

Liebe Leserin, lieber Leser,

„Gaia“ ist inzwischen auf dem Weg zum Lagrangepunkt L_2 im System Sonne-Erde, von wo aus die astrometrische Vermessung des Milchstraßensystems erfolgen soll. Obwohl das Raumobservatorium rund anderthalb Millionen Kilometer weiter von der Sonne entfernt sein wird als es die Erde ist, beläuft sich die Umlaufzeit um die Sonne auf genau ein Erdjahr. Die Erde steht immer zwischen dem Raumflugkörper und der Sonne. Gaia „spürt“ deshalb eine zur Sonne gerichtete Anziehungskraft, die die der Sonne stets ein wenig übertrifft. Deshalb schafft Gaia einen Umlauf in einem Jahr.

Gaia oder auch Gäa ist in einem älteren Zusammenhang der Name der personifizierten Erde, eine Urgottheit, die lange vor dem neuen Göttergeschlecht, Jupiter und Konsorten, das Sagen hatte. Ihr mythischer Gegenpol ist Äther, der „obere Himmel“.

„Gaia“ steht aber auch für eine wissenschaftliche Vision, die Vorstellung, dass Leben sich nicht bloß an verändernde Bedingungen passiv anpasst, sondern *scheinbar* zielgerichtet auf ein Milieu hinwirkt, das ihm förderlich ist. Die Bewohnbarkeit der Erde sei, so die provokante Behauptung, auch dem Mitwirken der Bewohner geschuldet. So etwas stimuliert die Forschung ungemein! Der rationale Kern dieser Idee, die schon Denker, wie Wladimir Wernadski (1863–1945) inspiriert hatte, findet sich wieder in der inzwischen etablierten Betrachtung der Erde als komplexes biogeochemisches System. Der Neologismus „Geophysiologie“ macht die Runde.

Schöpfer des Gaia-Konzepts Anfang der 70er Jahre des vorigen Jahrhunderts sind der Chemiker, Biophysiker, Mediziner, Erfinder und Gärtner James Lovelock (geb. 1919) sowie die Biologin Lynn Margulis¹ (1938–2011). Lovelock war lange Zeit, bevor er sich aus Gründen des Umweltschutzes für die Nutzung der Kernenergie stark machte, eine Ikone der Ökologie-Bewegung. Er war der erste, der auf die Bedrohung der Ozonschicht durch Fluorchlorkohlenwasserstoffe (FCKW) hingewiesen hatte.

¹Für Margulis ist die gegenwärtige Zelle aus einer Symbiose hervorgegangen. Zellorganellen, wie die Chloroplasten und Mitochondrien (Zellkraftwerke) seien einst eigenständige Mikroorganismen gewesen, so ihre Behauptung. Die streitbare Biologin war in erster Ehe mit dem Astronomen und Exobiologen Carl Sagan (1934–1996) verheiratet.

Für das angefangene Jahr wünscht alles Gute

Ihr Hans-Erich Fröhlich

Der Himmel im Januar

Das neue Jahr beginnt mit Neumond. Da der Mond am Neujahrstag der Erde besonders nahe ist, ist der Neumond besonders groß, was aber niemanden auffallen wird. Der Vollmond am 16. Januar ist dafür der kleinste des Jahres. Der Mond durchmisst Stunden zuvor den erdfernsten Punkt seiner Bahn.

Am 4. Januar kommt die Erde auf ihrer Jahresbahn der Sonne bis auf 147,1 Millionen Kilometer nahe. Näher geht nicht.

Tags darauf steht der Jupiter, von uns aus gesehen, der Sonne gegenüber. Er ist in Oppositionsstellung und die ganze Nacht über sichtbar. Auch er ist uns dann besonders nahe. Markant ist sein Aufenthaltsort unter den Sternen: das Sternbild der Zwillinge.

Mars ist ab Monatsmitte in der ganzen zweiten Nachthälfte sichtbar. Wo? In der Jungfrau, nahe Spika.

Venus nähert sich am Himmel rasant der Sonne. Ihre Tage als Abendstern sind gezählt. Am 11. Januar zieht sie nördlich an der Sonne vorbei und befindet sich danach westlich von ihr. Als Morgenstern ist sie am Monatsende bereits zwei Stunden vor der Sonne „auf den Beinen“.

Gegen Monatsende kommt es auch zu einer Abendsichtbarkeit des Merkur. Bei guter Durchsicht sollte er in WSW nach Sonnenuntergang knapp überm Horizont zu sehen sein.

Der „gepufferte“ Planet

Die Erde ist, von außen betrachtet, ein „unmöglicher“ Planet. Ein Beispiel: Ihre Atmosphärenchemie ist völlig aus dem Gleichgewicht. Sauerstoff ist eine reaktionsfreudige Chemikalie. Sauerstoff verbrennt (oxidiert) alles und sollte infolgedessen binnen weniger Tausend Jahre verschwinden – es sei denn, er würde ständig nachgeliefert. Verdächtig auch die Spuren von Methan. Sauerstoff und Methan können nicht miteinander. Keine Koexistenz möglich, jedenfalls nicht auf Dauer²! Es ist das Leben, das das Nichtgleichgewicht

²Die Verweilzeit von Methan in der Atmosphäre liegt bei zwölf Jahren.

hervorgebracht hat und aufrechterhält.

Lovelock sah zu der Zeit, als er für die NASA am Viking-Projekt arbeitete, im chemischen Gleichgewicht³ der Marsatmosphäre ein starkes Indiz für die Unbelebtheit des roten Planeten.

Die grünen Pflanzen spalten mit Sonnenlicht Wasser und setzen Sauerstoff frei, die Tiere das Methan⁴. Methan ist als Treibhausgas berüchtigt noch als Kohlendioxid. Wie ich las, war es erdgeschichtlich stets warm, hatte Fauna die Oberhand, und kalt, gab Flora den Ton an.

Die Erde ist nicht nur chemisch aus dem Gleichgewicht. Am Boden des Luf-tozeans ist es 30 Grad wärmer als notwendig. Dies ist einem wärmenden Mantel aus Wasserdampf geschuldet. Wasserdampf ist für Infrarotstrahlung nahezu undurchlässig – weshalb Infrarotastronomen sich in große Höhen zurückziehen, um den troposphärischen Wasserdampf möglichst unter sich zu lassen. Nur eine an der Oberfläche überhitzte Erde wird die Sonnenenergie, die sie empfängt, auch wieder los. Wasserdampf ist für das Leben ein lebensnotwendiges Treibhausgas. In der Urzeit, als das Leben in der Wiege lag, hatte die Sonne noch nicht ihre heutige Leuchtkraft. Eigentlich hätte unser Planet bis vor kurzem von einem Eispanzer überzogen sein müssen. Irgendetwas (Methan?) hat dies frühzeitig verhindert und dafür gesorgt, das durchgängig akzeptable Temperaturen geherrscht haben.

Durch das Verbrennen von Kohle, Öl und Gas gelangen jährlich rund 30 Milliarden Tonnen Kohlendioxid in die Luft. Tendenz steigend. Doch wo verbleibt das Treibhausgas? Fast die Hälfte des anthropogenen CO₂-Eintrags verschwindet in den Ozeanen⁵. (Kein Wunder also, dass die „sauer“ reagieren.) Die Wassermassen wirken wie ein CO₂-Puffer.

Bemerkenswert ist auch die thermische Trägheit der Ozeane. Sie speichern enorme Wärmemengen bei nur geringfügiger Änderung der Temperatur⁶. Die

³Allein die UV-Strahlung der Sonne sorgt durch photochemische Reaktionen für ein mildes Nicht-Gleichgewicht. Der abiotisch entstandene Sauerstoff hat im Falle des Mars Oberflächenmaterial oxidiert. Daher die rostrote Färbung!

⁴Heutzutage ist allerdings der Reisanbau eine wesentliche Methanquelle.

⁵Was Ozeane und Lufthülle an CO₂ untereinander austauschen, macht etwa das Zehnfache des menschlichen Eintrages aus. Im Wasser ist 50mal mehr CO₂ gespeichert als in der Luft.

⁶Ließe sich die Wärme der Weltmeere nutzen – was physikalisch wegen der Unmöglichkeit eines Perpetuum mobiles 2. Art ausgeschlossen ist –, gäbe es keine Energiesorgen. Der gegenwärtige Energiebedarf der Menschheit entspräche einer jährlichen Abkühlung von nicht einmal einem Tausendstel Grad!

merkliche Abkühlung durch den Krakatauausbruch 1883 lässt sich noch jetzt als Temperaturanomalie im Meerwasser nachweisen!

Die Beispiele offenbaren Selbstregulierung. Die Erde agiert, als System gesehen, wie ein *Homöostat*. Man kennt das bevorzugt von biologischen Systemen. Die Konstanthaltung des inneren Milieus (Körpertemperatur, Blutzuckerspiegel etc.) ist allen höheren Lebensformen eigen.

In seiner Schrift „Was ist Leben?“ aus dem Jahre 1943 arbeitet der Physiker Erwin Schrödinger (1887–1961) ein wesentliches Merkmal lebender Systeme heraus: „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.“

Diese Beschreibung trifft auch auf den Planeten Erde zu! Ihre „Nahrung“ ist entropiearmes Sonnenlicht, Schrödingers „negative Entropie“. Später wird man verkürzt von *Negentropie* sprechen. Der Entropie⁷ (Abwärme) entledigt sich der Planet mittels Infrarotstrahlung. Das gelingt, weil das All mit -270°C kälter als die Erde ist.

Entropie ist auch ein Maß für Unordnung. Die Unordnung muss raus, damit – entgegen dem allgemeinen Hang zum Zerfall und Niedergang – Ordnung aufrecht erhalten werden kann. Schon der Erhalt des *status quo* erfordert dauernde Anstrengung, also Arbeitsleistung. (Man denke nur an das aufreibende Aufräumen eines Kinderzimmers!) Alle Arbeit aber wird durch Reibung letztlich zu Wärme entwertet. Der Wärme„müll“ kann nur durch Strahlung entsorgt⁸ werden. Wie man sieht, Sonne allein reicht nicht zum Leben! Es bedarf auch des Alls Kälte, um Ökologie wie Ökonomie am Laufen zu halten.

Daisyworld

Um sich gegen den Vorwurf des Anti-Darwinismus zur Wehr zu setzen, ersann Lovelock 1982 ein Gedankenexperiment, eine „Gänseblümchenwelt“, die im Computer simuliert werden kann. Auf einem fiktiven erdähnlichen Planeten wachsen ausschließlich Gänseblümchen. Zwei Arten davon gibt es: solche mit hellen Blütenblättern und solche mit dunklen. Die mit den dunklen

⁷Entropie ist ein Maß für die Menge an Zufall, die in einer Energieform steckt.

⁸Um allein die Unordnung durch Wasserverschmutzung wieder loszuwerden, benötigt jeder Bundesbürger etwa einen Quadratmeter strahlender Erdoberfläche. Sortieren, Recyceln macht Arbeit, und die setzt Wärme frei, die der Planet loswerden muss.

Blütenblättern beuten selbst spärliches Sonnenlicht noch aus und vermehren sich bei niedriger Temperatur. Die mit den hellen Blütenblättern verkräften mehr Sonne, weil sie das Sonnenlicht abweisen. Beide Arten gedeien am besten bei 22,5° C. Den Gänseblümchenplaneten bescheint eine Sonne, deren Helligkeit allmählich zunimmt. Anfänglich ist es noch kühl und nur dunkle Gänseblümchen haben eine Chance. Da sie dunkel sind, ist die Albedo des Planeten, sein Rückstrahlungsvermögen, niedrig.

Wie man weiß, hängt die sich einstellende Gleichgewichtstemperatur, sieht man vom Treibhauseffekt ab, empfindlich von der Albedo ab. Eine Erhöhung der Erdalbedo um nur einen Prozentpunkt, von 30 auf 31 %, würde bei unveränderter Einstrahlung die Temperatur bereits um ein Grad erniedrigen – weshalb Plan-B-Szenarien durchweg auf eine Albedoerhöhung setzen, eine künstliche Aufhellung des Planeten, um der Erderwärmung zu begegnen!

Dank der dunklen Gänseblümchen ist der Planet bei schwacher Sonnenbestrahlung wärmer als er es ohne Gänseblümchen wäre. Mit heller werdender Sonne steigt auch die Temperatur. Ist das Temperaturoptimum von Gänseblümchen überschritten, haben Blümchen mit hellen Blütenblättern einen Selektionsvorteil gegenüber der dunklen Konkurrenz. Wieder ist, dank der Albedoänderung, die Temperatur erträglicher als sie es ohne Gänseblümchen wäre. Simple Strahlungsphysik und Darwinsche natürliche Auslese – im Verein wirken sie wie ein Thermostat, der die Temperatur auf einem dem Leben zuträglichen Niveau hält. Jede Änderung der Einstrahlung wird mit einem geänderten Verhältnis der beiden Populationen pariert. Das geschieht ohne jede Absicht. Da ist niemand, der eingreift und steuert! Werde Hasen (Daisyfresser) und Füchse (Hasenfresser) auf Daisyworld ausgesetzt, beeinträchtigt dies die Temperaturstabilisierung nicht. Die Berücksichtigung der Rückwirkung der Lebewelt auf die Umwelt nimmt sogar das Chaos raus aus der Populationsdynamik. Zwar wird das System unübersichtlicher, es wird aber auch robuster! Artenvielfalt ist auf Gaia wirklich eine Versicherung gegen Katastrophen! Natürlich hat jeder Regler seine Grenzen. Man darf ihn nicht überfordern.

Kohlenstoffkreislauf

Es werden inzwischen mehrere Rückkopplungsmechanismen ernsthaft diskutiert, bei denen das Leben mitmischt, wohlgemerkt mikrobielles Leben, denn nur dieses gibt es seit Urzeiten. Den bekanntesten entdeckten vor über 30

Jahren Geochemiker. Er dürfte für die Temperaturkonstanz des Planeten Erde verantwortlich sein. Wird es aus irgendeinem Grund wärmer, nimmt die Luft mehr Feuchtigkeit auf. Es regnet mehr, wodurch Kohlendioxid aus der Luft ausgewaschen wird. Der leicht angesäuerte Regen lässt Kalk- und Silikatgestein verwittern. Kalk wird gelöst, gelangt in Gewässer. Durch die Düngung prosperiert das Plankton. Marine Kleinstlebewesen legen Panzer aus Kalziumkarbonat an, die nach dem Absterben zum Meeresboden absinken und sich dort ablagern. Steinkorallen tun ein Übriges. Kurz und gut, bei Erwärmung wird der Atmosphäre Kohlenstoff in Gestalt von Kohlendioxid entzogen und am Boden flacher Meere als Kalkstein deponiert. Weniger Kohlendioxid aber bedeutet weniger Treibhauseffekt, also Abkühlung. Es muss gesagt werden, dass dieser Regelmechanismus auch ohne die Anwesenheit von Lebewesen abliefe. Er wird aber durch Mikroorganismen, insbesondere solcher im Boden, enorm beschleunigt! Um sich der Bedeutung kalkbildender Mikroorganismen zu vergewissern, braucht man nur einen Blick auf die Kreidefelsen von Rügen zu werfen oder die Dolomiten zu durchwandern. Würde durch Hitze dieses Gestein zurückverwandelt, d. h. gelänge der aus dem Verkehr gezogene Kohlenstoff als Kohlendioxid plötzlich in die Atmosphäre, käme es zu einem galoppierenden Treibhauseffekt, und wir hätten binnen kurzem Venusverhältnisse.

Dass der Thermostat wirkt, zeigt eine Episode aus der jüngeren Erdgeschichte. Vor 55,8 Millionen Jahren kam es zu einem „Methanrülpsen“. Binnen weniger Jahre wurden Billionen Tonnen Methangas freigesetzt. Weltweit stieg die Temperatur um sechs, sieben Grad. Am Polarkreis tummelten sich Krokodile! Nach nur 140 000 Jahren war die Angelegenheit ausgestanden, und der Planet hatte sich vom Hitzeschock erholt. Das Eozän konnte loslegen und mit ihm der Vormarsch der Säugetiere.

Der Kohlenstoff wird nicht auf immer und ewig verbuddelt. Es ist ja vom Kohlenstoffkreislauf die Rede! Durch die Plattentektonik taucht Meeresboden in Hunderten von Jahrmillionen in den Erdmantel ab. Unter großer Hitze und hohem Druck wird Muschel- oder sonstiger Kalk thermisch in Marmor verwandelt und chemisch gespalten (wie im Kalkofen). Vulkane geben das Kohlendioxid an die Atmosphäre zurück.