

Liebe Leserin, lieber Leser,

es ist 40 Jahre her, dass Voyager 1 „im Vorbeiflug“ das Rätsel um die inneren Saturnmonde X und XII, Janus und Epimetheus, löste. Das Timing war perfekt, verweist doch der Monatsname „Januar“ auf den römischen Janus, den doppelgesichtigen Herrscher über Ein- und Ausgang. Janus, der Mond, war Mitte Dezember 1966 von Audouin Dollfus (1924–2010), einem französischen Planetenforscher, dessen bevorzugter Arbeitssort der Pic du Midi in den französischen Pyrenäen war, aufgefunden worden. Der Zeitpunkt war günstig: Von den hellen Ringen des Saturns waren nur noch die Kanten zu erahnen. Vielleicht aber hatte der Franzose den Epimetheus gesichtet gehabt. Es ist nicht mehr zu rekonstruieren. Epimetheus hat offiziell gleich drei Entdecker: der eine, Richard L. Walker vom U.S. Naval Observatory, Flagstaff, hatte ihn wenige Tage nach Dollfus fotografiert gehabt, die beiden anderen, Stephen M. Larson und John W. Fountain, fanden 1978 heraus, dass beide Monde sich e i n e Umlaufbahn teilen, was dann auch von Voyager 1 bestätigt wurde. Das Janus-Epimetheus-Pärchen ist für den Himmelsmechaniker ein Geschenk des Himmels. Rücken sie sich, was aller vier Jahre geschieht, auf die Pelle, tauschen sie, um Schlimmes zu vermeiden, fluchs die Bahnen. Auf diese Weise ist mal der eine dem Saturn wenige Kilometer näher, mal der andere. Obwohl sich beide Körper beim Näherkommen merklich gravitativ anziehen, sieht es wie Abstoßung aus: Der jeweils innere Mond ist schneller und nähert sich dem äußeren von hinten. Durch die Anziehung wird dieser gebremst, jener beschleunigt. Durchs Bremsen verliert zwar der äußer Mond an Höhe, nimmt aber Fahrt auf! Anders der innere Mond, der anfänglich schnellere: Er steigt, wird langsamer und bleibt zurück. Fazit: Die beiden kommen sich nie wirklich in die Quere.

Ebenfalls vor 40 Jahren, am 23. Januar, entwickelte in einem Seminarvortrag mit dem Titel „ 10^{-35} seconds after the Big Bang“ ein Mr. Alan Harvey Guth (geb. 1947) eine epochale Idee, die Idee vom i n f l a t i o n i s t i s c h e n Universum. Sie erklärt, wieso das All exakt mit Entweichgeschwindigkeit expandiert und überall gleich ausschaut, jedenfalls was die kosmische Hintergrundstrahlung anbelangt, auch 3-K-Strahlung genannt. Und um gravitative „Abstoßung“ geht es bei der Inflation auch.

Und eines Todestages ist zu gedenken. Vor 75 Jahren, am 6. Januar 1945, verstarb in Moskau der russisch-ukrainische Gelehrte Wladimir Iwanowitsch Wernadski (geb. 1863). Der Mineraloge, Biogeochemiker und Visionär sah die Erde als komplexes System (wie nach ihm der Gaia-Erfinder James Lovelock, geb. 1919). Er wurde gar mit „Darwin der Geowissenschaften“ titulierte. 1926 erschien sein Buch „Biosphäre“. 1944 kreierte er die „Noosphäre“¹, womit er als Naturphilosoph zum Ausdruck bringt, dass der Mensch vermöge des Denkens inzwischen zu einer geologischen Kraft aufgestiegen ist, die den Planeten schneller umgestaltet als es geistlose natürliche Kräfte vermögen. Der Mensch wird so zum Designer seiner Zukunft und hebt die Evolution auf eine neue Stufe. Doch Fortschrittsglaube ist auch nur Glaube, und Evolution vollzieht sich schweigend und planlos. Auch sind Sackgassen ihr nicht unbekannt. Heute spricht man schlicht und wertfrei vom Zeitalter des Anthropozän.

Willkommen im letzten Jahr des zweiten Jahrzehnts im dritten Jahrtausend – dem ersten der „zwanziger Jahre“!

Ihr Hans-Erich Fröhlich

Der Himmel im Januar

Am 5. Januar, kurz vor 9 Uhr, durchläuft die Erde wieder einmal das Perihel ihrer leicht elliptischen Bahn um die Sonne. Sie ist dann für einen Moment mit 147,1 Millionen Kilometern der Sonne so nahe wie irgend möglich. Dank Drehimpulserhaltung ist ihre Bahngeschwindigkeit dann mit 30,29 km/s so groß wie irgend möglich. Der Erde Geschwindsschritt spiegelt sich in der scheinbaren Bewegung der Sonne relativ zu den Sternen. Die winterlichen Tierkreiszeichen werden von der Sonne geschwinder durchmessen als die sommerlichen, was schon die Alten wussten. Claudius Ptolemäus (um 90 bis 160) lässt deshalb die Sonne die Erde auf einem exzentrischen Kreis umlaufen, dem sog. Deferenten, und auch diesen nicht mit konstanter Winkelgeschwindigkeit. (Eine Kepler-Bewegung auf einer Ellipse mittels Kreisbewegungen zu approximieren erfordert einen ziemlichen Aufwand an unnötiger Mathematik

¹Die „Noosphäre“ (Geist-, Bewusstseinhülle) bekommt in „Der Mensch im Kosmos“ (1955) des französischen Jesuitenpaters und Paläontologen Pierre Teilhard de Chardin (1881–1955) einen religiös-mystischen Touch. Danach vollzieht sich die Evolution, heilsgeschichtlich, auf einen Punkt Omega hin. Ihr wird ein Ziel unterstellt, das Einswerden von Geist und Materie!

– was Alfons² X. (1221–1284) von Kastilien, genannt der „Weise“, süffisant kommentierte: „Hätte Gott mich bei Erschaffung der Welt zu Rate gezogen, ich hätte es einfacher gemacht.“

Am 10. Januar verfehlt der Vollmond zwar den Kernschatten der Erde, es reicht aber zur Halbschattenfinsternis. Das unspektakuläre Schauspiel mit Höhepunkt gegen 20 Uhr 10 sei erwähnt, weil es die für uns einzige Verfinsterung im ganzen Jahr sein wird.

Venus baut ihre Position als Abendstern stetig aus, d. h., sie emanzipiert sich von der Sonne und gewinnt allmählich an Helligkeit. Am Abend des 27. Januar begegnet ihr der (lichtschwache) Neptun, an dem sie in wenigen Bogenminuten Abstand vorbei zieht.

Jupiter taucht am Monatsende westlich der Sonne am Morgenhimmel auf. Was er hinter sich hat, seine Konjunktion, steht Saturn noch bevor. Derzeit verbirgt sich dieser noch hinter der Sonne. Seine Konjunktion steht erst am 13. Januar an.

Inflation

Der „Urknall“ ist, im Nachhinein betrachtet, das Natürlichste von der Welt. Isaac Newton (1643–1727) hätte es wissen müssen: Eine nicht-rotierende druckfreie sphärische Materieansammlung, die von einer einzigen Kraft beherrscht wird, der Schwerkraft, muss, und sei sie auch noch so groß, (a) entweder in sich zusammenfallen, ein Vorgang, der im Laufe der Zeit immer mehr an Fahrt gewinnt (und für Sternbildung und Sterntod verantwortlich ist), oder (b) auseinanderfliegen, expandieren, wobei sich die Geschwindigkeit der Expansion durch die Massenanziehung im Laufe der Zeit verringert. Ein ewiger Stillstand, wie ihn sich u. a. Einstein anfangs noch vorstellte, er ist in Ermangelung einer weiteren Kraft, einer abstoßenden, nicht möglich.

Wir sprechen im folgenden von einem *k u g e l f ö r m i g e n* Universum, weil die hochgradige Symmetrie des Ganzen offenkundig ist: Egal, wohin man schaut, man sieht in etwa das Gleiche. Keine Richtung ist irgendwie ausgezeichnet. Und Rotation? Wogegen sollte sich das Universum drehen?

Theoretische Kosmologie basiert zwar auf der Einstein’schen Gravitationstheorie, seiner Allgemeinen Relativitätstheorie (ART), um die Basics zu ver-

²Nach ihm sind die „Alfonsinischen Tafeln“ (um 1272) zum Berechnen der scheinbaren Örter von Sonne, Mond und Planeten benannt.

stehen, muss man aber kein Relativistik-Experte sein. Die kosmologische Expansion beispielsweise ist durchaus im Rahmen der Newton'schen Physik behandelbar, sofern man sich nicht an Überlichtgeschwindigkeiten und ähnlichem (z. B. Horizonte) stößt.

Besonders einfach wird's, dehnt sich das homogene Kugel-Universum mit Entweichgeschwindigkeit v aus. Dann gilt die Formel³: $v = \sqrt{2GM/R}$, wobei M die in einer Kugel mit dem Radius R befindliche Masse ist. G bezeichne die Newton'sche Gravitationskonstante. Die Masse M kann durch die Dichte ρ ausgedrückt werden: $M = (4/3)\pi R^3 \rho$. Eingesetzt ergibt sich für die Expansionsgeschwindigkeit das Hubble-Gesetz: $v = H \cdot R$ mit $H = \sqrt{8\pi G\rho/3}$. Die Fluchtgeschwindigkeit, in diesem Fall die Entweichgeschwindigkeit, wächst proportional mit dem Radius der Kugel, die wir aus dem Universum herausgeschnitten haben. Der gegenwärtige Hubble-Parameter, H_0 , heißt nach Edwin Hubble (1889–1953) Hubble-Konstante, was Ausdruck unserer Kurzlebigkeit ist. Da die stoffliche Dichte des Universums expansionsbedingt abnimmt, muss auch H im Laufe von Jahrmilliarden kleiner werden. Was außerhalb der Kugel geschieht, ist aus Symmetriegründen ohne Belang. Wie Newton schon wusste, verschwindet die Anziehungskraft einer beliebigen (homogenen) Kugelschale auf eine im Innern befindliche Probemasse. Doch zurück zu unserer Ausgangsgleichung. Mit v als zeitlicher Radienänderung dR/dt kann sie als Differenzialgleichung gelesen und elementar integriert werden. Das Ergebnis, der Kugelradius als Funktion der Zeit t , ist ein Potenzgesetz: $R/R_0 = (t/t_0)^{2/3}$ mit $t_0 = 1/\sqrt{6\pi G\rho_0}$. Man kann $t_0 = (2/3)H_0^{-1}$ mit dem gegenwärtigen Weltalter⁴ – 13,8 Milliarden Jahre – identifizieren. Die gegenwärtige (kritische) Dichte, ρ_0 , liegt bei fünf Wasserstoffatomen pro Kubikmeter Weltraum.

Das Expansionsgesetz hängt von der Art der „Füllung“ ab. Bisher wurde von normalem Stoff ausgegangen, Materie, bei der der Druck⁵ nicht merklich zur Anziehungskraft beiträgt. Kosmologen sprechen von einem „Staubkosmos“. Der frühe Kosmos aber war ein Strahlungskosmos. Am Anfang war das Licht! Die Energiedichte der heißen Strahlung dominierte, und die Expansion vollzog sich in den ersten 10 000 Jahren nach dem Urknall langsamer, nämlich gemäß $R \sim \sqrt{t}$. Am Ende dieser Epoche war die Temperatur bereits auf

³Astronauten berechnen so die zweite kosmische Geschwindigkeit.

⁴Der Kehrwert der Hubble-Konstanten, H_0^{-1} , wäre das Weltalter bei ungebremster Expansion!

⁵Druck ist eine Energiedichte und wirkt gemäß $E = m \cdot c^2$ wie Massendichte anziehend.

30 000 Grad gefallen und zwei beliebige Punkte des Universums 10 000-mal näher beieinander als heute. Inzwischen ist die Strahlung dynamisch bedeutungslos. Gegenwärtig liegt ihre Temperatur mickrige 2,7 Grad⁶ über dem absoluten Nullpunkt.

Das Standard-Modell mit gebremster Expansion wirft Fragen auf:

(A) Die Temperatur der Hintergrundstrahlung ist bis auf 0,00001 Grad immer dieselbe, egal, wohin man blickt. Diese Isotropie ist ein Rätsel. Die ausstrahlenden Himmelsareale können niemals in thermischem Kontakt gewesen sein! Das ist das Horizont-Problem: Gegenden, die heutzutage nur wenige Grad am Firmament voneinander entfernt sind, haben bislang keine Notiz voneinander nehmen können. Sie befanden sich in der Vergangenheit außerhalb des Gesichtskreises der jeweils anderen Gegend – es sei denn, der frühe Kosmos sei irgendwie sehr viel kleiner gewesen als nach dem Standard-Modell zu erwarten . . .

(B) Das Universum muss von Anfang an mit Entweichgeschwindigkeit expandiert sein. Gesetzt, dass Gravitation immer nur anziehend wirkt, hätte die geringste Abweichung von der kritischen Dichte unweigerlich dazu geführt, dass es entweder längst wieder in sich zusammengefallen oder anderenfalls so schnell expandiert wäre, dass es nicht zur gravitativer Klumpenbildung hätte kommen können. In beiden Fällen gäbe es uns nicht! Man spricht von Feinabstimmung⁷. (Legt es die dumpfe kosmische Materie etwa darauf an, durch das Erschaffen von Astronomen sich selbst zu erkennen?)

Vielleicht hilft zur Illustration der Feinabstimmung ein Gedankenexperiment: das Abfeuern einer Kanonenkugel von der Erde ins All. Bei einer Abschussgeschwindigkeit von 11,2 km/s entschwindet die Kugel ins Unendliche, wobei sie „dort“ zum Stillstand kommt. (Bei mehr als 11,2 km/s erreichte sie nach unendlicher Zeit das Unendliche mit endlicher Restgeschwindigkeit.) Falls der Kanonier die zweite kosmische Geschwindigkeit um nur 0,01 % verfehlte, schlug die Kugel nach zwanzig Jahren wieder auf dem Erdboden auf, nachdem sie sich zwischenzeitlich bis zu 5000 Erdradien von der Erde entfernt hätte. Bei einer Verfehlung von 0,1 % schaffte die Kugel einen Maximalabstand von 500 Erdradien und stürzte nach 7 1/2 Monaten wieder zu Boden, bei 1 % wäre sie nach nur einer Woche wieder da, nachdem sie

⁶Die 3-K-Strahlung, ein Relikt des heißen Urknalls, war 1965 zufällig von Arno Penzias (geb. 1933) und Robert W. Wilson (geb. 1936) im Mikrowellenbereich entdeckt worden, wofür beide Bell-Physiker 1978 den Physik-Nobelpreis erhielten.

⁷. . . oder dem Flachheits-Problem, denn nur ein euklidischer, sprich flacher Kosmos, wo die Winkelsumme in einem aus Lichtstrahlen gebildeten Dreieck 180° beträgt, expandiert mit Entweichgeschwindigkeit.

es fast bis zum Mond geschafft hätte.

Es fällt schwer, an einen Zufall zu glauben, zumal das simple Expansionsmodell noch mit anderen Schwierigkeiten zu kämpfen hat. So werden z. B. keine magnetischen Monopole beobachtet.

Es war das Fehlen isolierter magnetischer Süd- und Nordpole, das Alan Guth vor vierzig Jahren auf die preisgekrönte Idee mit der Inflation brachte. Er war nicht der einzige. Auch seine russischen Kollegen Alexei Starobinsky (geb. 1948) und Andrei Linde (geb. 1948) dachten in diese Richtung.

Angefangen aber hat es mit Albert Einstein. Der war noch 1917 davon überzeugt gewesen, das Universum sei stationär. Weil das mit Gravitation allein nicht zu machen war, zauberte er die ominöse kosmologische Konstante Λ aus dem Hut, eine abstoßende Kraft. Als sich 1929 herausstellte, der Kosmos expandiert, erwies sie sich als unnötig⁸ und Einstein nannte sie die „größte Eselei seines Lebens“. Aber das Λ überlebte seinen Schöpfer — als Energiedichte ρ_{vak} des Vakuums: $\Lambda = 8\pi G\rho_{\text{vak}}$. Ja, die „Leere“ lässt sich quantenphysikalisch nicht auf Null festnageln. Das verhindert die Heisenberg'sche Unschärfe-Relation. Fluktuationen müssen sein. Berühmt ist der Casimir-Effekt: Zwei dicht beieinander liegende Platten im Vakuum ziehen einander messbar an, weil das Vakuum dazwischen „weniger“ ist als das Vakuum drumherum. Vakuum ist halt nicht gleich Vakuum.

Seebären fürchten folgende brenzlige Situation: Zwei Schiffe, die, nur von einem kleinen Zwischenraum getrennt, Seit an Seit liegen, erfahren eine mysteriöse Anziehung – weil zwischen ihnen etwas fehlt: Wellen, die auf dem offenen Meer vorhanden sind und dort (aber nicht zwischen den Schiffen) zum Wellendruck beitragen.

Betrachten wir die Radiusänderung einer Kugel aus einem „Material“, welches im wesentlichen aus **Z u g s p a n n u n g** bestehe, **n e g a t i v e m** Druck⁹ also. (Ein sog. „falsches“ Vakuum besitze diese Eigenschaft, wie Höchstenergiephysiker beteuern, ein Hinweis, der hier genügen möge.) Bei konstanter räumlicher „Dichte“ des Materials ist die Beschleunigung am Kugelrand dem Kugelradius proportional. (Sie nimmt mit dem Volumen zu, also mit R^3 , und fällt à la Newton mit $1/R^2$ ab.) Je größer die Kugel, desto stärker die Ab-

⁸Sie hätte sowieso nicht geholfen, da Einsteins Weltmodell mathematisch instabil ist.

⁹Druck ist eine Energiedichte. Energie (E) ist $-E = m \cdot c^2!$ – Masse (m) und gravitationserzeugend. Negativer Druck – Zugspannung – wirkt wie eine negative Massendichte, also anti-gravitativ, also abstoßend! Auch wenn es noch unmessbar ist: Je stärker ein Gummiseil gespannt wird, desto geringer ist wegen der Spannung die gravitative Anziehung, die von ihm ausgeht!

stoßung, desto schneller die Geschwindigkeit, mit der sie sich aufbläht! Das entsprechende Expansionsgesetz hat eine Hubble-Konstante, die diesen Namen verdient: $h = \sqrt{\Lambda/3}$ ist konstant, da Λ nun eine Naturkonstante ist! Damit ist potenzielles Wachstum wie im Standard-Modell des Universums passé. Potenzgesetze kennen keine ausgezeichnete (Zeit-)Skala. Ist die zeitliche Änderung einer Größe der Größe selbst proportional, handelt es sich um exponentielles Wachstum. Banker sprechen von Zinseszins. Das aber ist das Markenzeichen von Inflation! Falls etwas dran ist an der Inflationshypothese hatte das Baby-Universum seine Größe aller, sagen wir, 10^{-35} Sekunden verdoppelt gehabt! Nach vielleicht einhundert Verdopplungen hörte der Spuk schlagartig auf. Das Aufblähen des Raumes war immens¹⁰: Ohne Inflation wäre das Standard-Modell-Universum heutzutage keinen Millimeter groß¹¹! Dass das Ganze mit Überlichtgeschwindigkeit geschah, stört nicht, es wird ja beim Aufblähen des Raumes keine Information übertragen.

Man sollte sich nicht an der mikroskopischen Kleinheit der betrachteten Zeiten und Räume stoßen. Die Gesetze der Physik kennen zumeist keine ausgezeichnete Größenordnung. Wir hingegen schon: Unsere Referenzmaße entstammen unserer Lebenswirklichkeit, sind Herzschlag und Jahr, Elle und Flugmeile.

Was genau die Inflation antreibt und wodurch sie beendet wird, tut nichts zur Sache. (Unter dem Dachbegriff „Inflation“ firmieren unterschiedliche Theorien.) Es reicht, dass die Quantenwelt exotische „Füllungen“ in petto hat, die, falls sie den Ton angeben, ein inflationistisches Aufblähen des Universums bewirken. Das Gute daran: Die genauen Umstände des Anfangs spielen nach hundert Verdopplungszeiten keine Rolle mehr, d. h., recht unterschiedliche Anfangsbedingungen (wenn auch nicht alle) führen zum nahezu gleichen Ergebnis, was unsere bisher höchst unwahrscheinliche Welt zu einer viel wahrscheinlicheren werden lässt! Die Ausrede, das Universum ist wie es ist, weil die Startbedingungen halt so waren, zieht nicht mehr! Das Inflationsszenario macht die Theorie vom heißen Urknall für Physiker¹² und Philosophen akzeptabel. Da nimmt man hin, dass über den Mechanismus nur spekuliert werden kann und an eine Bestätigung durch Experimente nicht zu denken

¹⁰Apropos Verdopplung! Davon handelt eine Weizen-/Reiskornlegende aus dem alten Indien. Das Schachbrett mit einem Korn auf dem ersten Feld, zweien auf dem zweiten, viere auf den dritten usw. ist eine Allegorie des exponentiellen Wachstums.

¹¹... wenn man davon ausgeht, dass es zur Planck-Zeit ($5,4 \cdot 10^{-44}$ s) eine Planck-Länge ($1,6 \cdot 10^{-33}$ cm) maß.

¹²Es gibt auch prominente Kritiker des Inflationsmodells. Der kosmologische Thermodynamiker Roger Penrose (geb. 1931) spricht von einem „frevelhaften“ Vorschlag.

ist.

Inflation löst diverse Probleme auf einen Schlag. Orte, die kosmologisch meilenweit voneinander getrennt sind, waren, bevor sie auseinander gerissen worden, mikroskopisch benachbart, so dass es zu einem Temperatenausgleich kommen konnte. Magnetische Monopole mag es geben, ihre Anzahl pro Kubiklichtjahr aber wurde durch das Aufblähen des Raumes derart reduziert, dass man mit hoher Wahrscheinlichkeit niemals einem magnetischen Monopol im Labor oder beim Spaziergehen begegnen wird. (Die andere Materie ist erst *n a c h* der Inflation entstanden und infolgedessen unverdünnt.) Und dass der Raum euklidisch ist, also im Großen und Ganzen weder positiv noch negativ gekrümmt, erklärt sich auch aus der Inflation. Eine anfänglich vorhandene Krümmung wurde schlicht ausgebügelt¹³. Ein euklidisches (flaches) Universum aber ist ein Universum, das mit Entweichgeschwindigkeit auseinander stiebt, wie 1922/24 der russische Gelehrte Aleksander Friedmann (1888–1925) unter Berufung auf Einsteins ART herausfand. Hinzu kommt, ein solches Universum ist leicht herstellbar. Seine Gesamtenergie ist Null¹⁴!

Die Helligkeiten von Supernovae in weit entfernten Galaxien legen übrigens den Schluss nahe, dass Inflation nicht auf den Weltanfang beschränkt ist. Seit fünf Milliarden Jahren verläuft die Expansion nicht nur ungebremst, sie beschleunigt sich anscheinend sogar. Die „Füllung“, die dies bewirkt, heißt im Kosmologen-Jargon „dunkle Energie“. Andere sprechen in guter alchemistischer Tradition vom „fünften“ Wesen, der Quintessenz.

¹³Man kann es auch so sehen: Bei *a n z i e h e n d e r* Gravitation entwickelt sich die mittlere Dichte stets weg vom kritischen Dichtewert, bei *a b s t o ß e n d e r* Gravitation hingegen zu diesem hin!

¹⁴Das geht, weil Gravitationsenergie Bindungsenergie ist und negativ zu Buche schlägt.