

**Liebe Leserin, lieber Leser,**

mit Blick auf Venus und Mars wird einem schnell klar: Klima ist eine dif-  
fzile Angelegenheit. Die Nachbarin der Erde ist CO<sub>2</sub>-bedingt heißer noch  
als Merkur! Sie hat übrigens wieder einmal Besuch bekommen. „Akatsuki“,  
einer japanischen Raumsonde, ist es im zweiten Anlauf gelungen, eine lange-  
streckte Umlaufbahn um die Venus einzuschlagen. Die Mission des *Climate  
Orbiter*: das Studium der Venusatmosphäre. Nachbar Mars ist geplagt von  
katastrophalen Klimaschwankungen. Schuld daran ist die Instabilität der Ro-  
tationsachse. Bei uns ist das klimaschädliche Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) in Kalkab-  
lagerungen gebunden, und Glück, unwahrscheinliches, haben wir auch: Wir  
sind Bewohner eines Doppelplaneten! Fest im Griff des Erdmondes, der für  
eine schnell präzedierende Erdachse sorgt, fehlen jene himmelsmechanische  
Resonanzen, die Klimakapriolen auszulösen vermögen. Der gute Mond ist  
ein Segen. Doch die Idylle ist bedroht, man denke nur an die industriell be-  
dingte Zunahme von Treibhausgasen in der Atmosphäre. Der eben zu Ende  
gegangene Weltklimagipfel zu Paris lädt ein, etwas elementare Klimakunde  
zu betreiben – natürlich aus Sicht des Astronomen. Wie sich dabei zeigt,  
sind der Windverstromung enge ökologische Grenzen gesetzt. An der Physik  
vorbei ist die Welt nicht zu retten.

Willkommen im Schaltjahr 2016!

Ihr Hans-Erich Fröhlich

**Der Himmel im Januar**

Das Jahr fängt für uns auf der Nordhalbkugel gut an: Am 3. Januar durchläuft  
die Erde auf ihrer Jahresbahn den sonnennächsten Punkt, das Perihel. Dass  
dies z. Z. im Nordwinter geschieht, ist, wegen der ungleichen Verteilung der  
Landmassen auf die beiden Hemisphären, klimawichtig. (Wäre die Erdbahn  
etwas exzentrischer, wäre „jetzt“ ein guter Einstiegszeitpunkt für eine neue  
Kaltzeit. Da in den Nordsommern z. Z. die Sonne relativ fern ist, könn-  
ten Schnee und Eis im hohen Norden die Sommer überdauern und sich so  
allmählich ausbreiten. Die Exzentrizität der Erdbahn variiert mit Perioden

von 96 000 und 400 000 Jahren. Der Unterschied in der Beleuchtung zwischen Perihel und Aphel kann bis zu 30 % ausmachen. Gegenwärtig sind es nur 6 %.) Am 9. Januar begegnen Venus und Saturn einander am Morgenhimmel. Die beiden kommen einander bis auf fünf Bogenminuten nahe! Kaum weniger eindrucksvoll: Zwei Tage zuvor, am 7. Januar, posiert das Planetenpaar zusammen mit der alten Mondsichel.

Merkur überholt im Januar auf der Innenbahn die Erde und wechselt von uns aus gesehen die Sonnenseite. Anfang Januar hält er sich noch östlich von ihr auf, Ende Januar westlich. Es kommt dann sogar zu einer kurzen Morgensichtbarkeit bis in den Februar hinein.

Mars und Jupiter werden immer günstiger, insbesondere Jupiter, welcher sich auf seine Opposition Anfang März vorbereitet. Am Monatsende ist er schon vor 21 Uhr über dem Horizont.

## Vom Klima

Klima ist mehr als ein politisch heikles Thema. Die Beschäftigung mit Planetenklimate ist faszinierende Wissenschaft! Unter Klima wird das über einen langen Zeitraum gemittelte Wetter einer Region verstanden. Durch das Mittel<sup>1</sup> von Klimadaten über Jahrzehnte verlieren Extremereignisse an Gewicht und langfristige Trends und Oszillationen werden sichtbar. Während Wetter wetterwendisch ist, sprich chaotisch<sup>2</sup>, und kaum über mehrere Tage vorhersehbar, wird dem Klima lediglich nachgesagt, es enthalte chaotische Elemente. Im Klartext heißt das, auch das Klima ist auf lange Sicht nicht prognostizierbar und „Überraschungen“ sind nie auszuschließen. Da es sich beim Erdsystem (Atmo-, Hydro-, Litho-, Bio-, Pedo- (Böden), Kryosphäre . . .) um ein komplexes nicht-lineares System handelt, ist das auch nicht anders zu erwarten. Klimaforscher weisen selbst gerne auf sog. *tipping points* (Umkipppunkte) hin, deren Überschreiten das Klimaregime grundlegend änderte. (Das 2-Grad-Ziel hat damit nichts zu tun. Es ist aus der Luft gegriffen und nicht physikalisch untermauert.)

Ist von Klimaveränderungen die Rede, geht es meistens um die Temperaturentwicklung. Schließlich waren es Kalt- und Warmzeiten, die das Antlitz

---

<sup>1</sup>Das Schätzen von Mittelwerten und Trends ist nicht trivial, zumal wenn die Statistik von zwar seltenen, aber verheerenden Ereignissen bestimmt wird!

<sup>2</sup>Das deterministische Chaos wurde 1963 von einem Meteorologen, Edward N. Lorenz (1917–2008), zufällig entdeckt. Auf Lorenz geht auch der „Schmetterlingseffekt“ zurück.

unseres Planeten in den vergangenen 2,6 Millionen Jahren entscheidend geprägt haben. Der Mensch hat sich dabei als Überlebenskünstler profiliert. Doch was bestimmt die Temperatur des Planeten?

## Elementares: die planetare Perspektive

Motor allen Wetter- und Klimageschehens ist die Sonne, ein kleiner heißer Fleck am kalten Himmel. Sie speist 120 PW (1 Petawatt =  $10^{15}$  W) wertvolle Energie<sup>3</sup> als (nahezu entropiefreie) Strahlung, ins Erdsystem ein. Im Gleichgewichtsfall wird der gleiche Energiebetrag, allerdings als (nunmehr entropiereiche) Infrarotstrahlung, *u n g e r i c h t e t* wieder abgestrahlt. Das geschieht, weil das All kalt und Energie spontan vom Warmen zum Kalten fließt. Unser Planet „lebt“ wie jede Wärmekraftmaschine vom Temperaturgegensatz: hier die 6000° heiße Sonne am Firmament, dort der 3K kalte Kosmos! Er profitiert nicht von den 120 PW an Energie, die werden ja – hoffentlich! – auf Heller und Pfenning wieder entsorgt. Worauf es ankommt, ist die exzellente Qualität der ins Erdsystem eingespeisten 120 PW, ihre Wärmearmut<sup>4</sup>, und die „niedere“ Qualität der abgestrahlten 120 PW. Kilowattstunde ist nicht gleich Kilowattstunde! Das Maß für die Nutzlosigkeit von Energie ist die *E n t r o p i e*.

Die Erdtemperatur pendelt um diejenige Temperatur, bei der die Erde im zeitlichen Mittel<sup>5</sup> so viel an Energie abstrahlte, wie sie von der Sonne empfängt<sup>6</sup>. Wegen der thermischen Trägheit der Ozeane mag es ein Jahrtausend dauern, bevor sich nach einer Störung wieder Strahlungsgleichgewicht einstellt.

Die Gleichgewichtstemperatur hängt vom Rückstrahlungsvermögen der Erde ab, ihrer Weißheit (Albedo), aber auch von der Durchlässigkeit der Lufthülle für langwellige Strahlung. Der dünne troposphärische Wasserdampfmantel,

---

<sup>3</sup>Dadurch, dass die solaren Photonen nahezu aus einer Richtung einfallen, handelt es sich, wie beim elektrischen Strom, um wertvolle Energie.

<sup>4</sup>Sonnenlicht enthält kaum Wärme! Die Wärme beim Sonnenbaden entsteht erst beim Aufprall der Photonen auf die Haut.

<sup>5</sup>Laut NASA werden derzeit 380 TW (Terawatt), also 0,38 PW, mehr ein- als abgestrahlt.

<sup>6</sup>Genau genommen gehört zur Energiebilanz der Eigenbeitrag der Erde (ca. 50 TW von unten) sowie das, was die Menschen zusätzlich, u. a. durch Freisetzung fossiler Sonnenenergie (Kohle, Erdöl, -gas), ins Erdsystem einbringen. Blicke es bei der augenblicklichen Wachstumsrate im Energiesektor, wäre der anthropogene Beitrag in 100, 200 Jahren nicht mehr zu vernachlässigen. Unser Tun heizt den Planeten.

der die Erdkugel einhüllt, behindert die Auskühlung und wirkt wie ein Pelzmantel. Ohne diese Dämmung würde die Erde die Sonnenenergie bereits bei  $-18^{\circ}\text{C}$  los. Nur dank des  $\text{H}_2\text{O}$ -Treibhauseffekts ist es gemütlich warm.

Jetzt kommt die Kugelgestalt der Erde ins Spiel. Sie bedingt, dass die Tropen pro Quadratmeter mehr Sonnenenergie abbekommen als die Polregionen. Dazu ein Gedankenexperiment: Im Falle einer Polystyrolkugel im All, müsste die empfangene Sonnenenergie wegen der hervorragenden Wärmedämmung an Ort und Stelle wieder veräußert werden, was sich in einem starken Temperaturunterschied zwischen dem Äquator und den Polen äußerte. Bei einer Kupferkugel im Sonnenlicht käme es wegen des hohen Wärmeleitvermögens von Kupfer hingegen zu einem Temperatúrausgleich. Der kupferne Planet wäre im Extremfall überall gleichwarm – wie übrigens bei einer „Scheibenerde“. Die Wirklichkeit liegt, was den Wärmeausgleich anbelangt, irgendwo dazwischen. Bei der Erde sorgt ein meridionaler Wärmestrom zu den Polen dafür, dass die Tropen gekühlt und die Polkalotten erwärmt werden. Der nordwärts gerichtete Energiestrom macht maximal 6 PWs pro Sekunde aus und wird transportiert (insbesondere in niederen Breiten) von Meeresströmungen wie dem Golfstrom und (insbesondere in höheren Breiten) von Luftströmungen. Die Zirkulation der Wassermassen wird durch die Verteilung der Landmassen eingeschränkt. Die Verschiebung der Kontinente, insbesondere das Öffnen oder Schließen von Barrieren (Landbrücken), wirkt sich erheblich aufs Klima aus.

## Klimaschwankungen

Das Klima ist über kurze und lange Zeiträume variabel. Der langfristige Trend: Seit 55 Millionen Jahren<sup>7</sup> wird es kälter – um ca. 20 Grad. So war es jedenfalls bis vor 21 000 Jahren. Seit dem wird es wieder wärmer. Mit der Abkühlung einher ging ein Rückgang des atmosphärischen  $\text{CO}_2$ -Gehalts. Die Konzentration sank von 0,2 bis 0,3 Vol.-% auf ein Minimum von 0,02 Vol.-% während der Kaltzeiten. Vermutlich probierte die Natur das CCS-Verfahren (Carbon Capture and Storage) aus. Entließe man den in den Kreidelfelsen

---

<sup>7</sup>Damals tummelten sich Krokodile am Polarkreis. Die ungewöhnliche Temperaturspitze, das PETM (Paläozän/Eozän-Temperaturmaximum), zeugt von einer Klimakatastrophe: Binnen weniger Jahre wurden drei Billionen Tonnen Methan ( $\text{CH}_4$ ) in die Atmosphäre entlassen, was die Temperatur um wenigstens 6 Grad in die Höhe schnellen ließ. Es bedurfte 100 000 Jahre, sich von diesem Methan„rülpsen“ zu erholen.

von Rügen, den Korallenriffen und sonstigen Kalkansammlungen gespeicherten Kohlenstoff als  $\text{CO}_2$  in die Atmosphäre, wir hätten Venusverhältnisse! Während der Eiszeit, seit vier Millionen Jahren, schwankte die Temperatur um 5 bis 6 Grad.

Klimaänderungen scheinen hausgemacht zu sein. Ändert sich die Albedo<sup>8</sup> (Wolken, Schnee und Eisbedeckung, Vulkanausbrüche, Begrünung ...) oder die meridionale Zirkulation (durch Änderung der Lage und Gestalt der Kontinente, des Salzgehalts des Meerwassers ...) oder die Durchlässigkeit der Lufthülle für langwellige Strahlung (durch Freisetzung von Methan beim Tauen von Dauerfrostböden, industrielle Verschmutzung mit Treibhausgasen etc.), ändern sich zwangsläufig die globale Gleichgewichtstemperatur wie auch das Temperaturgefälle zu den Polen.

Geht es um das Kommen und Gehen von Eisschilden ist die Expertise des Astronomen gefragt. Äußere Einflüsse vermögen nämlich Klimaumschwünge zu triggern.

Die für die Energiebilanz wichtige Sonneneinstrahlung ist über längere Zeiträume nicht ganz konstant. In den Sedimentschichten von Tiefseebohrkernen ist man in den 70er Jahren auf Periodizitäten von 23 000, 41 000 und 100 000 Jahren gestoßen. Wie 1920 von dem serbischen Astronomen und Mathematiker Milutin Milanković (1879–1958) vermutet! Die Perioden kommen aus der Himmelsmechanik. Es handelt sich um eine Kombination der Schwankungen von Richtung und Neigung der Erdachse sowie der Elliptizität der Erdbahn. Der Geophysiker Alfred Wegener (1880–1930) hatte diese Zyklen 1924 zur Erklärung der periodisch auftretenden Kalt- und Warmzeiten herangezogen. (Wegener war Nachrum beschert. Die zu seinen Lebzeiten bespöttelte Kontinentaldrift gehört inzwischen zur Allgemeinbildung.) Das Problem mit den Milanković-Zyklen: Die Schwankungen in der Einstrahlung sind eigentlich zu geringfügig, als dass sie sofort etwas bewirken können. Sie müssen durch diverse Rückkopplungen verstärkt werden. Auf der Hand liegt folgender Teufelskreis: Schnee und Eis erhöhen die Albedo, wodurch mehr Sonnenlicht reflektiert wird, was wiederum die Bodentemperatur erniedrigt, wodurch sich noch mehr Schnee und Eis ansammeln ...

Bleiben wir beim Astronomischen und bei rätselhaften Hebelwirkungen. Die Sonnenaktivität hat eine Periode von, Pi-mal-Daumen, elf Jahren. Hin und

---

<sup>8</sup>Um die Erde abzukühlen müsste man sie lediglich weiß „anstreichen“! Statt dessen behindern wir die Abstrahlung durch Eintrag von Treibhausgasen wie  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$  und Fluorchlorkohlenwasserstoffe (FCKW).

wieder setzt sie allerdings jahrzehntelang aus, so geschehen während der „kleinen Eiszeit“ in Europa und Nordamerika. Ob das sog. Maunder-Minimum der Sonnenaktivität zwischen 1645 und 1715 zufällig in die „kleine Eiszeit“ fällt, deren Höhepunkt um 1750 war, oder letztere sogar irgendwie bedingte, ist ungeklärt. Die geringfügigen flecken- und fackelbedingten Schwankungen der Sonnenhelligkeit können kaum als Erklärung dienen. Allerdings sind die Schwankungen, beschränkt man sich auf den energiereichen kurzwelligen Bereich (UV) des Sonnenspektrums, weit markanter. Leider ist kein Verstärkungsmechanismus bekannt, der so etwas zweifelsfrei klimawirksam werden ließe.

Übrigens, seit einiger Zeit deutet sich eine Abschwächung der Sonnenaktivität an. Die vergangenen Zyklen gaben immer weniger her. Begonnen hat der Abwärtstrend mit dem Internationale Geophysikalische Jahr (IGY) 1956. Doch keine Angst, eine Wiederholung der „kleinen Eiszeit“ scheint ausgeschlossen – „dank“ des menschengemachten CO<sub>2</sub>-Ausstoßes. Vielleicht erklärt der Rückgang der Sonnenaktivität sogar die Stagnation beim globalen Temperaturanstieg um die Jahrtausendwende. Aber das sind Spekulationen. (Überraschend wäre ein weiteres Langzeitminimum der Sonnenaktivität nicht: in den vergangenen 10 000 Jahren gab es, wie <sup>14</sup>C- und <sup>10</sup>Be-Messungen belegen, zwei Dutzend Langzeitminima. Auch andere Sonnen kennen Maunder-Minima in ihren Aktivitätszyklen.)

Rätselhaft ist, dass die Erde seit Jahrmilliarden ein gemütliches Plätzchen zu sein scheint, und das, obwohl die Ursonne nur 70 % der Leistung der heutigen hatte. Eigentlich hätte der Planet Erde bis vor kurzem völlig vereist sein müssen, wofür es aber geologisch keinen Hinweis gibt! Offenbar ist eine Art Thermostat am Wirken. Nur ein Treibhauseffekt kann uns eine „Schneeballerde“ erspart haben.

## Anthropozän

Seit anderthalb Jahrzehnten macht das Wort vom Anthropozän<sup>9</sup> die Runde. Insbesondere durch das großtechnische Verbrennen von Kohle, Öl und Gas stieg die CO<sub>2</sub>-Konzentration in der Luft von 0,022 Vol.-% auf inzwischen 0,04 Vol.-%. Das ist eine Verdopplung verglichen mit dem CO<sub>2</sub>-Minimum der letzten Kaltzeit. Und dabei verbleibt ein Großteil des CO<sub>2</sub> gar nicht in der Atmosphäre. Es wird von den Ozeanen aufgesogen, die dadurch versauern.

Es gibt eine empirische Korrelation: Hatten die Pflanzen das Sagen auf dem Planeten, war die CO<sub>2</sub>-Konzentration gering und das Klima kühl, dominierten hingegen die Tiere, war die CO<sub>2</sub>-Konzentration hoch und das Klima warm (Saurierzeit!). Es sieht so aus, als wäre nun das Tier Mensch der global Player. *Homo faber* betreibt spätestens seit Beginn der Industrialisierung Geo-Engineering!

Die Vereisung der Antarktis setzte bei Unterschreitung von 0,078 Vol.-% ein. Diese Konzentration würde beim gegenwärtigen Zuwachs von jährlich 0,00026 Vol.-% in 150 Jahren wieder erreicht. Als „wir“ vor 3 Millionen Jahren, man schrieb das Pliozän, vergleichbar hohe CO<sub>2</sub>-Konzentrationen hatten, war es zwei, drei Grad wärmer als heute und der globale Meeresspiegel lag 25 m höher.

## Geo-Engineering

Um der anhaltenden Erwärmung – 0,85 Grad seit 1880 – des Planeten Einhalt zu gebieten, müssten (a) sofort der CO<sub>2</sub>-Ausstoß (von gegenwärtig jährlich 35 Gt) drastisch verringert und (b) langfristig die Energieversorgung auf die Nutzung primärer Sonnenenergie<sup>10</sup> umgestellt werden.

---

<sup>9</sup>Das Anthropozän als gesonderte geologische „Schicht“ stratigraphisch zu etablieren machte Sinn, hinterließe der Beginn der Industrialisierung einen nachhaltigen Fußabdruck in der ferneren Geschichte des Planeten, was fraglich ist. Begann das Anthropozän nicht schon mit Ackerbau und Viehzucht? Selbst das PETM-Ereignis vor 55 Millionen Jahren, das das Eozän einläutete, ist in der planetaren Fieberkurve nur ein flüchtiger Ausschlag, kaum mehr als ein Ausrutscher. Was tatsächlich längerfristig nachweisbar wäre: Die globale Kontaminierung mit langlebigen Isotopen durch die Kernwaffentests in den 60ern.

<sup>10</sup>Selbst wenn eines Tages die Wasserstofffusion technisch beherrschbar wäre, löste dies zwar das Versorgungs-, nicht aber das Entsorgungsproblem: Man muss ja auch die z u s ä t z l i c h zur Sonneneinstrahlung ins Erdsystem eingespeiste Energie wieder loswerden, was auf eine Temperaturerhöhung hinausläuft, es sei denn, man striche Teile der Erde weiß an, um die Einstrahlung zu verringern.

Was den ersten Punkt anbelangt, die *D e k a r b o n i s i e r u n g* der Wirtschaft, gilt der Weltklimagipfel zu Paris als politischer Erfolg. Doch man mache sich nichts vor: (1) Staaten, die bislang vom Klimawandel profitiert<sup>11</sup> haben, werden sich nur halbherzig und keinesfalls freiwillig an Klimaschutzmaßnahmen beteiligen. (2) Man bedenke, dass der Energiekonsum weltweit sogar steigen muss! Ohne Wohlstand, also Energieumsatz, ist der Bevölkerungsexplosion, insbesondere in Afrika, nicht beizukommen. Alle Anstrengungen, das Klima zu retten, verpufften angesichts einer weiterhin rasant wachsenden Weltbevölkerung! (3) Zur Nutzung der Kernenergie wurde, wie man hört, so gut wie gar nichts gesagt. Das erscheint auf den ersten Blick verwunderlich, stammen doch im Gastgeberland der Konferenz, Frankreich, 70% des elektrischen Stroms aus Kernkraftwerken – und das nicht bloß CO<sub>2</sub>-neutral, sondern so gut wie CO<sub>2</sub>-frei! Vermutlich wollte man die ohnehin schwierigen Verhandlungen nicht noch zusätzlich erschweren<sup>12</sup>. (4) Dass den fossilen Energieträgern der Garaus gemacht werden soll, ist auch angesichts von ca. 3000 Toten<sup>13</sup> pro Tag, die diese Art der Energiebereitstellung kostet, nachvollziehbar. Die angebotene Alternative, erneuerbare Energien, ist es nicht! Sonne und Wind sind, geschieht kein Wunder bei der Entwicklung effizienter Speicher, voraussichtlich auf Jahrzehnte nicht grundlastfähig (und sicherlich auch nicht für jedermann erschwinglich).

Unbestritten ist Sonnenenergie das Mittel der Wahl – jedenfalls auf lange Sicht. Sie ist nahezu frei von Entropie und lässt sich deshalb theoretisch zu 95% verstromen, was nicht wundert, ist sie doch ein Strom (von Photonen)! Leider ist Von-der-Stange-Photovoltaik wegen des niedrigen Wirkungsgrades dunkler (und damit heißer) als die Unterlage, die sie abschattet. Auch Photovoltaik heizt (z. Z. unmerklich noch) die Umgebung auf! Auf die Windenergie wird noch gesondert eingegangen. Nur so viel vorweg: Mit einer überbordenden Windnutzung griffe man ins Klimageschehen ein, mit unabsehbaren Folgen, insbesondere was den Wasserkreislauf anbelangt. Windparks künden vom Einstieg ins Geo-Engineering!

---

<sup>11</sup>Durch die CO<sub>2</sub>-Düngung steigen zumindest quantitativ die landwirtschaftlichen Erträge.

<sup>12</sup>Egal, wie man zur Kernenergienutzung steht, eine im Sinne Sir Karl Poppers „offene“ Gesellschaft wird nicht ohne Not eine Tür zuschlagen, die sich eines Tages vielleicht als rettender Notausgang erweisen könnte.

<sup>13</sup>Zum Vergleich: Nach WHO-Angaben hat der Tschernobyl-Unfall weltweit insgesamt 9000 Menschenleben gekostet.



Techniker und Sozio-Ökonomen haben Szenarien<sup>14</sup> entwickelt, wie die Dekarbonisierung der Weltwirtschaft im Eilverfahren bewerkstelligt werden könnte, ohne dass deshalb das Wirtschaftswachstum zum Erliegen kommt. Vorgesprochen wird ein Energiemix aus Wind- und Sonnenenergie, Wasserkraft, Kernenergie, Verbrennung fossiler Energieträger im Verein mit CCS. Zum Maßnahmenpaket gehören weiterhin: Erhöhung der Energieeffizienz, dramatische Reduzierung bei Gebäudeheizung, -kühlung und -ventilation sowie Aufforstung und Bodenverbesserung, um die Biosphäre zu einer temporären Kohlenstoffsенke werden zu lassen.

Auch wenn z. Z. viel Enthusiasmus zu spüren ist, das Problem der Erderwärmung weltweit anzugehen, politischer Wille vermag Erfahrung und Klugheit nicht zu ersetzen. Gleichgültig, ob und wie wir energiepolitisch agieren oder reagieren, es steht ein Großexperiment in Sachen Geo-Engineering ins Haus – mit ungewissen Ausgang! Klima ist vulnerabel, das Herumspielen an dieser komplexen und unverstandenen Maschinerie gefährlich und das geopolitische Konfliktpotenzial gewaltig. Der Blick zurück ist auch nicht gerade ermutigend: Zu Zeiten des Kalten Krieges gab es Überlegungen, das Wetter zu manipulieren. Der Mathematiker John von Neumann (1903–1957), einer der brilliantesten Köpfe seiner Zeit und Konstrukteur eines Computers zur Wettervorhersage, hatte seinerzeit davor gewarnt. Die Auswirkungen seien unvorhersehbar und verheerender noch als ein Kernwaffenkrieg.

## Schwachstelle Windverstromung

Dass man auf alternative Energiequellen umsteigen solle, sagt sich leicht dahin. Das Fehlen von handlichen<sup>15</sup> und effizienten Energiespeichern wurde bereits moniert. Gravierender ist: Windenergie ist endlich! Es handelt sich ja um sekundäre Sonnenenergie, Energie, die bereits entwertet wurde! Im Moment des Aufpralls auf die Erdoberfläche verliert die Sonnenenergie die Fähigkeit, Arbeit zu verrichten. Thermodynamisch gesprochen, wird jede Menge Entropie erzeugt (etwas, was dem Techniker ein Gräuel ist). Aus hochwertiger Energie wird schlagartig minderwertige Wärme. Nun steht nur

---

<sup>14</sup>Man werfe einen Blick in den vom UN-Generalsekretär Ban Ki-moon in Auftrag gegebenen Bericht „Pathways to deep decarbonization“ (2015).

<sup>15</sup>Mechanische Speicher (z. B. Pumpspeicherwerke) sind zwar effizient aber unhandlich: Sie zerstören die Landschaft wie es derzeit Tagebaue tun. Chemische Speicher wären zwar handlicher, aber sie sind immer noch ineffizient. Wärmespeicher entwerten die Energie. Sie produzieren unnötig Entropie.

noch der lächerliche Temperaturunterschied zwischen Tropen und Polkalotten zur Verfügung, ein wenig wertvolle Energie dem Ausgleichswärmestrom abzugewinnen. Die relative Temperaturdifferenz heißt Carnot-Wirkungsgrad der Wärmekraftmaschine Erde. (Man kann es auch so sehen: Wäre die Erde eine Scheibe, gäb's gar keinen Wind!) Nur *p r i m ä r e* Sonnenenergie ist nahezu unerschöpflich – was die grünen Pflanzen<sup>16</sup> wissen! Von den erwähnten 6-PWs/s-Ausgleichswärmestrom, den sich Meeres- und Luftströmungen teilen, entfallen lediglich 1 bis 2% auf nutzbare Bewegungsenergie, was die Zweitrangigkeit bezeugt. Nur die Bewegungsenergie einer Strömung ist (teilweise) verstrombar, nicht deren Wärmeinhalt. (Selbst ein Orkan enthält 100-mal mehr Wärme als Wind!) Um der Ökologie willen, sollte man höchstens wenige Prozent des vorhandenen Windpotenzials verstromen, will man keine irreversiblen Schäden<sup>17</sup> riskieren. Wie vom Max-Planck-Institut für Biogeochemie in Jena zu erfahren<sup>18</sup>, sollten dem Winde weltweit keinesfalls mehr als 5 TW entzogen werden. Jedem stünden damit 700 W Windleistung zu. Auf die Bundesrepublik entfielen anteilmäßig 60 GW. Die installierte Windturbinenleistung hierzulande liegt inzwischen bei 40 GW<sup>19</sup>.

Wohin eine Energiewende ohne Möglichkeit sachgerechter Speicherung führt, kann man in Potsdam „bestaunen“. Hier ist ein gewaltiger Wärmespeicher entstanden, der wertvolle Energie aus Gas, Sonne und Wind – ohne diese zuvor nützliche Arbeit verrichten zu lassen! – sofort zu billiger Wärme degradiert<sup>20</sup>, die man überdies nicht benötigte, wären die Gebäude, die man damit heizt, gehörig wärmegeklämt. Leider ist Schilda wegen einer (dem Physiker) unbegreiflichen weil widersprüchlichen Förderpolitik überall ... Hinter all dem steht der Irrglaube, die „Erneuerbaren“ seien unbegrenzt und gratis, und man könne insbesondere mit der Ressource Wind ohne Rücksicht auf die Nachbarn aasen. Und das, obwohl ein Volkslied physikalisch korrekt

---

<sup>16</sup>Als die Photosynthese „erfunden“ wurde, hatte dies den Planeten an den Rand des Abgrunds gebracht. Die Sauerstoffanreicherung war eine ökologische Katastrophe. Jetzt ist sie ein Segen.

<sup>17</sup>Im günstigsten Fall wird Windenergie abgebaut!

<sup>18</sup>Vgl. A. Kleidon, Mai 2012, Physik in unserer Zeit, 43, 136–144

<sup>19</sup>40 GW (Gigawatt) sind unvorstellbar: Sie entsprechen vom Energieumsatz der Explosion von täglich 64 Hiroshimabomben. Der Vergleich veranschaulicht, welche Anforderung an effiziente Energiespeicher zu stellen sind und welcher thermischen Belastung der Industriestandort Deutschland ausgesetzt ist. Energie endet stets als Abwärme in der Umwelt!

<sup>20</sup>Man nennt das *power-to-heat*. Ein *g e o r d n e t e r* Strom von Elektronen wird in *u n g e o r d n e t e* Bewegung von Molekülen überführt. Diese Wertvernichtung ist unumkehrbar.

konstatiert: „Seht, der Wind treibt Regen übers Land!“.

Die Erfahrung mit bisherigen Großprojekten ist ernüchternd. Zu oft kam es anders, als gedacht. Dass wir dennoch bisher Glück gehabt haben, heißt nicht, dass wir auch weiterhin Glück haben werden. Lassen wir John von Neumann das Schlusswort. Er meinte einst, es gäbe zwar kein Rezept für Erfolg, aber wenigstens wisse man, was vonnöten ist: Geduld, Flexibilität und Intelligenz.