

Bis heute konnte nicht mit mathematischer Strenge bewiesen werden, dass es unter allen Umständen im Dreidimensionalen überhaupt eine glatte (nicht-singuläre) Lösung der Bewegungsgleichung, der sog. Navier–Stokes-Gleichung<sup>8</sup>, für Wasser gibt. Auf die Lösung dieses Problems wurde 2000 ein Preisgeld von einer Million Dollar ausgesetzt! Die Gleichung selbst ist den Physikern spätestens seit 1843 bekannt<sup>9</sup>. Man kann ohne Übertreibung feststellen: Die ganze bunte Vielfalt unserer Welt beruht physikalisch gesehen auf deren Zähflüssigkeit. Eine von vornherein reibungsfreie Welt wäre langweilig und hätte nichts Bemerkenswertes hervorgebracht. Wer die Zähigkeit weg ließe, beschreibe lediglich das Strömen „trockenen“ Wassers, bemerkte einst sarkastisch der Mathematiker ungarischer Abstammung John von Neumann (1903–1957). Der verbreitete Eindruck, Schulphysik sei trocken und erfasse nicht die Lebenswirklichkeit, beruht darauf, dass sie sich notgedrungen mit „trockenem“ Wasser nur befasst. Kreatives Chaos aber beruht auf der Turbulenz,

---

denn flüssig bliebe)!

<sup>7</sup>Die Verwirbelung befördert den Austausch von Wärme, Impuls und (Schad)Stoffen ungemain, da die Wirbel von gigantischer Größe sind, verglichen mit Atomen bzw. Molekülen, auf deren Stößen die gewöhnliche Wärmeleitung beruht.

<sup>8</sup>Diese Gleichung ist in der Kontinuumsmechanik das Pendant für „Kraft = Masse  $\times$  Beschleunigung“ unter Berücksichtigung der Reibung.

<sup>9</sup>Claude Louis Marie Henri Navier (1785–1836) und George Gabriel Stokes (1819–1903)

der Verwirbelung, wie sie bei Leichtflüssigkeit auftritt! Die damit einhergehenden starken Schwankungen sind nur noch stochastisch beschreibbar. Es sind die Wirbel, welche die „gefühlte“ Zähigkeit die molekulare um Größenordnungen übersteigen macht. Die turbulenten Gasscheiben um gewisse Sterne, sog. Akkretionsscheiben, sind zäher als Stahl! Turbulenzphysik ist nach wie vor „Terra incognita“.

Wie es aussieht, „durchschaut“ nur noch der Computer selbst die Komplexität des Wärmetransports zu Luft und zu Wasser, nicht aber sein User, der Hydro- und Aerodynamiker. Dem könnte eine thermodynamische Betrachtung des meridionalen Wärmeaustauschs abhelfen. Als eines der drei Reiche der Physik, neben Relativität und Quantenphysik, befasst sich die Wärmelehre mit Energieumwandlungen und gelangt bei aller Abstraktheit zu konkreten Aussagen.

In den Augen eines Wärmetechnikers wie Sadi Carnot (1796–1832) ist das System „Erde“ nichts anderes als eine Wärmekraftmaschine mit einem warmen und einem kalten Ende. Wärme fließt spontan vom Warmen, den Tropen, zum Kalten, den Polargebieten. Arbeitsmedium sind Luft und Wasser. Abhängig von der Größe des Temperaturunterschieds ist ein gewisser Teil des Wärmestroms in kinetische Energie verwandelbar, in ozeanische und atmosphärische Bewegung, Wirbel eingeschlossen. (Eine Windkraftanlage kann dann aus dem Wind elektrischen Strom generieren: Die „Wärmekraftmaschine Erde“ erzeugt tatsächlich Strom!) Durch Reibung – hier spielt die Rauigkeit (Gebirge!) der Erdoberfläche und des Meeresbodens eine Rolle – wird Bewegungsenergie ständig abgebaut, d. h., in Wärme verwandelt (dissipiert). Hinzu kommt die innere Reibung. Die großräumige Zirkulation muss trotz Reibung am Leben erhalten werden. Antreiber ist die Unausgeglichenheit der lokalen Strahlungsbilanzen – in den Tropen übersteigt die Sonneneinstrahlung die Wärmeabstrahlung, jenseits der Tropen, in den Extratropen, ist es umgekehrt. (Letztlich trägt die Kugelgestalt der Erde daran Schuld.) Der Anteil am Energiestrom, der in mechanische Energie überführt (und dissipiert wird), ist durch den sog. Carnot-Wirkungsgrad  $\eta$  gedeckelt. Dieser hängt a l l e i n vom relativen Temperaturunterschied ab:  $(T_{\text{heiß}} - T_{\text{kalt}})/T_{\text{heiß}}$ , wobei  $T_{\text{heiß}}$  die Tropentemperatur und  $T_{\text{kalt}}$  die Temperatur der Extratropen bezeichnet. Rein rechnerisch ergeben sich  $\eta \simeq 5\%$ . Mehr lässt der 2. Hauptsatz der Wärmelehre (Entropiesatz) nicht zu! Welcher Wirkungsgrad sich im Einzelfall einstellt, hängt insbesondere von der Schnelligkeit ab, mit der die Wärme zerstreut wird, d. h., vom t u r b u l e n t e n „Wärmeleitvermögen“ des Arbeitsmediums.

Dazu ein Gedankenexperiment: Wir halten zwei Erden in die Sonne. Bei der

einen sei die Wärmeleitung (durch was auch immer) an der Oberfläche unendlich hoch, bei der anderen Null. Beide erwärmen sich. Doch während es bei der ersteren zu einem sofortigen Temperatúrausgleich zwischen Tag- und Nachtseite kommt, weil bei der kleinsten Temperaturdifferenz bereits ein hoher Ausgleichswärmestrom fließt, unterbleibt bei der wärmegeprägten Erde der Temperatúrausgleich. Trotz enormen Temperaturunterschieds fließt keine Wärme. *In keinem der beiden Fälle wird mechanische Arbeit geleistet.* Zwar ist bei der ersten Erde der Wärmestrom hoch, aber der Carnot-Wirkungsgrad  $\eta$  ist Null – kein Temperaturgradient ( $T_{\text{heiß}} \simeq T_{\text{kalt}}$ )! Bei der zweiten Erde ist zwar  $\eta$  hoch, aber es fließt kein Wärmestrom, welcher sich, wenigstens teilweise, in Bewegungsenergie ummünzen, technisch gesprochen, „verstromen“ ließe. Zwischen den Extremen, kein Temperaturunterschied (wegen perfekter Wärmeleitung) und kein Wärmestrom (wegen perfekter Wärmedämmung), muss sich das Leistungsmaximum befinden, der „stürmischste“ Planet.

Jetzt sind Empiriker gefragt. 1960 meinte der Meteorologe und Vater des „Schmetterlingseffekts“, Edward N. Lorenz (1917–2008), die Wärmekraftmaschine Erde laufe „unter Volldampf“! 1978 sah der australische Meteorologe Garth W. Paltridge (geb. 1940) das Prinzip der *m a x i m a l e n E n t r o p i e p r o d u k t i o n* (MEP) am Werk. Sind die Atmosphären von Planeten und ggf. Monden MEP-Atmosphären? Schaut man sich daraufhin Temperaturkontraste und Wärmeströme an, scheinen zumindest Mars und Titan der Entropiemaximierung zu fröhnen – und das, obwohl sie sich ansonsten so gut wie in allem von der Erdatmosphäre unterscheiden. Beim Saturnmond Titan mit seiner dichten Stickstoffatmosphäre bemisst sich der Temperaturunterschied auf vier Grad. Meteorologen hatten vor der Voyager-1-Stippvisite (1980) mit weit weniger gerechnet. Warum gerade vier Grad? Nun, bei dieser Diskrepanz zwischen subsolarem Punkt und den Polgebieten „holt“ die Titanatmosphäre das Maximum an Bewegung „heraus“! Windiger geht nicht! Auch unter unseren Füßen rumpelt eine Wärmekraftmaschine. Auch hier, bei der Mantelkonvektion, gilt anscheinend das MEP-Prinzip. Vielleicht ist diese Übereinstimmung ja nur eine Laune der Natur, vielleicht aber auch nicht. Auch andernorts wird Maximierung betrieben, z. B. beim Suppekochen: Bei vorgegebener Heizstufe stellt sich die Bénard-Konvektion gerade so ein, dass das „Blubbern“ maximal wird. Im Kochtopf herrscht maximale Hektik! Der unterrichtete Koch spricht von Selbstorganisation.

Wir stehen vor einem Dilemma: Die gängigen globalen Zirkulationsmodelle (GCM) erscheinen dem Erdsystem-Theoretiker als viel zu hochgestochen. So

genau will er es nicht wissen. (Um ein Gas zu „verstehen“, muss man die Bewegungen der einzelnen Moleküle nicht verfolgen. Mittelwerte und deren Schwankungen sind interessant, nicht das eher zufällige Detail.) Davon abgesehen, haftet den GCM der Makel von Theorien mit viel zu vielen freien Parametern an. An denen dreht man, bis die Klimavergangenheit<sup>10</sup> stimmt. Das untergräbt die Glaubwürdigkeit. Auf der anderen Seite sind schlichte Modelle, die lediglich (zonal und übers Jahr gemittelte) Energie- und Entropieflüsse bilanzieren, mathematisch `u n t e r b e s t i m m t`. Es bedarf dann einer physikalisch plausiblen Zusatzannahme, um eine Lösung unter der Fülle der möglichen auszuzeichnen. Man zieht gemeinhin diejenige vor, die auf `w o m ö g l i c h v i e l e r l e i` Art realisiert werden kann. Das aber ist der Kern von Entropie: die Anzahl mikroskopischer Realisierungsmöglichkeiten für einen gegebenen Makrozustand. (Eingebürgert hat sich der Logarithmus dieser Anzahl.) Man betreibt bei der Lösungssuche Entropiemaximierung!

Bei verrauschten Bildern beispielsweise ist man gut beraten, unter Beachtung dessen, was man sonst noch weiß, die Informationsentropie (Shannon-Entropie) zu maximieren, um das Optimum aus den Bilddaten herauszuholen.

Klimamodelle gewinnen an Akzeptanz, gelänge es, den Automatismus ausfindig zu machen, der ggf. auf den MEP-Zustand zusteuert. Bisher blieb es bei recht vagen Erklärungsversuchen. Gesucht wird eine systemische Instabilität. Die Chancen dafür stehen nicht schlecht: Das Wärmeleitvermögen der Atmosphäre ist, turbulenzbedingt, keineswegs in Stein gemeißelt. Es gilt: je turbulenter, desto effizienter die Zerstreuung der Wärme. Da bietet sich ein Angriffspunkt für eine positive Rückkopplung.

Zwischen den beiden Extremzuständen: (A) kein Wind, weil kein Tempera-

---

<sup>10</sup>Das ist eine `n o t w e n d i g e` Bedingung. `H i n r e i c h e n d` ist sie nicht. Aus der Tatsache, dass ein mathematisches Modell die Vergangenheit korrekt beschreibt, folgt nicht, dass es auch die Zukunft richtig prognostiziert. Man denke nur an das ptolemäische Epizykelmodell. Mit noch mehr Hilfskreisen hätte man die Messungen exakt darstellen können! Niels Bohr (1885–1962) pflegte vielleicht deshalb zu sagen, Vorhersagen seien schwierig, sofern sie sich auf die Zukunft bezögen. Dass die Anzahl freier Parameter so groß ist, hängt mit der nicht hinreichenden Auflösung der numerischen Modelle zusammen. Man muss die sog. Sub-Grid-Physik irgendwie beschreiben, also all das, was räumlich und zeitlich durchs Rechenraster fällt. Die Wirbel, die auf der Straße Staub aufwirbeln und Wärme erzeugen, sind z. T. nur Zentimeter groß. Die Auflösung der besten Klimamodelle, ihr horizontales Raster, beträgt hingegen Dutzende Kilometer. Das simpelste „thermodynamische“ Modell kommt im Extremfall mit nur `z w e i` Rechenboxen aus: Tropen und (jenseits  $\pm 30^\circ$ ) Extratropen! Eine hohe Auflösung ist nicht unbedingt erforderlich. Zur Validierung sind GCM-Studien allerdings unverzichtbar.

turunterschied, und (B) kein Wind, weil kein Wärmestrom, muss wenigstens ein Windmaximum liegen, ein MEP-Zustand. Angenommen, die Energiebilanz sei ausgeglichen<sup>11</sup> und der meridionale Wärmestrom liege unterhalb seines MEP-Wertes. Wir stören jetzt das System, indem wir (oder König Zufall) zusätzlich Wind machen. Dadurch, dass es böiger wird, also turbulenter, wird der Wärmetransport befördert und trotz fallenden Temperaturunterschiedes erhöht sich der Anteil der Bewegungsenergie am Wärmestrom: Es wird windiger. Diese positive Rückkopplung kommt zum Erliegen, ist das MEP-Stadium erreicht. Auf der anderen Seite des Windmaximums, bei einem Ausgleichswärmestrom jenseits seines MEP-Wertes, würde eine zufällige Zunahme der Turbulenz ebenfalls zu einer Selbstverstärkung führen, nun allerdings bei Verminderung des Wärmestroms und steigender Temperaturdifferenz. Wieder sollte sich der MEP-Zustand einstellen – die Windmaschine Erde ein selbst-regulierendes System?

Es gibt Einwände, berechtigte. MEP baue allein auf die Gültigkeit der beiden Wärmegeetze. Meteorologische Intuition aber fordert, die Rotation des Planeten müsse sich bemerkbar machen. Die Corioliskraft behindert den Ausgleich zwischen Hoch- und Tiefdruckgebieten und macht die großen Wirbel langlebig.

Ein ernster Einwand gegen die MEP-Hypothese: Die Hauptentropieproduktion bliebe unberücksichtigt. Das stimmt. Klimamotor ist die Sonne. In dem Moment, wo die solaren Photonen auf dem Boden aufschlagen, wird ihre Energie faktisch entwertet. Der Entropieanstieg, man könnte auch vom „Entropieschock“ sprechen, ist beim Sonnenbaden sogar spürbar, als wohlige Wärme. Ließe Sonnenenergie sich *v o r h e r* noch (durch Solarpaneele) in elektrischen Strom verwandeln oder (durch grüne Blätter) in chemische Energie (Zucker), ist sie *n a c h* dem Bodenkontakt dazu unfähig. Wertvolle (entropiearme) Sonnenenergie wurde auf einen Schlag zu (entropiereicher) Wärme degradiert. Natur ist nicht entropieeffizient! An der Anzahl der Kilowattstunden hat sich nichts geändert – es gilt das erste Wärmegeetz –, nur an ihrer Arbeitsfähigkeit. Die ist dahin – wegen des zweiten Wärmegeetzes. Man könnte mit Mephistopheles resigniert ausrufen: „Ein großer Aufwand, schmähhlich! ist vertan.“

Das ist unsere Chance! Anstatt uns am Winde zu vergreifen, dem schwächsten Glied in der Abfolge von Energieentwertungen (und dem Bringer des Wassers!), sollten wir Son-

---

<sup>11</sup>Laut NASA werden z. Z. 1/400 der einfallenden Strahlung nicht durch Abstrahlung kompensiert.



nenenergie direkt ernten<sup>12</sup>. Schluss mit der Energievergeudung durch die Natur! Es gibt keinen Mangel an freier Energie, nur ein Zuviel an unnötiger Entropie.

Oder kommt es nur auf die Maximierung der Entropieproduktion<sup>13</sup> beim horizontalen Wärmetransport vom Äquator zu den Polen an, weil an der Sonneneinstrahlung von oben nicht gedreht werden könne? Doch das geht von einer konstanten Albedo aus. Wolken- und Eisbildung aber erhöhen das Rückstrahlungsvermögen, was für die globale Energiebilanz<sup>14</sup> wichtig ist. Und was ist mit den Lovelock'schen Gänseblümchen? 1983 hatte James Lovelock (geb. 1919), um seine Gaia-Hypothese zu illustrieren, „Daisyworld“ kreiert, wo Pflanzen mittels der Albedo die Temperaturentwicklung ihres Planeten in einem für sie günstigen Sinne beeinflussen, unwissentlich und *à la* Darwin. An MEP scheiden sich die Geister. Main-Stream-Meteorologen halten nichts davon, sprechen von einer zufälligen Koinzidenz. Außerdem ist „ganzheitliches Denken“ den Naturwissenschaften fremd. Jedenfalls war es bisher nicht erfolgekrönt. Und auch Lovelocks „Gaia“ hat daran, bei aller Aufgeschlossenheit für's Holistische, nichts ändern können.

---

<sup>12</sup>Wie das klimaschonend geschehen könnte, ist durchaus unklar.

<sup>13</sup>Das läuft hinaus auf die Maximierung des Produkts aus Wärmestrom und seinem Treiber, dem Temperaturgradienten. Wärmestrom  $\times$  Effizienz  $\eta$  tut's auch.

<sup>14</sup>Venus, obgleich der Sonne näher als die Erde, sollte wegen ihrer 2 1/2-mal höheren Albedo eigentlich kälter als die Erde sein! Doch macht in ihrem Fall der Treibhauseffekt einen dicken Strich durch die Rechnung.