

Er stellte für sich eine ganze Akademie dar.

Friedrich II. über Leibniz

## Liebe Leserin, lieber Leser,

vor 300 Jahren, am 14. November 1716, verstarb 70jährig in Hannover der letzte Universalgelehrte. Gottfried Wilhelm Leibniz stammte aus Leipzig, studierte dort, in Jena<sup>1</sup> und in Altdorf bei Nürnberg Philosophie und Jura. Der Unverheiratete führt ein unstetes Leben. Als Jurist berät er höchste Kreise und ist oft in diplomatischer Mission unterwegs. In Paris und London findet er geistige Anregung (u. a. bei Huygens [1629–1695]). Er erfindet u. a. eine mechanische Rechenmaschine, die alle vier Grundrechenarten beherrschte, und landete 1676 als Hofrat und Bibliothekar in hannoverschen Diensten. Er kannte, wer Geist und Namen hatte, schrieb viel und veröffentlichte wenig. Mit Newton (1643–1727) hatte er sich leider verkracht, da beide meinten, die Infinitesimalrechnung<sup>2</sup> erfunden zu haben. Leibniz war Mitbegründer der Variationsrechnung. Nur so sind seine theologischen Spekulationen zur „Rechtfertigung Gottes“ zu verstehen. Für ihn ist Gott ein Mathematiker, der ein Variationsproblem löst! Theologie und Mathematik, Glaube und Vernunft, standen damals einander nahe.

Falls es interessiert, am Anfang des Variationskalküls stand die Rutsche. Gelehrte sprechen vom Brachistochrone-Problem. Johann Bernoulli (1667–1748), Mitglied des berühmten Mathematikerclans, fragte, wie eine Kurve bei gegebenem Start- und Endpunkt (in einer vertikalen Ebene) geschwungen sein müsse, damit ein reibungsfrei gleitender Massepunkt diese aus dem Stand in kürzester Zeit durchheile. Das hatte schon 1638 Galileo Galilei (1564–1642) interessiert. Die damalige Creme der Mathematik fand die Lösung. Leibniz kam bloß nicht auf den Namen der Kurve (Zykloide). Von Newton

---

<sup>1</sup>In Jena hatte er das Glück, ein Semester (1663) unter die Fittiche von Erhard Weigel (1625–1699) zu geraten, des Jenaer Astronomen, Mathematikers, Pädagogen, Kalenderreformers und Erfinders.

<sup>2</sup>Newton selbst sprach von Fluxionsrechnung. Beide „Erfinder“ hatten sich von der Intuition leiten lassen. Auf eine solide mathematische Basis wurde die Infinitesimalrechnung erst sehr viel später gestellt. Die heutige Notation,  $dy/dx$  und  $\int$ , geht auf Leibniz zurück.

wird erzählt, er sei auf die Lösung gekommen nach einem anstrengenden Tag harter Arbeit im Münzamt, also müde und abgekämpft. Es handelt sich um eine klassische Optimierungsaufgabe. Die Bezeichnung Optimist blieb allerdings aus einem anderen Grund an Leibniz haften: Er hielt aus logischen Gründen diese Welt zwar nicht für perfekt, aber nichtsdestotrotz für die „beste aller möglichen Welten“. Diese Behauptung sollte ihn berühmt machen – und in den Augen Voltaires lächerlich.

Wir kommen auf die „Fallrutsche“ zurück. Denn für einen Geist wie Leibniz war es nur ein kleiner Schritt von der Rutsch- zur Planetenbahn.

Leibniz war Logiker – der einzig bedeutende zwischen Mittelalter und Moderne! Das Rechnen mit 0 und 1 erweiterte er zu einer symbolischen Gedankensprache (Universalsprache). Alles lässt sich als Kombination von Nullen und Einsen ausdrücken. Aussagen mit dem Wahrheitsgehalt 0 oder 1 werden wie mathematische Gleichungen behandelt. Schlussfolgern ist wie Rechnen! Ergibt sich ein Widerspruch, bedeutet dies das Aus für die Behauptung. In Zukunft könne, so Leibniz, ein Disput zwischen Kontrahenten durch ein Regelwerk des Denkens (seinen „Calculus Ratiocinator“) quasi mechanisch entschieden werden. (Hier war Leibniz zu optimistisch: Manche Rechnungen gelangen nie zum Abschluss!) Sogar die „wahre Religion“ ließe sich „errechnen“, verstieg er sich in einem Brief an seinen Fürsten. Bis die moderne mathematische Logik (in Jena) entstand, sollten noch zwei Jahrhunderte ins Land gehen. Sie begrub irgendwann Leibniz' Optimismus.

Leibniz war Wissenschaftsorganisator. Er betrieb das Gründen von Akademien in Berlin, Wien und St. Petersburg. Dabei konnte er auf die Unterstützung gebildeter Damen edlen Geblüts bauen. Sein Projekt einer Kurfürstlich-Brandenburgischen Societät der Wissenschaften stieß auf offene Ohren bei Sophie Charlotte (1668–1705). Schon deren Mutter, Sophie von der Pfalz (1630–1714), war eine Bewunderin Leibniz' gewesen. Als Hofbibliothekar verkehrte Leibniz oft und gerne im Gartenschloss Herrnhäuser. Ein Bruder Sophie Charlottes, Georg Ludwig (1660–1727), wurde 1714 als Georg I. König von Großbritannien. Das sei erwähnt, weil er Leibniz, der zum Hofstaat gehörte, nicht mit nach London nahm, vermutlich um die dortigen Newton-

Anhänger<sup>3</sup> nicht zu brüskieren. Die Berliner Akademie<sup>4</sup> ist die einzige, deren Gründung Leibniz erlebte. Sie nannte sich nach der Thronbesteigung von Sophie Charlottes Ehemann – aus dem Brandenburger Kurfürsten Friedrich III. ward 1701 der König Friedrich I. in Preußen – Königlich Preussische Sozietät der Wissenschaften. Finanziert wurde die Gelehrten-gesellschaft u. a. durch den Verkauf von Kalendern. Dazu hatte König Friedrich der Berliner Sternwarte das Kalendermonopol erteilt.

Leibniz inspiriert! Er ist vermutlich der Gelehrte der Aufklärung, der am stärksten in die Neuzeit hinein wirkt.

Fragen wir uns also, aus naturwissenschaftlicher Sicht, ob dies tatsächlich die „beste aller möglichen Welten“ sein könnte.

Ihr Hans-Erich Fröhlich

## Der Himmel im November

Abends, im Südwesten, ist nach Sonnenuntergang die Venus zu sehen. Sie verbessert langsam aber stetig ihre Sichtbarkeit. Mars verschwindet konstant gegen 21:30 MEZ.

Um Jupiter zu sehen, muss man früh aufstehen. Er befindet sich in der Jungfrau, wo er sich auf deren Hauptstern, Spica, zubewegt. Am Monatsende steht er bereits um 3 Uhr auf.

Vollmond ist am 14. November. Es ist wieder ein (unauffällig) großer, da nur wenige Stunden zuvor der Mond der Erde am nächsten stand, d. h., das Perigäum seiner Monatsbahn durchlaufen hat. Tags darauf befindet er sich am frühen Abend nahe dem Aldebaran, den er kurz zuvor wieder freigegeben hat. Die Bedeckung selbst ist bei uns nicht zu sehen.

---

<sup>3</sup>Ein Streitpunkt betraf Newtons Vorstellung von einem absoluten Raum. Leibniz kontierte mit Gedankenexperimenten. Er nahm an, es gäbe so etwas wie einen absoluten Raum und konstruierte, in dem er verschiedene Universen betrachtete, einen Widerspruch zur anfänglichen Annahme. Er liebte diese *reductio ad absurdum*. Newton nahm das nicht hin und kontierte seinerseits mit einem Gedankenexperiment, dem legendären rotierenden Wassereimer . . . Selbst Einstein, der auf Leibniz' Seite stand, vermochte das Eimerexperiment nicht zu erklären. Heute bedienen wir uns übrigens gerne eines ausgezeichneten kosmologischen Bezugssystems, der 3-K-Strahlung, um Absolutgeschwindigkeiten zu messen.

<sup>4</sup>Seit 1992 Berlin-Brandenburgische Akademie der Wissenschaften

November ist Leonidenmonat. Das Maximum der Sternschnuppenaktivität wird für den 17./18. November erwartet. Wie der Name verrät, liegt der scheinbare Herkunftsort der Trümmerteile von 51P/Tempel-Tuttle, die auf uns zurasen, im Sternbild des Löwen. Der erhebt sich erst in den frühen Morgenstunden über den Horizont. Vor 50 Jahren, November 1966, kam es übrigens zu einem regelrechten Leonidensturm. Damit ist diesmal nicht zu rechnen.

## Das Prinzip der kleinsten Wirkung

Was an Bernoullis Fallrutsche so fasziniert? Egal, wo der Startpunkt sich auf der Zykloide befindet, die Zeit bis zum Erreichen des tiefsten Punktes ist immer die gleiche. Darüberhinaus ist die Funktion des schnellsten Abstiegs universal. Auf dem Mond hätte sie die gleiche Form.

Johann Bernoullis Herangehensweise ist die eines Optikers. Licht nimmt immer den schnellsten Weg. Variiert die Brechzahl, ist der schnellste Weg nicht mehr der kürzeste. Man kennt das von der Linse. Johann dachte sich einen Stapel beliebig dünner Glasscheiben, die horizontal übereinander liegen. Die Dicke des Stapels entspricht der Höhendifferenz der Rutsche. Jetzt kommt's! Die Brechzahl<sup>5</sup> einer jeden Glasscheibe sei dem Kehrwert der Geschwindigkeit des hinabgleitenden Massepunktes in der entsprechenden Höhe proportional. (Die Geschwindigkeit selbst errechnet sich aus der bereits durchrutschten Höhendifferenz.) Nun musste er bloß noch mit seinem Laserpointer einen Lichtstrahl so durch den Glasstapel schicken, dass dieser durch Start und Endpunkt geht. Der gekrümmte Strahl ist die gesuchte Kurve<sup>6</sup> des schnellsten Abstiegs. „Brachistochrone“ bedeutet so viel wie kürzeste Zeit. Wie Johann Bernoulli herausfand, handelt es sich um eine Zykloide.

Der Gedanke, der Fall eines Planeten um die Sonne erfülle ebenfalls ein Extremalprinzip, lag in der Luft.

1746 hatte Pierre Louis Moreau de Maupertuis (1698–1759) seinen zweiten großen Auftritt. (Den ersten hatte er nach seiner Lapplandreise 1736/37, wo er durch geodätische Messungen die Abplattung der Erde bewies.) Der frisch gekürte Präsident der Berliner Akademie verkündete das Prinzip der

---

<sup>5</sup>Dass es kein Glas mit dem geforderten Brechvermögen gibt, ist belanglos.

<sup>6</sup>Die allgemeine Lösung des Problems ist das nicht: Der Lichtstrahl darf nicht irgendwann in die Horizontale einschwenken!

kleinsten Wirkung. Um bei dem Lichtgleichnis zu bleiben: Der elliptische Bahnabschnitt eines Planeten zwischen zwei Punkten  $A$  und  $B$  seiner Bahn ist der Weg, den ein Lichtstrahl in einem Medium nähme, dessen Brechzahl der Geschwindigkeit des Planeten proportional ist. (Wegen der Energieerhaltung hängt dessen Geschwindigkeit bloß vom Abstand zur Sonne ab.) Das Bahnstück zwischen  $A$  und  $B$  ist in einem gewissen Sinne das kürzeste, es minimiert die sog. „verkürzte“ Wirkung. (In der Himmelsmechanik versteht man unter Wirkung die zeitlich aufsummierte Differenz aus kinetischer und potentieller Energie.) Maupertuis hatte sich nur für die Bahnform interessiert gehabt, die Ellipse, nicht für die zeitliche Dimension des Problems. Das volle Problem, mit zeitlichem Ablauf, genügt dem (unverkürzten) **Prinzip der kleinsten Wirkung**<sup>7</sup>. Es beherrscht die Bewegung sämtlicher Körper des Sonnensystems! Seine moderne Fassung geht auf Leonhard Euler (1707–1783) und Joseph-Louis Lagrange (1736–1813) zurück, zwei begnadete Himmelsmechaniker. Euler gehörte ebenfalls der Berliner Akademie an. Da es mikroskopisch gesehen keine Reibung gibt, gilt das Prinzip der kleinsten Wirkung nicht nur im Himmel, sondern auch auf Erden! Für den klassischen Mechaniker steht es über allen Vorgängen in der Welt, die Lebewelt eingeschlossen.

Es sei angemerkt, dass auch in Einsteins Allgemeiner Relativitätstheorie die Bahn eines Planeten um die Sonne einem Extremalprinzip genügt: Es ist diejenige Weltlinie, die die Eigenzeit zwischen zwei „Ereignissen“ in der gekrümmten Raum-Zeit maximiert<sup>8</sup>. Langsamer<sup>9</sup> geht's nimmer unter den gegebenen Umständen.

Maupertuis fiel aus allen Wolken, als er 1751 lesen musste, Leibniz sei ihm um Jahrzehnte zuvorgekommen. Das belege die Kopie eines verloren gegangenen Briefes aus dem Jahre 1707. Die Wogen schlugen hoch. Friedrich II. stellte sich vor seinen Akademiepräsidenten, Voltaire nicht.

Dass die Natur einem Sparsamkeitsprinzip folgt, woraus sich alles andere ergibt, musste Maupertuis als Beweis des Handelns eines intelligenten Schöpfers vorkommen. Das blieb nicht lange so. Die Säkularisierung machte vor der

---

<sup>7</sup>Genaugenommen müsste es Prinzip der *stationären* Wirkung heißen, da eine geringfügige Abweichung (Variation!) von den wirklich durchlaufenen Bahnen so gut wie nichts an der Gesamtwirkung zwischen festgehaltenen Start- und Endpunkten im Orts-Geschwindigkeits-Raum änderte. Das schließt eine maximale Wirkung nicht aus.

<sup>8</sup>... verglichen mit allen anderen benachbarten Weltlinien

<sup>9</sup>Bertrand Russell (1872–1970) sprach salopp vom Prinzip der kosmischen Faulheit. Russell gilt übrigens als *der* Kenner von Leibniz' Leben und Werk.

Wissenschaft nicht halt. Laplace bemerkte um 1802 gegenüber Napoleon, er benötige die Hypothese „Gott“ nicht mehr.

Es ist nachzutragen, dass die Wirkung gequantelt daherkommt. Die Quantenmechanik konnte zwar mit der *B a h n* nichts anfangen, dafür aber um so mehr mit der *W i r k u n g*. Erst die klassische Prinzipienmechanik ermöglichte den Einstieg in die Quantenwelt. Wie das Fermatsche Prinzip des schnellsten Weges in der Strahlenoptik erst durch die Wellenoptik verständlich wird, so das Prinzip der kleinsten Wirkung der Mechanik erst durch die Wellenmechanik!

Gewöhnungsbedürftig ist die quantenmechanische Vorstellung schon, so ein Planet „schnüffele“ wie ein Hund längs seines Pfades umher, um einen Weg zu wählen, der sich höchstens um ein Wirkungsquantum von den Wirkungen der Pfade anderer Hundepaneten in diversen Parallelwelten unterscheidet. Diese „Unbestimmtheit“ ist nur von prinzipiellem Interesse. Quanteneffekte spielen in der Himmelsmechanik keine Rolle.

Der Kosmos-Bote weist gerne auf ein Extremalprinzip hin, an dem unser aller Wohl hängt. Es geht um den Wärmeausgleich zwischen den Tropen und den nördlich bzw. südlich davon gelegenen Regionen („Extratropen“). Aus unerfindlichen Gründen stellt sich der Temperaturabfall zwischen Äquator und den Polen bei Erde, Mars und Titan so ein, dass die Winde<sup>10</sup> maximal heftig wehen (was gut ist für die hiesige Windenergieindustrie). Es gilt das MEP<sup>11</sup>, das Prinzip der Entropiemaximierung.

## Die beste aller möglichen Welten?

Die Leibniz'sche Monadenlehre (1714) ist passé. Die Monaden, unteilbare Individualitäten, sind zwar beseelt und fähig zur Wahrnehmung, folgen aber automatenhaft den ihnen seit Anbeginn aufgetragenen Weg. Das löst zwar formal das Leib-Seele-Problem, ist aber unbefriedigend.

Drängender ist, wie man das Verhalten der im Range obersten Monade, Gott, rechtfertigen könne, der, wie die Bibel weiß, die Sonne scheinen lässt über Gerechte und Ungerechte. Wieso lässt Gott das Böse zu? Wäre es zu nichts nutze, erübrigte es sich. Wer dächte da nicht an Goethes Mephistopheles, der

---

<sup>10</sup>Wir unterschlagen hier im Falle der Erde den Beitrag von Meeresströmungen (Golfstrom!) beim Temperatureausgleich.

<sup>11</sup>MEP: Maximum Entropy Production

sich selbstironisch vorstellt als „Teil von jener Kraft, die stets das Böse will und stets das Gute schafft“? Über die Notwendigkeit des Bösen hat sich der Naturphilosoph Leibniz mit der geistreichen Sophie Charlotte ausgetauscht. Und er hat seine „Theodizee“, die Rechtfertigung Gottes, 1710 veröffentlicht. Der Logiker Leibniz geht darin logisch vor, und von Gott verlangt er es auch, was dem Gelehrten den Vorwurf der Häresie einbrachte. Hier eine verkürzte Schlussfolge:

Gott konnte keine bessere Welt erschaffen, weil es keine bessere gibt! Seine Weisheit lässt Ihn die Menge aller möglichen<sup>12</sup> Welten denken, aus der Er in Seiner Güte diejenige erwählt und aus Seiner Allmacht heraus erschafft, die das notwendige Übel minimiert. („Während Gott rechnet und Gedanken ausführt, entsteht die Welt.“)

Leibniz liess es nicht bei der reinen Logik bewenden. Behauptungen, wie «Nähme man der Welt ein Übel, handelte man sich woanders ein schlimmeres ein! Wir begreifen das nicht, weil uns der göttliche Durchblick fehlt.», sind ihm zu vage. Was mag Gott optimiert haben? War es das: mit einem Minimum<sup>13</sup> an Regeln (Axiomen, Differentialgleichungen, Startbedingungen etc.) ein Maximum an Fülle der Erscheinungen hervorzubringen?

Diese Auffassung scheint sogar testbar, da in der Sprache der Mathematik formulierbar! Informationstheoretisch lässt sich der Umfang an Regeln anhand der Länge des kürzesten Computerprogramms beschreiben, das den Input codiert<sup>14</sup>. Auch die Fülle dessen, was daraus folgt, der Output, wird sich bemessen lassen. Hinweis: In einem eintönigen Universum hätte man sicherlich Schwierigkeiten, herauszufinden, wo man sich befindet. (Vielleicht hatte der Physiker Lee Smolin (geb. 1955), als er diesem Ansatz nachging, eine moderne Plattenbausiedlung im Sinn.)

Diese „optimistische“ Sicht auf die „Schöpfung“, inspiriert von physikalischen Extremalprinzipien, wird zwar kein ethisches Problem lösen helfen, sie öffnet aber den Blick dafür, dass dieses Universum wundersamerweiser „gerade rich-

---

<sup>12</sup>In einer „möglichen Welt“ gelten die üblichen Vernunftwahrheiten.

<sup>13</sup>Ein Zuviel an Vorschriften hätte die Schöpfung zum Stillstand gebracht, weil bei Überregulierung nichts mehr geht. Das berühmte „Spiel des Lebens“ (1970) des Mathematikers John Horton Conway (geb. 1937) beispielsweise zaubert mit nur vier einfachen Regeln eine verblüffende Vielfalt sich entwickelnder Strukturen auf einem (unendlichen) zweidimensionalen Spielbrett hervor. Eine Sparte der Mathematik befasst sich inzwischen mit der Theorie zellulärer Automaten.

<sup>14</sup>Wer es genauer wissen möchte, dem sei der Klassiker „Das Quark und der Jaguar“ von Murray Gell-Mann empfohlen.

tig“ ist: Es ist in Maßen berechenbar, neigt aber punktuell, zumindest bei der Erde, zur Überraschung! Das Spiel aus „Zufall und Notwendigkeit“ kreierte im Laufe der Zeit spontan immer komplexere Gestaltungen: Die biologische Welt schwelgt (noch) im Überfluss, und die Zukunft ist o f f e n. Lauert am Horizont die künstliche Intelligenz?

Der Entwicklungsgedanke war Leibniz keineswegs fremd. Dennoch dürfte ihm d i e s e s Spiel nicht behagt haben – wegen des Zufalls Walten. Die biologische Evolution offenbart das Dilemma: Sie vollzieht sich „Jenseits von Gut und Böse“. Ohne Mutation keine Evolution! Im Normalfall verheißt so eine zufällige Veränderung des Erbgutes nichts Gutes – in seltenen Fällen aber ist sie eine Chance. Sie öffnet das Tor zu einem Raum von Möglichkeiten, vielleicht auch bloß in eine neue Sackgasse! Das findet Natur erst im Nachhinein heraus. Ihr fehlt es an Weitsicht (die es nicht gibt). Wären die beiden Stränge der DNA-Doppelhelix fester miteinander verbunden und nicht nur durch recht brüchige Wasserstoffbrücken, würden uns Erbkrankheiten erspart, es wäre dann allerdings auch nicht zur Entstehung des Menschen gekommen.

Blendet man das menschliche Leid aus, das zugegebenermaßen zum Himmel schreit, haben Astrophysiker und Kosmologen durchaus Sympathie mit Leibniz’ „besten aller möglichen Welten“.

1953 machte das *Enfant terrible* der Astronomie, Fred Hoyle (1915–2001), eine Vorhersage: Damit Kohlenstoff, der aus dem Verschmelzen von drei Heliumatomkernen ( $\alpha$ -Teilchen) im Innern von Riesensternen entsteht, sich nicht durch Einfang eines weiteren  $\alpha$ -Teilchens sofort in Sauerstoff verwandelt – und damit der Welt verloren geht –, müsse sich bei 7,68 MeV ein Energieniveau des  $^{12}\text{C}$ -Kerns befinden! Die Bestätigung im Labor war ein schlagender Beweis für die Vorhersagekraft des anthropischen Prinzips! Damit es auf Basis der Kohlenstoffchemie einen Sir Fred geben kann, der sich fragt, warum Kohlenstoff im Kosmos vorkommt, muss  $^{12}\text{C}$  die vorhergesagte Eigenschaft haben. Diese Art von Schlussfolgerung war den Gelehrten bis dato fremd.

Das mit dem  $^{12}\text{C}$  war nur der Anfang. Es hat inzwischen den Anschein, als sei d i e s e s Universum dem Leben wie auf den Leib geschneidert! Man spricht von Feinabstimmung. Das Drehen an irgendwelchen Naturkonstanten oder -gesetzen sollte man füglich unterlassen. Schon die leiseste Abänderung wäre fatal, da dem Leben abhold. Zumindest dem Physiker erscheint diese Welt tatsächlich als „die beste aller möglichen Welten“! Die anderen dürften im Tohuwabohu verharren.