

Wir alle haben unsere Zeitmaschinen, nicht wahr? Diejenigen, die uns zurückbringen, sind Erinnerungen ... und diejenigen, die uns voranbringen, sind Träume.

H. G. Wells (1866–1946)

## Liebe Leserin, lieber Leser,

am 6. November besteht NASA's „Parker Solar Probe“ ihren ersten Periheldurchgang. Sie nähert sich der Sonne auf 24,8 Millionen Kilometer. (Zum Vergleich: Merkurs minimaler Abstand zum Sonnenzentrum beträgt 46 Millionen Kilometer.) In den kommenden Jahren wird sich PSP auf weniger als zehn Sonnenradien an ihren Forschungsgegenstand heranpirschen. Das wird möglich durch die Venus. Deren gravitative Hilfestellung wird siebenmal in Anspruch genommen werden. Die Sonne anzufliegen ist energetisch aufwändig<sup>1</sup>. Ohne der Venus Mithilfe müsste man ja fast die gesamte Umlaufgeschwindigkeit der Erde um die Sonne, etwa 30 km/s, mit eigener Kraft loswerden!

Der dritte Komet des Jahres 1618 zählt zu den „Großen“. Gesehen wurde er erstmals am 25. November 1618 – vor 400 Jahren. Da hatte C/1618 W1 seinen Periheldurchgang zwischen den Bahnen von Merkur und Venus bereits hinter sich. Zu den Beobachtern zählte auch Johannes Kepler (1571–1630), der gerade sein „drittes Gesetz“ gefunden hatte. Galileo Galilei (1564–1642) war zu der Zeit unpässlich. Man war damals abergläubisch, was Kometen anging, und im Nachhinein galt der „Große Komet“ von 1618 als Unheilsbote. Die Schrecken des 30-jährigen Krieges währten dann ja auch bis 1648. 1619 fand übrigens zu Ulm eine wissenschaftliche Konferenz statt. Beim Ulmer Kometenstreit ging es darum, ob Kometen übernatürliche Zeichen am Himmel – Zuchtruten Gottes – oder natürliche Erscheinungen seien. Unter den Angereisten war der junge René Descartes (1596–1650), Philosoph („cogito, ergo sum“), Mathematiker und Naturforscher.

Wir wenden uns zum Abschluss der Zeit-Serie wieder der Gravitationstheorie Albert Einsteins (1879–1955) zu, der allgemeinen Relativitätstheorie. Da die

---

<sup>1</sup>... weshalb es keine gute Idee wäre, unseren Müll in die Sonne zu werfen.

ART, wie die anderen fundamentalen Theorien der Physik, zeitsymmetrisch ist – das weiße Loch, aus dem stets nur etwas heraus fällt, steht, wie man seit 1916 weiß, gleichberechtigt neben dem schwarzen –, wundert es nicht, dass Zeitreisen in die Vergangenheit nicht von vornherein ausgeschlossen sind. Sollte man sie gar verbieten, wie Stephen Hawking (1942–2018) vorschlug?

Falls Sie an Zeit-Fragen interessiert sind (ohne auf Antworten erpicht zu sein), könnten die folgenden Blätter etwas für Sie sein. Spaß bei der Lektüre wünscht

Hans-Erich Fröhlich

## Der Himmel im November

Venus ist Ende Oktober an der Sonne vorbeigezogen und taucht ab dem 5. November östlich der Sonne wieder aus deren Glanz auf. Über ein halbes Jahr wird sie nun für uns den Morgenstern geben. Der helle Stern in ihrer Nähe ist die Spica, Hauptstern der Jungfrau.

Der Mars wird blass und blässer, erklettert aber immer nördlichere Gefilde. Doch bis zum Jahresende bleibt er noch der südlichen Hemisphäre zugehörig. Er verabschiedet sich im November und in den darauffolgenden Monaten kurz vor Mitternacht. Am 16. November begegnet er dem Halbmond.

Jupiter geht im November auf maximale Distanz zu uns – fast eine Milliarde Kilometer! –, d.h., er verbirgt sich hinter der Sonne. Saturn steht etwa  $2\frac{1}{2}$  Rektaszensionsstunden östlich vom Jupiter. Seine diesjährige Sichtbarkeitsperiode endet mit dem Monatsende. Am 11. November, gegen 18 Uhr, trifft er auf den wenige Tage alten Mond.

## Die Wurmloch-Zeitmaschine

Vor dreißig Jahren erschien in den renommierten „Physical Review Letters“ ein Beitrag<sup>2</sup> über Wurm Löcher und die Möglichkeit von Zeitreisen in die Vergangenheit. Dabei kam das Team um den Gravitationsforscher Kip S. Thorne (geb. 1940) zu dem Schluss, aus heutiger Sicht könnten derartige Reisen

---

<sup>2</sup>Michael S. Morris, Kip S. Thorne, Ulvi Yurtsever: „Wormholes, Time Machines, and the Weak Energy Condition“

(noch) nicht ausgeschlossen werden. Eine technische Realisierung sei, wenn überhaupt, Sache von *ultra-advanced civilizations*.

Der Kosmos-Bote maßt sich nicht an, das im Einzelnen zu verstehen, glaubt aber, sich ein ungefähres Bild<sup>3</sup> von der Lage machen zu können.

Die Idee ist, so der britische „Lesch“ Marcus Chown (geb. 1959), einfach: In der Nähe eines schwarzen Lochs verläuft die Zeit langsamer als weit draußen. Während „jwd“<sup>4</sup> eine Woche verstreicht, ist nahe dem Ereignishorizont vielleicht nur ein Tag vergangen. Ein entfernter Reisender, dem es gelänge, sofort, quasi ohne Zeitverzug, von seinem Ort zügig fließender Zeit in die Nähe des Monstrums zu gelangen, reiste in die Vergangenheit! Dazu müsste er allerdings eine Abkürzung nehmen, womit wir beim Wurmloch wären.

Statt auf Gravitationsrotverschiebung könnte man auch auf die Zeitdilatation bei schneller Bewegung zurückgreifen. Eine Öffnung des Wurmlochs müsste sich dann für eine Weile nahezu lichtschnell bewegen. Der Tunnellänge darf dies nichts anhaben, das Wurmloch muss ja schnell passiert werden!

Wir starten mit einem Ausflug in „Einsteins Gedankenwelt“.

## Relativität

Wie Galileo Galilei (1564–1642) anhand eines Gedankenexperiments erklärte, ist es im Bauch eines fensterlosen Segelschiffes, das mit konstanter Geschwindigkeit auf dem Weltmeer geradlinig dahinsegelt, unmöglich, mittels *m e c h a n i s c h e r* Experimente festzustellen, ob das Schiff sich bewegt oder nicht. Einstein fügte 1905 lediglich hinzu, dies gelte auch, werde mit *L i c h t* experimentiert – und brachte damit die Vorstellung von Raum und Zeit als „reine Anschauungsformen“ (Immanuel Kant, 1724–1804) und Vorbedingung von Erfahrung zum Einsturz. Wie die Erfahrung (Michelson-Morley-Experiment!) lehrt, ist die Lichtgeschwindigkeit immer die gleiche, ob ich mich bewege oder nicht. Das Gesetz, wonach sich Geschwindigkeiten (vektoriell) addieren, ist schlicht falsch! Dass dies jahrtausendelang niemandem aufgefallen ist, hat mit der Schnelligkeit zu tun, mit der sich Licht ausbreitet:  $c = 299\,792\,458\text{ m/s}$ .

---

<sup>3</sup>Wer es ganz genau und aus berufenem Munde wissen möchte, dem sei „Gekrümmter Raum und verbogene Zeit – Einsteins Vermächtnis“ und „The Science of *Interstellar*“ empfohlen. Autor ist einer der Physik-Nobelpreisträger von 2017, Kip S. Thorne.

<sup>4</sup>janz weit draußen (sprich: jottweeedee)

Begreiflicherweise möchten viele die Relativitätstheorie begreifen. Ihnen sei gesagt: Da ist nichts zu begreifen oder zu verstehen! Die Welt ist bloß anders<sup>5</sup>, als gedacht. Der „Relativist“ (jemand, der sich in Relativistik auskennt) „versteht“ lediglich sein Handwerk! Das Gute daran: Zwei Teilgebiete der Physik, Mechanik und Optik (Elektrodynamik), fanden nahtlos zueinander. Die Newtonsche Mechanik erwies sich als Grenzfall:  $c \rightarrow \infty$ . Ende 1915 setzte Einstein noch eins drauf. Das Galileische Prinzip der Relativität wurde *verallgemeinert* auf den freien Fall, eine beschleunigte (!) Bewegung, – deshalb *allgemeine* Relativitätstheorie! Kein Experiment der Welt verrät dem Experimentator in seiner kleinen Welt, sofern er nicht nach draußen schaut, ob er sich in einem frei fallenden Fahrstuhl (bzw. der ISS) befindet oder aber in einem Raumschiff im Leerlauf durch die Weiten des All dahingleitet, fern von Sternen und Planeten mit ihren Gravitationsfeldern. In beiden Fällen gelten für ihn die Gesetze der speziellen Relativitätstheorie.

## Kosmische Faulheit

Die Tatsache, dass der Goldklumpen (im Vakuum) so schnell wie die Gänsefeder fällt, hat Albert Einstein nicht erklärt, sondern in einem Geniestreich zum Ausgangspunkt seiner Gravitationstheorie, der allgemeinen Relativitätstheorie (ART), gemacht: Gravitation wird durch Geometrie ersetzt, Schwerkraft verschwindet, der Raum bzw. die Raum-Zeit<sup>6</sup> gewinnt an Wirklichkeit. John Archibald Wheeler (1911–2008) hat es auf den Punkt gebracht: „Die Materie sagt dem Raum, wie er sich krümmen soll, der Raum sagt der Materie, wie sie sich bewegen soll.“ Dazu drei Anmerkungen. (1) Materie ist *alles*, nicht bloß Stoff. Auch Energie (Bewegungsenergie, Wärme etc.), Druck – eine Energiedichte! –, selbst das Gegenteil von Druck, Zug – eine negative Ener-

---

<sup>5</sup>Sie ist sogar, zumindest für den Physiker, einfacher als gedacht! Es ist trotzdem eine gute Idee, im Alltag *nicht* die Relativitätstheorie zu bemühen. Sie ist zu rechenintensiv und der Gewinn an Genauigkeit ohne Belang! Wäre die Lichtgeschwindigkeit  $c$  um Zehnerpotenzen kleiner, hätte es die biologische Evolution schwer gehabt. Ein Spatzenhirn hätte dann zum Fliegen nicht gereicht, und Keplers Hirn hätte die drei Gesetze der Planetenbewegung angesichts rasanter Periheldrehung vermutlich nie gefunden, und wir stünden jetzt noch dumm da: Lieber mit einer unrichtigen Vorstellung gut leben, als an der richtigen zugrunde gehen!

<sup>6</sup>Geometrodynamiker sprechen gar von einer „metrischen Flüssigkeit“. Einstein selbst verglich die Raum-Zeit mit einer „Molluske“.

giedichte! –, tragen zur Krümmung<sup>7</sup> bei. (2) mit Raum ist die Raum-Zeit gemeint, und (3) die Geometrie legt fest, was „gerade“ bedeutet. Bei Abwesenheit von äußeren Kräften, im Leerlauf sozusagen, bewegt sich die Materie, wie gewohnt, geradlinig, bloß, dass in einer gekrümmten Welt das Pendant zur Flach-Welt-Geraden die Geodäte ist, der Weg eines Lichtstrahls. Als Reisende auf der Weltkugel ist uns das geläufig. So ist die kürzeste Verbindung zwischen Berlin und Los Angeles Teil eines Großkreises, der den Passagier in Gegenden jenseits des nördlichen Polarkreises verschlägt. Der Krümmungsradius dieser Luftlinie ist – der Erdradius.

Die Einsteinsche Beschreibung hat den Vorteil, dass das Bezugssystem keine Rolle spielt: Krümmung ist eine „innere“ Eigenschaft von Fläche, Raum oder eben Raum-Zeit, und als solche unabhängig von der Koordinatenwahl.

Die Physik, sprich die mathematische Gestalt ihrer Gesetze, sollte nie vom gewählten Bezugssystem abhängen! Diesem Leitgedanken der „Forminvarianz“, der nicht der physikalischen Sphäre angehört, war Albert Einstein bereit, alles zu opfern, selbst den „gesunden Menschenverstand“. Vor Einstein waren sog. Inertialsysteme privilegiert, jetzt sind alle Bezugssysteme gleichwertig, wenn auch nicht gleich praktikabel. Die Kontroverse um geo- oder heliozentrisch? – für Einstein ein Scheingefecht!

Das Bewegungsgesetz für ein Ding, einen Planeten etwa, lautet wie folgt: Ein Gegenstand gleitet („Leerlauf“!) so durch die Raum-Zeit, dass seine Weltlinie zwischen zwei Ereignispunkten unter allen gedachten Weltlinien diejenige ist, welche die Eigenzeit maximiert, jene Zeit, die eine mitgeführte Uhr anzeigt. Fern von schweren Massen ist das eine Gerade, die mit konstanter Geschwindigkeit durchmessen wird. Auch der Stern, der um das schwarze Loch im galaktischen Zentrum herum fällt, lässt sich dafür maximal viel Zeit! Jede Abweichung vom tatsächlich eingeschlagenen Weg

---

<sup>7</sup>Apropos Krümmung: Ein Ball, eine Sekunde lang im freien Flug, hat sich währenddessen längs der Zeitachse um nahezu 300 000 km fortbewegt! Es geht um die Krümmung seiner Weltlinie im 4-Dimensionalen, nicht um die Flugparabel, die wir sehen und die lediglich den vergleichsweise kleinen räumlichen Anteil darstellt. Was sind schon 4,90 Meter verglichen mit 300 000 Kilometern? Übrigens ist die mittlere Krümmung überm Erdboden, also beim Ballspiel, Null (weil da so gut wie nichts ist)! Das bisschen Luft zählt nicht. Wieso mittlere Krümmung? Nun, im 4-Dimensionalen  $(x, y, z, t)$  gibt es sechs Koordinatenwände, welche senkrecht aufeinander stehen ( $xy$ -,  $xz$ -,  $xt$ -,  $yz$ -,  $yt$ - und  $zt$ -Ebene). Mithin sind auch sechs Krümmungsangaben erforderlich, positive wie negative, um die Situation zu beschreiben. Wie sich zeigt, reicht die Angabe der mittleren Krümmung aus, sofern sie für jeden Punkt der Raum-Zeit gegeben ist.

ersparte ihm (Eigen)Zeit! Bertrand Russell (1872–1970), der Philosoph und engagierte Pazifist, sprach scherzhaft vom „Prinzip der kosmischen Faulheit“. Das hat mit dem Minuszeichen in der Abstandsdefinition im Minkowskiraum,  $(\Delta s)^2 = (c \cdot \Delta t)^2 - (\Delta l)^2$ , zu tun. Die „geradeste“ Verbindung zwischen zwei Ereignissen in der Raum-Zeit ist die Geodäte, aber j e d e r Umweg wäre zeitsparender: Mein gleichaltriger Zwilling, dessen Weltlinie zur Wega und zurück führt, wäre beim Wiedersehen, falls ich das erlebte, jünger als ich. Daran änderte auch das Bremsen und Beschleunigen nichts, dem er beim Wendemanöver in 26 Lichtjahren Entfernung ausgesetzt wäre. Merke: Wer sich bewegt, stirbt zuletzt.

Das „Faulheitsprinzip“ wird uns schmerzlich bewusst, fallen wir hin. Fallen maximiert die persönliche Zeit! Im Stehen altern wir schneller! Stehen erfordert ständiges „Gas-Geben“ nach oben, nur um nicht zu fallen! Man erinnere sich der Rakete, die sich beim Start für einen Moment auf ihrem Gasstrahl ausruht. Das Sich-dem-Fallen-Widersetzen ist es, was wir als S c h w e r e empfinden und was Raketenstarts teuer macht. Im freien Fall sind wir gewichtslos!

Warum Treppensteigen schwer fällt? Man investiert in potentielle Energie. Je höher man steigt, desto geschwinder<sup>8</sup> ticken unsere „inneren“ (Atom)Uhren. Ein Atom ist ein schwingendes Gebilde und als solches eine ideale Uhr<sup>9</sup> Die Quadrilliarden Uhren in uns schneller schwingen zu machen bringt uns ins Schwitzen.

Bislang hat die ART allen Anfechtungen widerstanden. Es gibt nichts besseres. Leider „beißen“ sich ART und Quantentheorie. Knackpunkt<sup>10</sup> ist u. a. die Rolle der Zeit.

---

<sup>8</sup>Unter Ausnutzung des Mößbauer-Effekts konnten Robert Pound (1919–2010) und Glen Rebka (1931–2015) diese gravitative Zeitdilatation (Gravitationsrotverschiebung) erstmals 1960 messen. Ein Höhenunterschied von 22,6 Metern reichte aus. Damit die Uhren in den hoch-fliegenden GPS-Satelliten nicht 40  $\mu$ s/d (1,5 s/Jh.) vorgehen, müssen sie entsprechend nachgestellt werden.

<sup>9</sup>Seit einem halben Jahrhundert regelt die Atomuhr die bürgerliche Zeit. Nach jeweils 9 192 631 770 Schwingungen eines Zäsiumsatoms (<sup>133</sup>Cs) ist definitionsgemäß eine Sekunde herum. Zuvor hatte man die Zeit (im nachhinein) so festgelegt, dass die Newtonsche Himmelsmechanik gilt. Genaugenommen hat sich daran nichts geändert. In der „Bibel“ des Gravitationsforschers, dem Wälzer „Gravitation“, stößt man auf die lapidare Feststellung „Time is defined so that motion looks simple.“ Das ist in dieser Kürze nicht überbietbar, geschweige ins Deutsche übertragbar. Man definiert Zeit so, dass die Theorie stimmt!

<sup>10</sup>Die grundsätzliche Schwierigkeit: Die Quantenphysik spielt sich ab in einer von außen gegebenen Zeit, während bei der ART nicht nur Zeitliches und Räumliches miteinander verbandelt, sondern darüber hinaus noch von dem, was sich auf der 4-dimensionalen „Weltbühne“ ereignet, abhängen.

## „Contact“ (1997) und „Interstellar“ (2014)

Die Weggeometrisierung der Schwere beflügelt nicht nur die Phantasie von Physikern – sie bietet auch Stoff für gute Science Fiction! Topologische Seltsamkeiten wie „Raum-Zeit-Henkel“ könnten rein hypothetisch zwei Ereignisse auf mehr als einem Weg miteinander verknüpfen. Nehmen wir einen wurmstichigen Apfel. Anstatt den Umweg über die Apfeloberfläche von A nach B zu nehmen, frisst sich der Wurm hindurch. Die 2-dimensionale Apfeloberfläche steht für die gekrümmte 4-dimensionale Wirklichkeit. Es gibt nur diese! Das essbare Apfelinnere ist „nicht von dieser Welt“, ist Hyperraum. Der Tunnel könnte auch Pforte zu einem anderen Universum sein.

Die Idee ist so neu nicht. 1935 sprach man vornehm von „Einstein-Rosen-Brücke“. „Wurmloch“ wie auch „schwarzes Loch“ sind bildhaft-eingängige Wortschöpfungen John Archibald Wheelers (1911–2008).

Im Prinzip sollten, wie in dem Fachartikel ausgeführt, mittels eines Wurmloches sogar Zeitreisen möglich sein, und zwar Her wie Hin, da keine Horizonte wie beim schwarzen Loch zu überwinden wären. Doch die technischen Hindernisse, sie scheinen schier unüberwindlich:

(1) Wurmlöcher sub-mikroskopischen Ausmaßes gibt's, glaubt man den Forschern der Quantengravitation, die Hülle und Fülle: im Quanten- bzw. Raum-Zeit-Schaum<sup>11</sup>. Doch wie ein solches Zufallsgebildchen von vielleicht  $10^{-33}$  cm derart aufblähen, dass jemand, unbeschadet der Gezeitenkräfte, hindurchpasst? Anders als ein schwarzes Loch, dem Relikt eines massereichen Sterns, entsteht ein Wurmloch spontan, ohne Anlass<sup>12</sup>.

(2) Wie sich 1962 herausstellte, ist das Vakuum-Wurmloch gravitativ instabil: Es öffnet und schließt sich zu schnell, als dass ein Photon hindurch schlüpfen könnte. Um beide (kugelförmigen<sup>13</sup>) Schlünde offen und den Tunnel durchgängig zu halten bedürfte es des (im Bezugssystem des Reisenden) anti-gravitativen Effekts einer Substanz mit negativer Energiedichte. Ob es ein solch exotisches Material<sup>14</sup> überhaupt geben kann, ist ungewiss.

---

<sup>11</sup>In kleinsten Raum-Zeit-Bereichen erwartet man starke Fluktuationen der Geometrie.

<sup>12</sup>Die Anzahl stellarer schwarzer Löcher kann man abschätzen, die Anzahl von Wurmlöchern nicht. Während einer inflationistischen Phase könnten Wurmlöcher aus der Planck-Ära gigantisch aufgebläht worden sein. Vermutlich sind alle begehbaren Wurmlöcher künstlich – sofern es überhaupt welche gibt.

<sup>13</sup>Der Zeitreisende durchheilt im einfachsten Fall einen *sphärischen* Tunnel. Er betritt hier eine Art „Kristallkugel“ und verlässt eine ebensolche dort.

<sup>14</sup>Einstein selbst hatte, um seine Vorstellung von einem statischen Universum zu retten,

(3) Um ein Wurmloch in eine Zeitmaschine zu verwandeln müsste ein Tunnelausgang zwischenzeitlich entweder auf nahezu Lichtgeschwindigkeit beschleunigt oder aber nahe einer starken Gravitationsquelle (Neutronenstern, schwarzes Loch) positioniert werden, bevor er zum Ausgangspunkt zurückkehrt.

(4) Ein Problem ist Strahlung. Ein zufällig daherkommendes Photon könnte sich im Wurmloch in einem Teufelskreis (Rückkopplung<sup>15</sup>) verfangen. Es wird jährlings unendlich (?) hell, was das Wurmloch eventuell zerstört.

Wie man sieht, sind es – sofern nicht die noch ausstehende Theorie der Quantengravitation einen Strich durch die Rechnung macht –, eher technische Probleme, die gegen Reisen in die Vergangenheit sprechen, denn prinzipielle.

## Verbote

Reisen in die Vergangenheit können paradoxe Situationen zeitigen. Sollte man deshalb, wie 1992 Stephen Hawking (1942–2018) vorschlug<sup>16</sup>, Weltmodelle *par ordre du moufti* verbieten, die zulassen, dass jemand in die Vergangenheit reist, um seine Geburt zu verhindern? (Ausflüge, die in diesem Universum die Logik nicht verletzen, könnte man ja zulassen.) Vielleicht ist es ja bloß der Energiepreis, der uns Touristen<sup>17</sup> aus der Zukunft vom Halse hält – die Reisen sind schlichtweg unerschwinglich, wie Gödel meinte. Schon das Telefonieren in die Vergangenheit sei teuer. Vielleicht feilt ja die richtige Theorie, die Vereinigung der Quanten- mit der Gravitationsphysik, gegen solche Zumutung. Andererseits könnte sich herausstellen, dass in einer „Theorie von Allem“ Zeitreisen generell, auch solche in die Vergangenheit, zugelassen

---

d. h., um der allgemeinen gravitativen Anziehung etwas entgegen zu setzen, einst die sog. kosmologische Konstante ins Spiel gebracht. Als sich herausstellte, das Universum expandiert, bezeichnete er seine „Erfindung“ als den größten Plunder seines Lebens. Gegenwärtig feiert der „Plunder“ unter neuem Namen fröhliche Urständ: dunkle Energie. Sie soll das Universum seit Milliarden Jahren beschleunigt expandieren machen. Dunkle Energie wirkt anti-gravitativ, wie negativer Druck, also Zug. Man denke an einen gespannten Gummi, bloß halt ohne den Gummi: reine Zugspannung! In diesem Zusammenhang wird gerne auf das Quantenvakuum verwiesen und auf den Casimir-Effekt.

<sup>15</sup>Wenn ein Photon in dem Moment aus der Zukunft kommt, an dem es sich einst auf die Reise gemacht hat, dann ist nicht nur ein Photon losmarschiert, sondern deren zwei, vier, acht ...!

<sup>16</sup>Hawkings Chronologieschutz-Vermutung

<sup>17</sup>Um aus dem Morgen ins Heute zu reisen, müsste der Zeitbus bereits jetzt existieren, vielleicht vergraben unter einer großen Pyramide ... (kleiner Scherz!)



werden müssen – gemäß der Forderung, die Wirklichkeit sei, grob gesagt, eine Überlagerung aller Möglichkeiten!

Drei Beispiele für überraschende Wendungen, die voreilig erlassene Verbote überflüssig gemacht haben, seien angeführt:

(1) Einsteins Theorie der Schwerkraft verhindert zwar keine Singularität, sie verbirgt diese un-physikalische Stelle aber gnädig vor uns Außenstehenden<sup>18</sup>. Die „nackte“ Singularität befindet sich unter allen Umständen jenseits des Ereignishorizonts und kann uns nichts anhaben. Man muss sie nicht verbieten!

(2) Als der Kosmos-Bote Physik studierte, wurden Lösungen der Maxwell-Gleichungen, die Wellen beschrieben, die aus der Zukunft kommen, kurzerhand verworfen. Dabei braucht man diese „unphysikalischen“ Lösungen für ein in sich konsistentes Bild von der Wirklichkeit! Und die Ätherwellen aus dem Morgen verraten rein gar nichts über die Zukunft!

(3) Einstein warnte vehement vor spukhaften Sofortwirkungen der Quantenphysik. Nun, es gibt sie. Doch taugen auch sie nicht zur instantanen Informationsübertragung, wie sich schließlich zur Erleichterung aller herausstellte.

Noch ist zu hoffen, dass Reisen in die Vergangenheit zwar eventuell erlaubt, eine Revision der Geschichte aber in diesem Universum unmöglich ist.

## Resümee

Ja, es ist sinnvoll (und reizvoll), über Zeitmaschinen nachzudenken! Gedankenexperimente testen die Grenzen der Theorie aus.

Dass die Einsteinschen Feldgleichungen Absurditäten wie Wurmlöcher und Reisen in die Vergangenheit *in petto* haben, ist befremdend. Wissenschaftler sind berufsbedingt eher konservativ. Noch besteht Hoffnung, dass das exotische Zeug, womit ein Wurmloch stabilisiert werden könnte, gar nicht existiert. Schlimmstenfalls müsste, wie angedeutet, ein Selbstzerstörungsmechanismus dem Unfug ein Ende bereiten. (Ob damit auch alle anderen denkbaren Zeitmaschinen obsolet würden, ist eine interessante Frage.)

Andererseits hat die Vorstellung, irgendwann vielleicht einmal Herr über die Zeit zu sein, wie man bereits jetzt über den Raum gebietet, etwas durchaus Berückendes. Doch dazu müsste man sich langfristig auf die gefährliche

---

<sup>18</sup>Und der Wagemutige, der sich ins schwarze Loch fallen lässt, kann den Zurückgebliebenen keine Kunde von der Stelle unendlicher Dichte geben. Sie sehen ihn, rot- und röterverschoben, im eingefrorenen Anflug auf den Ereignishorizont, ohne dass der Reisende diesen jemals durchstieße.

Gratwanderung zwischen Technik-Verweigerung und Technik-Vermessenheit einlassen – ganz im Sinne des Visionärs Carl Sagan (1934–1996), dem Autor von „Contact“. Aber ist die Zivilisation nicht schon längst Wissenschaft und Technik ausgeliefert – auf Gedeih und Verderb?

Die Einsteinsche Theorie dürfte das letzte Wort nicht sein. Gut möglich, dass die Zeit, die nahezu unisono von den Physikern zu einer Art Raumdimension degradiert ist, eines Tages rehabilitiert wird und wieder den Platz einnimmt, den ihr unser Vergänglichkeitssinn von jeher eingeräumt hat. Ansätze dazu gibt es. Erinnert sei an den belgischen Chemie-Nobelpreisträger von 1977, Ilya Prigogine (1917–2003). Der stellte die Entropie über die Energie, den 2. Hauptsatz der Thermodynamik, der von der Entropiezunahme handelt (und den wir hier als „zweit-klassig“ abgetan haben, weil er nur zu 99,9999...% richtig ist), über den „1.“, der die 100-prozentige Erhaltung der Energie konstatiert. Eine Physik, die uns zu „Fremden in dieser Welt macht“, war sein Ding nicht. Prigogine erntete Häme. Seine Forderung nach einer „Renaissance der Zeit“ aber verhallte nicht ungehört. Man erwartet das Heil nun von der Quantengravitation. Vielleicht gibt's ja doch noch einen „erst-klassigen“ Zeitpfeil.