

Dreifach ist der Schritt der Zeit:
Zögernd kommt die Zukunft hergezogen,
Pfeilschnell ist das Jetzt entfliegen,
Ewig still steht die Vergangenheit.

Friedrich Schiller (1759–1805)

Liebe Leserin, lieber Leser,

Physik ist verpönt. Sie habe mit der Lebenswirklichkeit, dem Alltag, wenig zu tun, hört man. In der Tat tun sich Abgründe auf: Die gefühlte Wirklichkeit ist eine andere als die physikalische! Nirgends wird das deutlicher als bei der *Zeit*.

Wie der Zeitreisende in H. G. Wells' (1866–1946) „Die Zeitmaschine“ (1895) darlegt, muss man lediglich zu den drei räumlichen Dimensionen, Länge, Breite und Tiefe, die Dauer hinzufügen. Die Realität, für ihn ist sie vierdimensional und in allen Dimensionen bereisbar. „Zeit ist nur eine Art Raum ... Es herrscht jedoch die Neigung, zwischen den ersten drei Dimensionen und der vierten einen unwirklichen Unterschied zu machen“, stellt er fest. Der Physiker wird ihm zustimmen. Das Problem mit den unterschiedlichen Dimensionen, Meter bzw. Sekunde, ist keines: Man multipliziere Zeitabstände mit der Lichtgeschwindigkeit c . Aus einer Sekunde werden so 300 000 000 m, aus einem Jahr wird ein Lichtjahr. Messe ich Zeit in Metern, erübrigt sich die Lichtgeschwindigkeit als physikalische Konstante. In diesem Zusammenhang wissenswert: Zeit schlägt Raum um das Milliardenfache! Als 70-jähriger habe ich mich 70 Lichtjahre in der Zeit fortbewegt, im Raum vielleicht, dank Auto und Flugzeug, eine Lichtsekunde – 7 1/2-mal um die Erdkugel!

Ein Jahrzehnt nach Wells' „Zeitmaschine“, man schreibt das Jahr 1905, sind Räumliches und Zeitliches in Albert Einsteins (1879–1955) spezieller Relativitätstheorie bereits Ansichtssache. Als Projektionen eines vierdimensionalen (Pseudo-)Abstands in der Raum-Zeit hängen sie von der Bewegung¹ des Be-

¹Wir sind normalerweise, was Raum und Zeit anbelangt, alle der gleichen Meinung, weil, so Einstein, wir uns alle in etwa gleich bewegen.

trichters ab. Damit hatte sich die Idee einer universellen Zeit, wie sie Sir Isaac Newton (1643–1727) vorschwebte, erübrigt. Zeitreisen in die Zukunft wurden möglich.

In Einsteins allgemeiner Relativitätstheorie (ART) ist die vier-dimensionale Raum-Zeit nicht mehr eben (euklidisch). Deren Krümmung, man spürt sie als Schwere, kann dazu führen, dass sich die Weltlinie eines Beobachters, gemeint ist damit sein Lebensweg in der Raum-Zeit, in den Schwanz beißt. Zeitreisen in die Vergangenheit wurden möglich! Lange vor „Und täglich grüßt das Murmeltier“ hat der Mathematiker und Logiker Kurt Gödel (1906–1978) darauf hingewiesen. Das war im Jahr 1949. Einstein soll nicht amüsiert gewesen sein. Dass seine Gleichungen so etwas zulassen, wurmte ihn.

Vor zwanzig Jahren, im September 1998, erscheint in der gleichen renommierten physikalischen Zeitschrift, in der Gödel einst veröffentlichte, eine Abhandlung über Zeitreisen, die nicht eines verqueren Gödel-Universums² bedürfen, ein sog. „Wormloch“ tut es auch. Einer der damaligen Autoren, Kip S. Thorne (geb. 1940), durfte 2017 für die Entdeckung von Gravitationswellen stellvertretend für die beteiligten Forscher den Physiknobelpreis entgegen nehmen.

Schwarze Löcher, Abschnürungen der Raum-Zeit, sind längst kein Hirngespinnst mehr. Astronomen des Max-Planck-Instituts für extraterrestrische Physik in München haben über Jahrzehnte einen Stern verfolgt, der sich einem schwarzen Loch bis auf 1400 Schwarzschildradien nähert. Er fällt bisher so um das obskure Gebilde herum, wie 1915 von Einstein gefordert! Das Superloch „wiegt“ 3 1/2 Millionen Sonnenmassen³, und haust im Zentrum unserer Galaxis, 30 000 Lichtjahre von uns entfernt.

Gönnen Sie sich die Zeit, über die Zeit zu sinnieren! Das ist brisant, und es zeigt sich wieder einmal, man kann mit unrichtigen Vorstellungen von der Welt wunderbar leben!

Ihr Hans-Erich Fröhlich

²Gödels hypothetisches Universum, wo Zukunft in Vergangenheit mündet, expandiert nicht, es rotiert.

³... oder fünf Millionen Kilometer. Indem man Masse in Metern misst, wird man die Gravitationskonstante los. Die Sonne „wäge“ dann 1 1/2 km, die Erde 4,4 mm.

Der Himmel im September

Anfang des Monats ist Merkur noch für kurze Zeit vor Sonnenaufgang sichtbar. Obschon sich von uns entfernend, nimmt seine Helligkeit noch zu. Aber das hilft nicht viel, er entschwindet bald im größeren Glanz der Sonne.

Die Venus erreicht am 21. September mit -4,8te Größe oder 20 Sirlushelligkeiten als Abendstern ihr diesjähriges Helligkeitsmaximum. Das verdankt sie ihrem hohen Rückstrahlungsvermögen. Ihr Wolkenmantel reflektiert 3/4 des einfallenden Sonnenlichts! (Ungeachtet ihrer größeren Nähe zur Sonne sollte Venus deshalb kühler als die Erde sein. Ist sie aber nicht – wegen des CO₂-Treibhauseffekts.) Die Sichel wird danach zwar noch sichelförmiger und größer – Venus nähert sich uns –, insgesamt verliert sie schnell an Helligkeit. Da sie sich von uns aus gesehen der Sonne nähert, ist das Ende ihres nächtlichen Auftritts nahe. Übrigens, am 2. September zieht die Venus südlich an der Spica vorbei, dem Hauptstern der Jungfrau.

Mars ist im Abklingen, ein Planet für die Abendstunden. Aber immerhin noch so hell wie Sirius. Ende des Monats verschwindet Mars bereits gegen Mitternacht im SW.

Jupiter ist zwar wieder heller als Mars, geht diesem aber um fünf Stunden voraus. Entsprechend früher verschwindet er. Saturn befindet sich ungefähr auf halben Wege, zwischen Jupiter und Mars. Ab dem 6. September wandelt er wieder rechtläufig unter den Sternen. Seine diesjährige Oppositionsphase ist damit beendet. Uns ist klar, dass die Bahnschleife am Himmel nicht dem Planeten selbst eignet. Sie ist Folge eines „ungeeigneten“ Bezugssystems, des geozentrischen. Bezogen auf die Sonne ist die Planetenbewegung einfach. Aber dies herauszufinden bedurfte es eines Johannes Kepler (1571–1630). Die Entdeckung seines Dritten und letzten Gesetzes der Planetenbewegung jährte sich in diesem Jahr zum 400. Male!

Am 23. September in der Früh', kurz vor 4 Uhr MESZ, geht die Äquatorbene unseres Planeten durch den Sonnenmittelpunkt. Tag und Nacht sind von gleicher Länge. Die Sonne wechselt ins Tierkreiszeichen Waage.

Ausflug in die flache Raum-Zeit

Das Schwerste zuerst. Einsteins spezielle Relativitätstheorie (SRT) von 1905 bereitet mehr Kopfzerbrechen als seine allgemeine (ART) von 1915.

Ein Ereignis ist durch vier Zahlenangaben festgelegt: drei räumliche (Länge, Breite, Höhe), eine zeitliche. Die Raum-Zeit, kurz die „Welt“, ist die Menge aller Ereignisse. Der Abstand zwischen zwei Ereignissen Δs – er allein ist keine Ansichtssache! – erweist sich als Mix aus Räumlichem, $\Delta l = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$, und Zeitlichem, Δt , eine Art Pythagoras⁴ im Vierdimensionalen: $(\Delta s)^2 = (c \cdot \Delta t)^2 - (\Delta l)^2$, woran man ersieht, dass es von Vorteil ist, Zeitabstände in Metern zu messen. Es entfällt das lästige Multiplizieren mit c , der Lichtgeschwindigkeit. Bei sog. raum-artigen Ereignissen ($(\Delta s)^2 < 0$), die wegen zu großen räumlichen Abstands nicht kausal verbunden sein können, sind sich zwei Beobachter, die sich relativ zueinander bewegen, noch nicht einmal über die zeitliche Reihenfolge von Ereignissen einig. Was z. B. bedeutet „Jetzt“ im Andromedanebel? Unser Jetzt zieht sich dort fünf Millionen Jahre hin⁵! Nach 1905 von „Gleichzeitigkeit“ zu reden macht nur noch Sinn am gleichen Ort. Ein jeder trägt seine eigene Zeit mit sich herum. (Wie wir noch sehen werden, altern bei aufrechtem Gang hienieden die Füße langsamer als der Kopf.) In Einsteins SRT ist die Lichtgeschwindigkeit c absolut. Sie ist für alle Beobachter, unabhängig von deren Geschwindigkeit, die gleiche, weshalb man in Physiklehrbüchern oft $c = 1$ setzt. So etwas lässt das Gesetz der Addition von Geschwindigkeiten Makulatur werden. Kurz: Zeit erweist sich als dehnbar (Zeitdilatation) — auf Kosten von Raum (Längenkontraktion)! Betrachter-unabhängige Realität kommt nur noch dem vierdimensionalen Intervall Δs zu, dem Ereignisabstand. Da gibt's nichts zu verstehen! Die Wirklichkeit ist eben anders, als man bis 1905 dachte.

Die Realität wird ausgemistet, was der Physik gut tut: Die Anzahl der physikalischen Größen von Belang schwindet. So gibt's statt Impuls u n d Bewegungsenergie nur noch den sog. Viererimpuls⁶, ein Mix aus beidem. Es sei angemerkt, dass auch elektrisches u n d magnetisches Feld nicht eigenständig sind. Der Draht, der sich in einem Generator durch ein reines Magnetfeld bewegt, bemerkt ein elektrisches Feld! Nur das elektromagnetische Feld macht Sinn! Vier-dimensional formuliert, schrumpft das Formelwerk der Physik erheblich.

⁴Man beachte das Minuszeichen! Deshalb Pseudo-Abstand!

⁵Jetzt sehen wir den Andromedanebel, wie er vor 2 1/2 Millionen Jahren aussah. In 2 1/2 Millionen Jahren sieht man dort, wie unsere Galaxie jetzt aussieht!

⁶Müsste in Analogie zur Raum-Zeit eigentlich „Impuls-Energie“ heißen. Impuls ist, wie der Raum, drei-dimensional (ein Vektor), Energie, wie die Zeit, ein-dimensional (ein Skalar). In einem abgeschlossenen System ist der Betrag des Gesamtviererimpulses eine Invariante, die mit c^2 multiplizierte Ruhemasse des Systems.

Eternalismus

Wenn man, wie es Wells' Zeitreisender tut, die Zeit „verräumlicht“, zieht das eine neue Weltsicht nach sich. Vergangenheit wie Zukunft sind irgendwie immer schon gegeben, quasi „eingefroren“, auch wenn die Zukunft uns selbst noch ein Buch mit sieben Siegeln ist. Schon die nicht-relativistische Raum-Zeit erstarrt zu einem vier-dimensionalen „Block“. Die Weltlinie eines jeden darin ist existent, von der Geburt bis zum Grab, egal, was kommen mag! Hier treffen sich Theologie und Physik! Die Idee von einem allwissenden Gott, der mit Seiner zeitlosen Sicht das Ganze seiner Schöpfung überschaut, von Anbeginn an bis zum ominösen „Punkt Ω “ am Ende der Zeiten, und die Vorstellung vom freien Willen eines jeden, sie sind nur im Block-Universum widerspruchsfrei zu vereinen. Allwissenheit weiß, wie sich ein jeder entscheiden wird. Das läuft auf die Abschaffung der Zeit hinaus. Die übliche Sicht – eine dreidimensionale Welt wandert, sich ändernd, entlang dem Zeitstrahl von der Vergangenheit in die Zukunft – suggeriert einen Gleichzeitigkeitsbegriff, der durch die beobachtete Konstanz der Lichtgeschwindigkeit unhaltbar geworden ist. Raum und Zeit sind ineinander verwoben. Jede Aufspaltung ist willkürlich. Die Raum-Zeit ist nicht $(3 + 1)$ -dimensional, sie ist *wahrhaft* 4-dimensional.

Thermodynamischer Zeitpfeil

„Es führt kein Weg zurück“ ist eine Tatsache. Um die Vergänglichkeit allen Seins zu sehen muss man kein Psychologe⁷ sein. Der Physiker aber weiß: Alle physikalischen Elementarvorgänge sind zeitumkehrbar⁸. Man kann in jeder Sparte der Physik, SRT und ART eingeschlossen, wo Statistik außen vorgelassen ist, die Zeitvariable t durch $-t$ ersetzen, ohne dass sich an der Form der Gesetze etwas änderte. Man denke an Stöße zwischen (idealen) Billardkugeln. Die Stoßgesetze sind zeit-symmetrisch, da es auf elementarer Ebene keine Reibung gibt. Ein Beispiel für ein (nahezu) reibungsfreies System ist das Sonnensystem. Filmte man das Ganze über Jahrmillionen und spulte dann den Film rückwärts ab, so wäre keine Verletzung irgendeines

⁷Psychologischer Zeitpfeil: Vergangenheit ist, was man erinnert, Zukunft, was man erwartet.

⁸In der Quantenphysik gar kann man Antiteilchen als „normale“ Teilchen ansehen, die sich in der Zeit rückwärts bewegen.

Naturgesetzes erkennbar! Mit einer Ausnahme: Die Erde drehte sich – trotz Gezeitenreibung! – immer schneller.

Was diktiert die Richtung des Zeitenstromes? Da es nicht an den G e s e t - z e n liegt, sind es vielleicht die A n f a n g s b e d i n g u n g e n die als Erklärung in Betracht kommen? Dazu mehr im nächsten Monat, wo es u. a. um den „kosmologischen Zeitpfeil“ geht.

War nicht eben von Gezeitenreibung die Rede, die den Retro-Film-Genuss schmälerte? Wir wollen dem nachgehen. Und in der Tat. Es ist Reibung, welche den sog. „thermodynamischen Zeitpfeil“ kreierte.

Am Anfang stand eine ökonomische Frage: Wieviel Prozent⁹ des Brennwertes von Kohle können von einer Dampfmaschine in nützliche Arbeit umgewandelt werden? Am Ende wurde nicht nur diese Frage beantwortet. 1865 konstatierte ein Bonner Physikprofessor, Rudolf Clausius (1822–1888), es gäbe eine Größe im Universum, die könne niemals abnehmen. Sie strebe vielmehr einem Maximum zu. Er nannte sie Entropie. Sie bemisst u. a.¹⁰ die Q u a - l i t ä t von Energie. Hochwertige Energie ist von niedriger Entropie. Energie ist zwar eine Erhaltungsgröße¹¹, aber ihre Arbeitsfähigkeit schwindet! Davon, von der Zunahme der Entropie, der spontanen Verwandlung von nützlicher Energie in nutzlose Wärme¹², weiß der Techniker ein Lied zu singen.

Entropie hat mit Unordnung, speziell mit Wärme¹³, zu tun und ist eine Größe, die den Zustand eines Viel-Teilchen-Systems beschreibt, man denke an ein Gas in einem Gefäß. Da es sinnlos wäre, die Bewegung einer jeden Gaspartikel minutiös zu beschreiben, verfällt der Physiker auf die s t a - t i s t i s c h e Betrachtung. Er gibt es auf, das Teilchengewimmel *en detail*

⁹Moderne Dampfturbinen erreichen Wirkungsgrade um 60 %, Automotore liegen weit darunter, wobei der Dieselmotor den Brennstoff merklich besser ausnutzt als der Benziner.

¹⁰Der Entropiebegriff reicht weiter! Er beschreibt Wertverlust durch Vermischung: Wasseraufbereitung ist teuer! Und in der Informationstheorie bemisst die Entropie den mittleren Informationsgehalt pro Zeichen einer Nachricht.

¹¹Leider stellt Energieerhaltung in einer gekrümmten Raum-Zeit ein Problem dar.

¹²Wärmespeicher, wie die Potsdamer „Thermoskanne“, stellen der „Energiewende“ ein Armutszeugnis aus. Hier wird qualitativ wertvolle (entropiefreie!) Windenergie s o f o r t zu Wärme degradiert. Früher hat man mit Windmühlen z u v o r noch Maschinen betrieben – wobei, unabwendbar, Reibungswärme entsteht. Nun kann man nur noch Heizen. (Und das müsste man kaum, wären die Gebäude gedämmt . . .) Da Energie nicht vernichtet werden kann, ändert sich an der Anzahl der Kilowattstunden nichts. Dass die meisten Kilowattstunden im Weltall wertlos sind und man mit den wenigen wertvollen sorgsam umgehen sollte, ignoriert die Energiepolitik in Ermangelung „echter“ Energiespeicher.

¹³Wärme ist Energie, die in ungeordneter Bewegung steckt.

zu beschreiben. Er begnügt sich mit *en gros*. Als Statistiker interessieren ihn nur noch Mittelwerte und deren Schwankung. Und dabei entsteht er: der Trend zur Degeneration und Vermischung, der Zeitpfeil! Da es unseren „groben Sinnen“ (Henri Poincaré) verwehrt ist, genau¹⁴ hinzuschauen, geht durch Mittelung die Information verloren, die benötigt würde, den Vorgang (z. B. rechnerisch) zurückzuspulen. Es ist Informationsverlust, was den „Pfeil der Zeit“ generiert. Der eingängige Begriff geht übrigens auf den englischen Astronomen Arthur Eddington (1882–1944) zurück. Der *Arrow of Time* fand erstmals 1928 Erwähnung.

Angenommen, die Moleküle eines Gases befanden sich anfänglich alle in einer Ecke ihres Gefäßes. Man darf davon ausgehen, dass sie schnell den ganzen zur Verfügung stehenden Raum in Beschlag nehmen werden. Das passiert auch mit überwältigend hoher Wahrscheinlichkeit. Der umgekehrte Vorgang, alle Moleküle versammeln sich spontan in einer Ecke, ist nicht verboten, er ist bloß extrem unwahrscheinlich. Kurz, die Unordnung eines geschlossenen Systems, seine Entropie¹⁵, nimmt, von statistischen Schwankungen abgesehen, mit der Zeit zu¹⁶. Das besagt der von Clausius formulierte zweite Hauptsatz (HS) der Thermodynamik. Er ist der e i n z i g e Erfahrungssatz, der eine Zeitrichtung auszeichnet. Leider ist das Gesetz der Entropiezunahme ein statistisches, ein Gesetz 2. Klasse. Es gilt nur f a s t 100-prozentig¹⁷. Nun, damit kann man leben, und die Angelegenheit wäre erledigt, gäbe es kein Nachspiel. Denkt man in Äonen, so m u s s jedes (phasenraumbeschränkte und isolierte) Viel-Teilchen-System sogar seinem Anfangszustand beliebig nahe kommen und das beliebig oft! Man muss nur warten¹⁸ können! Das jedenfalls besagt das Poincarésche Wiederkehrtheorem von 1890. Es ist wie beim Mischen eines zunächst geordneten Stapels von Spielkarten. Mischte man nur hinreichend

¹⁴Man gebe Sahne in den Kaffee. Auch wenn nach einer gewissen Zeit die Mischung uniform zu sein scheint, unter dem Mikroskop könnte man immer noch reine Kaffee- und reine Sahnepartien ausmachen.

¹⁵Die Entropie S bemisst die Anzahl der mikroskopischen Realisierungsmöglichkeiten W eines gegebenen makroskopischen Zustands. Je mehr Möglichkeiten, desto wahrscheinlicher. Boltzmanns (1844–1906) berühmte Formel, $S = k \cdot \log W$, ist auf seinem Grabstein auf dem Wiener Zentralfriedhof eingemeißelt.

¹⁶Leider zeigt sich, dass dies auch bei Zeitspiegelung gilt! Die Naturgesetze sind eben zeitsymmetrisch. Da beißt die Maus keinen Faden ab!

¹⁷Spontane Verjüngung ist *per se* nicht ausgeschlossen. Dergleichen geschieht bloß nicht.

¹⁸Daraus auf die Stabilität des Sonnensystems mit all seinen Planeten, Monden usw. schließen zu wollen, wäre voreilig. Es wäre ja immerhin möglich, dass ein Planet hinauskatapultiert wird, was der Voraussetzung für das Theorem widerspräche.

lange, ergäbe sich mit Sicherheit auch einmal der Ausgangszustand.

Es geht um den Unterschied zwischen Theorie und Praxis! Nur in der Theorie, d. h., im Prinzip, ist der Pfeil der Zeit umkehrbar. Der Porzellanelefant, der beim Staubwischen unglücklich zu Boden stürzt, zerspringt in Tausend Einzelteile. Es gibt eine riesige Anzahl von Möglichkeiten, wie die Nippesfigur zu Bruch gehen kann, aber nur eine einzige¹⁹, die Figur aus den Scherben wiedererstehen zu lassen! Es müsste schon ein Gutteil des Universums konzertiert zusammenwirken, um dies „Wunder“ zu vollbringen. Die kleinste Störung, irgendein Atom, das nicht mitspielte, reichte aus, die Zeit-Umkehr-Mission scheitern zu lassen. An dieser Diskrepanz zwischen hehrer Theorie und grobmaschiger Praxis ist der Begründer der statistischen Mechanik, Ludwig Boltzmann (1844–1906), zerbrochen. Er wollte die Unsymmetrie zwischen Vergangenheit und Zukunft aus zeit-symmetrischen Gesetzen *a l l e i n* ableiten. Schließlich musste er erkennen, dass dies ohne Ad-hoc-Annahmen nicht geht. Boltzmann endete tragisch. Er beging Selbstmord.

Und die biologische Evolution, der kulturelle und technische Fortschritt, widersprechen sie nicht dem 2. HS der Thermodynamik, wonach „alles den Bach ’runtergeht“? Nun, der 2. HS muss in einem abgeschlossenen System summarisch erfüllt sein. Insgesamt nur muss die Entropie anwachsen, in einem offenen Untersystem mag sie sogar abnehmen, sofern diese Abnahme woanders überkompensiert wird. Die Erde ist ein offenes System. Wie ein biologischer Organismus nimmt sie entropiearme Nahrung, Sonnenlicht, auf und entäußert sich des entropiereichen Abfalls in Form von Wärmestrahlung. Der Entropiemüll wird einfach in den kalten Weltenraum entsorgt. Dank dieses Tricks, der Entäußerung von Unordnung (Entropie), wird Ordnung (Information) gegen den „Zahn der Zeit“ aufrechterhalten bzw. erschaffen. Elektrischer Strom beispielsweise ist entropiefrei und deshalb wertvoll. Ihn zu erzeugen muss Entropie, sprich Abwärme, in Flüsse oder die Atmosphäre entsorgt werden. Jede Lebensäußerung, selbst das Lesen des „Kosmos-Boten“, geht mit Entropieproduktion einher. Alles Höhere beruht auf Entsorgung: von Abwärme sowie Schutt und Müll. Auch Recyceln heizt den Planeten!

Wir halten fest: Es ist ein Temperaturunterschied, welcher das irdische Räderwerk am Laufen hält: Hier die heiße Sonne, dort der kalte Weltenraum. Letzterer wird, expansionsbedingt, immer kälter. Hat der „Pfeil der Zeit“ gar mit dem Aufblähen des Universums zu tun?

Wird fortgesetzt!

¹⁹Das Verschlüsseln von Nachrichten basiert auf einer solchen Unausgewogenheit: Es ist leicht, eine Nachricht unleserlich zu machen, aber sehr schwer, wenn man den Schlüssel nicht kennt, den Vorgang umzukehren.