

„Alles, was im Weltall existiert, ist die Frucht von Zufall und Notwendigkeit.“  
Demokrit (460–371 v. Chr.)

## Liebe Leserin, lieber Leser,

2009 ist ein „Darwin-Jahr“. Um Darwin kommt niemand herum, sagte ich mir, und nehme die Jubiläen zum Anlass, dieses eine Mal über Darwin zu plaudern. Dieser Herausforderung war nicht zu widerstehen, geht es doch um nichts weniger als um die Frage, wie Neues in die Welt kommt.

Seit dem Erscheinen der „Entstehung der Arten durch natürliche Zuchtwahl“ im November 1859 ist die Weltsicht eine andere geworden. Nicht nur für den Biologen. Charles Darwin (1809–1882) hat dem *Zufall* eine Bresche geschlagen. Das lag in der Familie. Francis Galton, einer der Begründer der modernen Statistik (ja, der mit dem Brett), war ein Cousin Darwins. Nun führt kein Weg mehr zurück. Die Welt denkt biologisch. Willkommen in der Moderne! Wissenschaftliche Naturerkenntnis erinnert stark an das „Kennenlernen“ der Erde durch die Organismen. Auch Entdeckungen und Erfindungen sind das Produkt des durch *Notwendigkeit* gezähmten *Zufalls*: Der Zufall ist die Mutter der Einfälle! Warum sonst die neuronale Pyronale im Gehirn? Viele Einfälle sind vonnöten, damit ein Mal ein guter darunter ist, soll der Chemie- und Friedensnobelpreisträger Linus Pauling gesagt haben. Und der Astronom Fritz Zwicky hat sogar, um der Kreativität auf die Sprünge zu helfen, vor Jahrzehnten ein originelles Verfahren entwickelt, womit man Problemlösen gewissermaßen *automatisieren* und Voreingenommenheit ablegen kann.

Der Gefahr der Beliebigkeit ist Naturwissenschaft nicht ausgesetzt: Die Wirklichkeit setzt Schranken und unterbindet damit das Ausufern unserer Eingebungen. (Oft sind unsere Hirngespinnste noch nicht einmal „verrückt“ genug, mit der Wirklichkeit Schritt zu halten!) Was vor diesem Richterstuhl Bestand hat, kann nicht völlig falsch sein. Es ist das Risiko, dass Hypothesen an der Wirklichkeit scheitern, das ihnen Glaubwürdigkeit verleiht. (Anders pseudowissenschaftliche Lehren: Hier wuchern Gedankenkonstrukte, weil die Möglichkeit des Scheiterns nicht vorgesehen ist.) Wenn etwas die Grundlagenforschung bedroht, ist es der Erfolgswang, nicht der Zufall.

Der Darwinismus hat Auswirkung auf die praktische Arbeit. So verwenden Astronomen die Theorie der Markowschen Ketten – von Zufallswegen! –, um Sternoberflächen zu kartieren. Die Flecken eines rotierenden Sterns verraten sich, obwohl der Stern nur ein Lichtpunkt ist, durch den Lichtwechsel. Der Zufall, sprich Markow, entwirft *mögliche* Landkarten. Die Auswahl der *wirklich* in Frage kommenden obliegt den Messungen und dem gesunden Menschenverstand.

Die Industrie laboriert schon seit längerem mit genetischen Algorithmen, um durch „Versuch und Irrtum“ zu technisch unkonventionellen Lösungen, beispielsweise im Auto- oder Flugzeugbau zu gelangen.

Sie sehen, über den Unruhestifter Darwin und was er angerichtet zu rasonieren, ist zeitgemäß! Ob diese Jahrhundertidee der Weisheit letzter Schluss ist, sei dahingestellt. Der Grundgedanke aber ist, wie alles Große, einfach: der Zufall schafft Gelegenheit, die Umwelt packt sie. Über das Wie streiten die Experten.

Eines astronomischen Jubiläums sei hier schon mal gedacht, weil man nicht wissen kann, ob es den Kosmos-Boten in zehn Jahren noch geben wird. Am 7. November 1919, berichtete die „Times“ von einer „Revolution in der Wissenschaft“. Der Engländer Eddington hatte bei der Sonnenfinsternis vom 29. Mail 1919 den von Einstein vorhergesagten Wert für die Lichtablenkung im Schwerfeld der Sonne bestätigt. Einstein avancierte zum Medienstar. Anfängliche Zweifel an der Richtigkeit der Messungen konnten von späteren Sonnenfinsternisexpeditionen ausgeräumt werden. Die Newtonsche Gravitationstheorie war damit zu einer guten Näherung degradiert. Für den Kosmologen gehört der Gravitationslinseneffekt längst zum Arbeitsalltag.

Genießen Sie die Ergüsse eines Bio-Laien über „Zufall und Notwendigkeit“ bitte mit der gebotenen Skepsis! Die „Fröhlich’sche“ Lesart der Dinge ist nicht unbedingt die vorherrschende!

Einen *zufällig* heiteren November wünscht Ihnen

Ihr Hans-Erich Fröhlich

## Der Himmel im November

Der Monat beginnt mit einer an sich belanglosen Koinzidenz. Trotzdem sehenswert, wie Mars in den Morgenstunden des 1. November vor der „Krippe“ (Praesepe) steht.

Venus nähert sich jetzt schnell der Sonne, Zeit, sich also vom Morgenstern für diese Sichtbarkeitsperiode zu verabschieden.

Mars kulminiert Ende des Monats bereits im Dunkeln, d. h. vor Anbruch der astronomischen Dämmerung (Sonne  $18^\circ$  unter dem Horizont). Er wandert vom Krebs (mit der Praesepe) zum Löwen.

Bleiben wir beim Löwen. Am 19. November wird das diesjährige Maximum der Leoniden-Aktivität erwartet. Der scheinbare Ausgangspunkt des Meteorstroms liegt im Löwen bzw. Leo. Die Erde kreuzt immer zu dieser Zeit die Trümmerwolke längs der Bahn des Kometen Tempel-Tuttle. Im November 1833 kam es zu einem regelrechten Meteorsturm. In diesem November ist damit nicht zu rechnen.

## „Zufall und Notwendigkeit“

Charles Darwin hatte herausgefunden – ohne den Vererbungsmechanismus zu kennen! –, dass *Variation*, das Abweichen von der Norm, innerhalb einer Art von Bedeutung ist. Dass ein jeder Artgenosse ein wenig aus der Art schlägt und dies auch vererbt, wusste man. Dass diese Bandbreite wichtig ist, weil das erst eine Auswahl (*Selektion*) durch die Umwelt erlaubt – was die Entstehung neuer Arten ermöglicht –, war neu. Nach der Kopernikanischen Wende war die Evolutionsidee der wohl wichtigste Meilenstein auf dem Wege der Entzauberung der Welt durch die Naturwissenschaft.

Das Zufällige und Ungefähre waren bis dato verpönt gewesen. Wir tun uns alle schwer damit, das Walten des Zufalls anzuerkennen. Selbst ihn mathematisch zu fassen, fällt schwer. Gott würfeln nicht, behauptete Einstein angesichts der Quantentheorie noch Jahrzehnte nach Darwin. (Die tiefen Denker des Abendlandes waren immer nur am *Wesen* der Dinge interessiert gewesen, der Essenz oder der Substanz. Das Wandelbare und erst recht das Zufällige galten als bloße *Akzidentien*. Nun entpuppte sich das verachtete Akzidentielle nicht nur als nicht bloß hinderlich, sondern sogar als wesentlich!)

Das Einsetzen des Zufalls in sein Recht war eine epochale Leistung. Für uns heutige steht zweifelsfrei fest, ein „rauschfreier“ Kosmos, einer bar jeden Zufalls, wäre auf immer und ewig „wüst und leer“ geblieben, ohne Sonne, Mond und Sterne – und ohne Leben.

Durch das Tor, das Darwin aufgestoßen hat, gehen nicht nur Naturforscher. Auch die Kunst eines Max Ernst beispielsweise nutzte systematisch das spie-

lerische Walten des Zufalls als Ausgangsmaterial, um surreale Welten zu erschaffen. Und in Goethes Faust ist es Mephistopheles, „des Chaos wunderlicher Sohn“, der für Bewegung sorgt.

Doch Zufall allein ist nicht kreativ. Seine Hervorbringungen müssen erst noch bewertet und ggf. fixiert werden. Kurz, zum Zufall muss sich die Auslese gesellen, soll Fortschritt möglich sein. Diese nun ist keineswegs zufällig. Sie ist diktiert von den Gegebenheiten, gehorcht also der Notwendigkeit.

Hierzu ein Gedankenexperiment:

Auf Ihrem Planeten ist es ausgesprochen stürmisch. Ihr Auto steht an einem Berg ohne einen Tropfen Benzin. Um trotzdem hinauf zu gelangen, wenn auch stockend, lösen Sie immer dann die Bremse, erfasst ein Windstoß von hinten Ihr Vehikel. Findig wie Sie sind, haben Sie das längst automatisiert. Eine Ratsche verhindert das Rückwärtsrollen. Es kann nur aufwärts gehen! Die wundersame Bergfahrt mit Bremse statt Benzin widerspricht keinem Grundgesetz der Physik! Die Arbeit leistet der (makroskopische) Tumult, sprich die Turbulenz.

Sie glauben mir nicht? Ich trage genau eine solche Vorrichtung mit mir herum: eine alte Automatikuhr. Die nimmt sich von meinen Armbewegungen, was ihr „passt“ und zieht damit über eine Schwungmasse die Feder auf. Die „unpassenden“ Bewegungen ignoriert sie – durch eine Ratsche.

Mittels Ratsche ein „Perpetuum mobile zweiter Art“ zu konstruieren, gelingt natürlich nicht. Ohne Temperaturunterschied ist der Wärmebewegung der Moleküle auf Dauer keine nutzbare Energie zu entlocken! (Die Feder, die die Klinke niederdrückt, ist das Problem!) Die „Ratschenforschung“ boomt aus einem anderen Grund: Mikro-Bio- und Nano-Technologen haben es die „Brown’schen Motore“ angetan.

Das Leben widerspricht nicht der *neueren* Physik. Es sprengt allerdings den Rahmen der Newtonschen Mechanik, wo keine Zeitrichtung ausgezeichnet ist. Physiker haben irgendwann eingesehen, dass Leben möglich ist, wofür sie mit Nobelpreisen bedacht wurden. (Pardon, es waren Chemie-Nobelpreise, aber das macht nichts! Chemie lässt sich, als einzige (?) Naturwissenschaft, *im Prinzip* auf die Physik zurückführen, reduzieren, sagt man). Die Physik der Selbstorganisation in offenen Systemen, fern vom Gleichgewicht, ist ein junger Zweig der nichtlinearen Physik. Das Leben hat, als offenes System im Energie- und Stoffaustausch mit der Umgebung, offenbar seine Nische weitab vom thermodynamischen Gleichgewicht gefunden. Es gibt dort „Inseln“ des Fließgleichgewichts, wo Struktur und Ordnung gegen den Zerfall

aufrechterhalten werden – ohne dazu eine „Lebenskraft“ zu bemühen.

Die Nichtgleichgewichts-Thermodynamik ist keine Erfindung der Lebewelt. Auch die globalen Windsysteme auf der Erde und anderen Himmelskörpern beispielsweise sind geordnete Strukturen. Sie „leben“ vom Wärmeausgleich zwischen den Tropen und den kalten Polargebieten. Und geordnete Muster (Bénard Konvektion) gibt's in jedem Kochtopf, der von unten (nicht zu stark) geheizt wird.

Äußern sich Physiker über die Dinge des Lebens, klingt das befremdlich. Da liest man in einem Buch von 1944: „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.“. Recht hat er, der Erwin Schrödinger. Die Kilokalorien, die wir futtern, wo bleiben sie denn? Sie erhöhen den Energiegehalt unseres Körpers nicht (sofern wir nicht zunehmen). Das einzige, was sich *messbar* ändert, ist der Entropiegehalt der Stoffe, die durch uns hindurchgehen. Was den Körper verlässt, Stoff und Wärme, ist entropiereicher als das, was er aufnimmt. Es stimmt: Wir leben tatsächlich von Negentropie, negativer Entropie.

Zur Erklärung: Entropie ist ein Maß für Unordnung (genauer: für die Anzahl der verschiedenen Möglichkeiten, einen Makrozustand zu realisieren). In jedem geschlossenen System nimmt die Entropie zu. Sich selbst überlassen, zerfällt alles. Die Zeit hat eine Richtung. Man altert.

So ein Physiker hat's leicht, er murmelt „Entropie“, und jedermann denkt, er habe etwas verstanden vom Leben. Dabei ist der Lebewelt mit Allgemeinheiten nicht beizukommen. Die Physik steckt den Rahmen ab, nicht mehr.

Doch am Rahmen ist nicht zu rütteln. Beispiel Industriegesellschaft, ebenfalls ein offenes System: Wir können alles recyceln – bis auf den Entropiemüll! Die Entropie muss raus, sonst stirbt dieser Organismus. Der Kampf gegen die Vergänglichkeit, den Zerfall, er erzeugt unvermeidlich Abwärme! All die Energie, die verwandelt wird, sie entschwindet, nutzlos, in den kalten Weltenraum. Gott-sei-dank! Unvorstellbar, bliebe sie hier stecken! Die Klima-Frage ist, bei *welcher* Temperatur entschwindet sie? Irgendwann benötigt die Erde Kühlrippen, will sie die anthropogene Abwärme loswerden, ohne sich selbst über Gebühr aufzuheizen.

Und die Informationsgesellschaft? Auch Informationsverarbeitung generiert Abwärme. Ein Bit bei Zimmertemperatur zu vernichten kostet (im Idealfall)

10<sup>-20</sup> Ws. Die Wolken über Großrechenanlagen, es sind die gleichen wie über den Kühltürmen der Kraftwerke.

Sehen wir von der Wärme aus dem Erdinneren ab, ist die Energiebilanz denkbar einfach: Was die Erde an Sonnenstrahlung erhält, gibt sie auf Heller und Pfennig wieder ab. (Ein Großteil wird übrigens sofort reflektiert.) Alles andere wäre eine Katastrophe. Und wovon leben dann die Pflanzen und die Tiere? Davon, dass die abgegebene langwellige Strahlung entropiereicher ist, als die empfangene kurzwellige! Der Entropieexport ist entscheidend. Die Energie, sie strömt durch die Lebewelt hindurch. Was hineingeht, kommt auch wieder – verwandelt – heraus.

Da dämmt einer sein Haus, denn „er heizt ja nicht die Umwelt“. Meint er. Egal, wie gut die Dämmung, jede Kalorie aus dem Ofen marschiert (im Gleichgewicht) schnurstracks durch die Wand. Er tut trotzdem Gutes. Bei guter Dämmung wird mit geringerer Heizleistung der Temperaturunterschied zwischen Innen und Außen aufrechterhalten. Die Umwelt wird immer geheizt, solange man heizt.

Zurück in die konkrete Lebenswirklichkeit. Das Darwinsche Erfolgsrezept ist denkbar einfach: Man „spiele“ ein wenig mit der Erbmasse (Genotyp), also mikroskopisch, und lasse das Ergebnis (Phänotyp) von der Umwelt, also makroskopisch, auf Tauglichkeit testen, schonungslos, wobei zur Umwelt inzwischen vor allem die Lebewelt selbst zählt. Schädliche Erbänderungen werden verworfen. Was nicht gerade schadet, geht den Weg durch die Generationen. Erfolgreiche Änderungen, also solche, deren Träger sich einer großen Nachkommenschaft erfreut, werden sich allmählich in der Population ausbreiten. Ein Professor aus Oxford setzt noch eins 'drauf. Für ihn sind Gene Viren, nahezu unsterblich, die sich des vergänglichen Körpers als Kopiergerät bedienen.

Der Zufallsgenerator ist längst kein Geheimnis mehr. So sind Punktmutationen, Lesefehler, beim Verdoppeln und Übersetzen des genetischen Codes unausweichlich – allein schon wegen der ungeordneten, thermischen Bewegung der Moleküle. Hinzu kommt bei der geschlechtlichen Vermehrung die Neukombination, das *crossing over* ganzer Genabschnitte. Der Zufall auf der molekularen Ebene, er manifestiert sich, unübersehbar, makroskopisch.

Schreibfehler gibt es nicht. Die Information fließt nur in eine Richtung. Erworbene Erfahrung ändert das Erbgut nicht! Die Speicherdichte ist traumhaft. In jedem Zellkern steckt eine CD. Die Information ist allerdings weitschweifig. MP3-Spezialisten hätten das besser hinbekommen. Aber das Leben hält

nichts von Datenkompression. Im Gegenteil, Weitschweifigkeit verbessert Lesbarkeit und merzt Fehler vielfach aus.

Nur ein kleiner Teil der DNS wird wirklich für die Eiweißsynthese benötigt. Noch vor Jahren hatte man 95% des menschlichen Erbgutes schlicht als „DNS-Schrott“ abgetan.

Übrigens, auch das *Lesen* des genetischen Codes ist eine Zufallsleistung, ein Ausprobieren. Die Mustererkennung wird ermöglicht durch die ungeordnete, thermische Bewegung! Trifft das richtige Molekül zufällig an die rechte Stelle – was nach menschlichen Zeitmaßen *sofort* geschieht – gibt's kein Zurück. Die zwischenmolekularen Kräfte schlagen zu und die Tür ins Schloss. Muster erkannt! Die Fehlerrate ist mit einem Prozent relativ hoch. Durch Korrekturmechanismen wird sie letztlich auf ca. 1 : 100 Millionen hinunter gedrückt: Eine höhere wäre abträglich, eine geringere verbaute Zukunft.

Zufallsverstärkung, das Durchschlagen von Quanteneffekten ins Makroskopische, ist nicht dem Leben allein vorbehalten. Das kennt meine Sparte auch: Die primordialen Schwankungen in der dunklen Materie, aus denen durch gravitative Verstärkungen *alles* hervorgegangen ist, haben ihre Wurzeln in Quantenfluktuationen kurz nach dem Urknall.

Nach einem anderen Zufallsverstärker wird noch gesucht: Wie vermögen die minimalen langperiodischen Änderungen in den Bahnparametern der Erde (Milankowitsch-Zyklen) Eiszeiten auszulösen? Steckt „stochastische Resonanz“ dahinter, die Tatsache, dass ein gewisses Maß an Rauschen Unterschwelliges über eine Auslöseschwelle hebt? Schwer zu glauben, aber Rauschen – in Maßen – „macht sensibel“.

Das, was sich seit 3 1/2 Jahrmilliarden hier abgespielt hat und immer noch ab„spielt“, ist zwar wunderbar, aber kein Wunder.

Dass nur der Bestangepasste, oder gar der Stärkste, überlebe, stimmt nicht. Das berühmt-berüchtigte „survival of the fittest“ soll auch gar nicht auf Darwin zurückgehen.

Von „Entwicklung“ oder „Evolution“ zu reden, ist rein sprachlich unzutreffend. Als ob das Kommende bereits irgendwie angelegt sei und sich, wie eine Blüte, bloß noch entfalten müsse! Nichts davon. Blind und vom Vorhandenen ausgehend stolpert die Evolution durch die Äonen, dabei zufällig durch Genmutationen zu immer entlegeneren Oasen in der Genlandschaft gelangend. Ein Zurück ist (in hochdimensionalen Räumen) beliebig unwahrscheinlich. Dieser Gang ist praktisch unumkehrbar. Wale und Delphine benutzen Lungen. Die im Keim angelegten Kiemen gehören dem stammesgeschichtlichen

„Vorleben“ an und sind nutzlos. Sie müssten noch einmal erfunden werden. Dieser von Zwängen bedrängte *random walk* durchs Reich der Möglichkeiten zeitigt notgedrungen – alle primitiven Nischen sind bereits besetzt – immer Komplexeres und Verletzlicheres.

Der Spezialist tritt auf, einer mit Spezialbegabung, der sich in seiner Nische bestens behauptet, ja sie sogar zu seinem Gunsten verändert – solange sich die Verhältnisse nicht plötzlich ändern. Der Primitive überlebt dank seiner Robustheit. Auf diesem Planeten haben immer noch die Mikroorganismen (z. B. Phytoplankton!) das Sagen, allein von der Biomasse her! Auf jeden von uns dürften hunderte Tonnen davon kommen. Diese Generalisten, die sich überall breit machen – nur jede 10. Zelle in unserem Körper gehört uns! –, haben bisher noch jede Katastrophe überlebt, was man von den Spezialisten nicht behaupten kann.

Das Gerede von Höherentwicklung sollte man sein lassen. *Fortschritt* ist eine Mythe. Er unterstellt eine Bewegung auf etwas hin, den  $\Omega$ -Punkt in Teilhard de Chardins visionärem Denken. Die Evolution, sie schreitet – *weg*. Eine Schöpfung, die von Ziel nichts weiß, ganz planlos frei – was ist daran auszusetzen? Sind Geschöpfe aus Zufall und Notwendigkeit etwa weniger wert? Ich meine nicht. Eine Aura des Einmaligen und Unwiderruflichen ist um sie. (Was für die Wissenschaft ein Problem ist, handelt sie doch gemeinhin von den Dingen, die sich *wiederholen*.) Macht das Sinn? Eine Menschenfrage. Aber wozu ein Sinnvakuum beklagen, wo man doch Hirn hat, (um) es zu füllen?

Ermutigende Worte dazu von meinem Lieblingsphilosophen: „Ich spreche übrigens ohne jedes Gefühl der Sinnlosigkeit, vielmehr in der panischen Überzeugung von der absoluten Bedeutungslosigkeit des Daseins, was leicht als Pessimismus missverstanden werden könnte. Es ist keiner.“ (Woody Allen)

Zufall ist negativ besetzt, weil er beim Glückspiel die Karten mischt. Sehen wir's positiv: Statt der Schöpfung Wunschkind zu sein, hat's halt nur zum Glückskind gereicht – unverdientermaßen. Es hätte leicht anders kommen können. Die genetische Bandbreite unter den Menschen ist gering. Wir alle entstammen einer *kleinen* Horde in Afrika. Die Erzählung von Adam und Eva enthält einen wahren Kern! Wie leicht hätte da etwas schiefgehen können!

Was ein Rätsel ist, dass das Universum gerade so gestrickt zu sein scheint, dass in ihm immer irgend etwas „los“ ist. Der Haupteinwand, der „Wärmeherd“, von dem zu Darwins Zeiten die Rede war, er ist durch die Hubble-Expansion aus der Welt geschafft. Durch die Ausdehnung des Weltalls und



die damit verbundene Abkühlung entsteht jene Entropiesenke, in die alle Unordnung der Welt entschwindet.

Andererseits, in einem unkreativen Universum, gäbe es auch niemanden, der sich darüber aufregen könnte.

Nach all dem Gesagten, erübrigt sich die Frage „Was kommt?“. Die Evolutionstheorie hat keine Vorhersagekraft. Die Zukunft ist kein Buch mit sieben Siegeln, sie ist ein unbeschriebenes Blatt! Die Naturgesetze lassen Raum für Experimente. Sie engen wenig ein. Die Evolution wird also weiterhin kurzfristig (von Generation zu Generation) ihre Entscheidungen treffen und in Kauf nehmen, dass dabei ein jedes Mal Möglichkeiten unwiderruflich wegbrechen. Ob der Schreibtischmensch, wie in einer Illustrierten zu sehen, tatsächlich die Krone der Schöpfung ist oder ein Übergang, wenn nicht gar eine Sackgasse, bleibt also abzuwarten. Wie ich las, steht „zu vermuten, dass die Schöpfung noch andere Kopfverkleidungen und Überkronen auf Lager hat.“ (G. Benn) Mit dem Quartär ist die Naturgeschichte nicht zu Ende. Bis die Sonne die Erde unbewohnbar macht, sind noch hundert Millionen Jahre Zeit. Die kann die „kulturelle Explosion“, getragen von Wort und Schrift, nimmer ausfüllen ... zu schnelllebig!

Darwin und seine Vor- und Mitdenker haben das Prinzip erkannt, seitdem gilt es, die Einzelheiten zu klären. Nur zwei Beispiele:

(1) Eine gute Idee ist Arbeitsteilung: Durch das Einverleiben eines Bakteriums, das es verstand, den Sauerstoff zur Energieerzeugung zu nutzen, des Mitochondriums, entstand in grauer Vorzeit die moderne Zelle! Auch die Chloroplasten in den Pflanzenzellen, photochemische Anlagen, seien einst eigenständig gewesen, liest man. Sie sind Nachfahren des Cyanobakteriums (der Blaualge), des Erfinders der Photosynthese.

(2) Dann, was hat es mit der „Kambrischen Explosion“ vor ca. 530 Millionen Jahren auf sich, einer Sternstunde der Evolution – und ein Problem für Darwin, dem dies viel zu schnell ging? In einem geologischen Augenblick waren sämtliche Baupläne höheren Lebens da! Womöglich haben Mutationen an Genen, die die Ontogenese steuern, solch dramatische Auswirkungen.

Heutzutage sind Evolutionsforscher nicht mehr auf Fossilienfunde allein angewiesen. Die DNS in einer jeden Zelle ist selbst ein lebendes Fossil. Ist die Mutationsrate bekannt, können Molekularbiologen aus den Unterschieden in den DNS-Sequenzen zweier Arten sich ausrechnen, wann sich deren Wege getrennt haben (sog. „molekulare Uhr“).

Dass es überhaupt Arten gibt, d. h. „Gemeinschaften von Individuen, die potenziell fortpflanzungsfähige Nachkommen miteinander zeugen können“, hat sicherlich mit dem Gerangel um ökologische Nischen zu tun. Einen zufällig erlangten Wettbewerbsvorteil genetisch zu verdünnen und damit wieder aufs Spiel zu setzen, macht keinen Sinn. Geographische Isolation begünstigt die Artenbildung und die biologische Vielfalt, wie wohl schon Darwin bemerkte, als er 1835 seinen Fuß auf die Galápagos-Inseln setzte und seine Beobachtungen an Finken machte. (Um die „Darwin-Finken“ ranken sich Legenden. Wie ich las, soll der junge Mann versäumt haben, zu notieren, von welchem Eiland seine Mitbringsel stammten.) Flora und Fauna sind durchaus von Insel zu Insel verschieden. Das ist es ja gerade! Eine der Inseln ist übrigens nach Charles Darwin benannt.

Abschottung war auch das Gebot einer anderen großen Stunde der Evolution, die der Geburt der Urzelle, des Oparinschen „Fettauges auf der Ursuppe“. Man musste seine Chemikalien zusammenhalten, sollten die chemischen Zyklen in Gang kommen. Die Membran ist halbdurchlässig: Entropie musste hinaus, damit darinnen Struktur und Ordnung spontan entstehen konnten.

Die Ribonukleinsäuren (DNS/RNS) enthalten die Informationen, die notwendig sind, um die Enzyme herzustellen, welche die Informationen auf den Ribonukleinsäuren lesen können, woran man ersieht, dass es schwierig werden wird, das Entstehen dieses ausgeklügelten Mechanismus zu erklären, eines Mechanismus, der allen Lebewesen auf der Erde anscheinend zu eigen ist.

Dem gebürtigen Potsdamer Ernst Haeckel, der von diesem zu durchbrechenden „Teufelskreis“ (Quelle: M.C. Escher) noch nichts ahnte, war 1868 bereits klar, dass das Leben spontan entstanden ist. Der biologischen Evolution muss eine chemische vorausgegangen sein. (Louis Pasteur war zu dieser Zeit noch anderer Meinung.)

Gesucht wird nun ein Makromolekülchen, vergleichbar mit der RNS, bloß kleiner, eine Chemikalie also, die Informationsträger und zugleich ihr eigener Katalysator ist. Sie muss mindestens so groß sein, ihren eigenen Kopiermechanismus zu codieren. Zwei dieser Molekülchen würden für den Anfang reichen, gesetzt sie kommen einander nahe! Einmal in Gang gekommen, konnte dann das Darwinsche Erfolgsrezept greifen und immer perfektere chemische und schließlich biologische Apparate erschaffen. Das Leben hat sich an den eigenen Haaren aus dem Sumpf gezogen. Im Computermodell soll der Münchhausen-Trick schon klappen.

Genährt wird die Hoffnung, der präbiotischen Evolution näher zu kommen,

ausgerechnet durch radioastronomische Beobachtungen, womit wir wieder bei der Astronomie wären. In den interstellaren Weiten, insbesondere beim galaktischen Zentrum, gibt es eine reichhaltige organische Chemie! Zu den Kohlenstoffverbindungen, die bisher entdeckt worden sind, zählen solch komplexe Moleküle wie  $\text{CH}_2\text{NH}_2\text{COOH}$ ,  $\text{C}_2\text{H}_5\text{OCHO}$ ,  $\text{C}_3\text{H}_7\text{CN}$ ,  $\text{CH}_3\text{OC}_2\text{H}_5$  und  $\text{HC}_{11}\text{N}$ . Das erste, Glyzin, ist eine Aminosäure, ein Eiweißbaustein! Das sind noch keine Makromoleküle, aber immerhin. Ob das Zeug die Bildung eines Planetensystems übersteht, ist eine andere Frage. Vielleicht wurde es ja später durch Kometen nachgeliefert. Wir halten fest: An Ausgangsmaterialien für die Biogenese war kein Mangel.

Was Leben ist, ob gar ein *global player*, das wird sich erst im größeren Zusammenhang erweisen. Bisher wissen wir nur von einem Planeten, dem das Leben seinen Stempel aufgedrückt hat. Weitere werden folgen. Da ist man zuversichtlich. Man hat die technischen Voraussetzungen, diese (Über)Lebensfrage anzugehen. Die Suche ist bereits im Gange! Die ESA wartete mit einem ehrgeizigen Projekt auf: *Darwin*. Eine Flotte von Infrarot-Teleskopen – im präzisen Formationsflug und als Nulling-Interferometer betrieben – sollte bei 1000 Nachbarsternen nach einer zweiten Erde suchen. „Nulling“ heißt, dass der alles überstrahlende Mutterstern durch Interferenz (phasengerechte Überlagerung) der Lichtbündel von den Einzelteleskopen ausgelöscht wird, der Planet aber nicht. Jetzt ist die Rede davon, mit der NASA gemeinsam einen Planetensucher zu starten.

Es geht um die Spektralanalyse von Planetenatmosphären. Eine Atmosphäre fern vom chemischen Gleichgewicht wiese auf Leben hin. Auch das irdische Leben hat ja die Gashülle unseres Planeten aus dem Gleichgewicht gebracht – und damit vor über zwei Milliarden Jahren eine globale Ökokatastrophe heraufbeschworen gehabt: die „Verpestung“ der stinkigen Uratmosphäre mit einem aggressiven und giftigen Abfallprodukt – Sauerstoff. Ohne das wasserspaltende Grünzeug (vor allem Phytoplankton!) verschwände der Luftsauerstoff binnen kurzem. Wasserdampf, Sauerstoff, Ozon und, im Verein mit diesen, Methan sind sog. Biomarker. Leben lebt vom Nicht-Gleichgewicht, produziert ein solches und verrät sich dadurch.

Der Dezember-Newsletter wird kürzer und rein astronomisch – versprochen! Aber der Darwin war mir halt wichtig.