

Notwendigkeit zwingt den Verstand des Malers, sich in den Verstand der Natur selbst zu verwandeln und zum Dolmetscher zwischen selbiger Natur und der Kunst zu werden.

Leonardo da Vinci (1452–1519)

Liebe Leserin, lieber Leser,

zum schwarzen Loch in M 87 kommen wir noch!

Zuvor gilt es eines Renaissancegenies zu gedenken. Vor einem halben Jahrtausend, am 2. Mai 1519, verstarb in einem Loire-Schloss, das ihm der jugendliche Franz I. überlassen hatte, Leonardo da Vinci. Der Alleskönner setzte auf genaues Naturstudium, nicht auf Büchergelehrsamkeit. Seine Skizzen zu Sturzbächen zieren nicht ohne Grund Fachbücher zur Turbulenz- und Chaosforschung: Man sieht nur, was man kennt.

Er war vom Wasser geradezu besessen, was kaum wundert: Wasser war eines der vier Elemente! Und es stand für das Leben! Leonardo entdeckte das Chaos in der Schöpfung! Es war nicht vom Kosmos, der Ordnung, überwunden, wie man glaubte! Wenn sich Menschen von der Schulphysik abwenden, so, weil diese lebensfremd daherkommt, trocken. In der Tat vermittelt sie üblicherweise nur Wissen über „trockenes“ Wasser, um ein Bonmot Richard Feynmans (1918–1988) zu gebrauchen, eines Leonardobewunderers und selbst ein Zeichentalent. Man muss zur Bewegungsgleichung nur einen Viskositätsterm hinzufügen, und Wasser wird unberechenbar. Ein kleiner Zusatz, um der Wirklichkeit willen, verändert alles, nicht nur den mathematischen Charakter einer Gleichung! Leonardo hat dies nicht gewusst, aber gesehen hat er es wie vor ihm keiner.

Die Sonne hielt er, wie Kopernikus, für unbewegt! Den Mond zeichnete Leonardo so, wie er ihn mit seinen guten Augen sah: mit dunklen „Meeren“, einigen hellen (also jungen) Riesenkratern und – um den Neumond herum – dem aschgrauen Mondlicht. Für letzteres fand er die Erklärung: den Erdschein. Die Vollerde illuminiert des Mondes Schattenseite. Die Erde erscheint einem Mondmenschen 3-dutzendmal heller als uns der Vollmond. Das ist zum einen der Größe der Erde geschuldet, zum anderen ihrem hohen Rückstrahlungsvermögen. Die Albedo der Erde übertrifft die des Mondes um das

Dreifache. Man schaue sich den Mond an, wenn er im Gebirge nahe einem nackten Fels zu sehen ist, also bei gleichem Beleuchtungsverhältnis: Unser Trabant ist vergleichsweise dunkel. Leonardo machte die Ozeane für das Erdlicht verantwortlich. Wir wissen, dass es wesentlich die Bewölkung ist. Dem Licht-und-Schatten-Meister, dem es der Schatten Farbigkeit angetan hatte, entging auch nicht, dass Licht „um die Ecke“ geht. Als Entdecker der Beugung avancierte er zum Urahn der Wellenoptik. Er war damit einem Isaac Newton (1643–1727) voraus. Die Erfolgsgeschichte der Lichtwellen fand allerdings Anfang des 20. Jh. ein jähes Ende. 1905 erkannte Albert Einstein (1879–1955), dass Licht tatsächlich, wie von Newton behauptet, aus Teilchen besteht, Lichtquanten, wofür er dann 1921 auch den Physiknobelpreis bekam. Das „Photon“ taucht als Wortschöpfung erst 1926 auf.

Da war Albert Einstein bereits eine Berühmtheit. Berühmt gemacht aber hat ihn die totale Sonnenfinsternis vom 29. Mai 1919.

Seine Allgemeine Relativitätstheorie sagt für den Sonnenrand eine Lichtablenkung von $1,75''$ (Bogensekunden) voraus. Tatsächlich lag der 1919 gemessene Wert merklich über den von der Newtonschen Theorie geforderten $0,87''$. Die Verdopplung eines ohnehin winzigen Effekts – es geht um den Durchmesser einer Ein-Euro-Münze, betrachtet aus 2,6 km Entfernung – begründete Einsteins Ruhm! Ein weiterer Hinweis, dass Newtons $1/r^2$ -Gesetz der Gravitation das letzte Wort nicht sei, war die etwas zu schnelle Drehung der Merkurbahnellipse. Winzig sind die Einsteinschen Effekte, weil die Sonne 240 000-mal größer ist als ihr sog. Schwarzschildradius. Der eigentliche Prüfstein für Einsteins Schwerkrafttheorie aber sind die Dinge, die kleiner sind als ihr Schwarzschildradius – schwarze Löcher. Endlich, noch rechtzeitig zum hundertsten Jahrestag der spektakulärsten Sonnenfinsternis des 20. Jh., wurde am 10. April der Weltöffentlichkeit ein hochaufgelöstes Radiobild des Zentrums der Virgogalaxie M 87 präsentiert. Es zeigt Details in unmittelbarer Nähe eines Schwarzschildradius: den Schatten eines $6\frac{1}{2}$ -Milliarden-Sonnenmassen-Black-Holes! Anders als 1919 hätte die Sensation von 2019 in Einstein ein gemischtes Gefühl erregt: Der Physiker hielt gar nichts von „Dunkelsternen“!

Diese Maiausgabe hat es (hoffentlich) in sich. Spaß bei der Lektüre wünscht
Hans-Erich Fröhlich

Der Himmel im Mai

Merkur wechselt am 21. Mai von der Morgen- auf die Abendseite. Er ist hinter der Sonne und nicht zu sehen.

Venus schwächelt noch am Morgenhimmel. Sie nähert sich der Sonne langsamer als Merkur. Ihre obere Konjunktion erfolgt erst Mitte August.

Mars ist am Abend noch kurz nach Einbruch der Dunkelheit zwischen Fuhrmann und Zwillingen im NW auszumachen.

Wandelstern Jupiter, inzwischen rückläufig, bewegt sich auf seine diesjährige Opposition zu. Ende Mai geht er bereits 40 Minuten nach Sonnenuntergang auf. Auch Saturn ist inzwischen rückläufig. Er folgt dem Jupiter im Abstand von zwei Stunden. Ab Mitte Mai geht er bereits vor der MEZ-Mitternacht, 1 Uhr MESZ, auf.

Die Ceres, einst Planetoid Nr. 1 und inzwischen zum Zwergplaneten avanciert, steht am 28. Mai in Opposition zur Sonne. Sie befindet sich dann im Schlangenträger nahe der Grenze zum Skorpion, also in südlichen Gefilden. Mit 7. Größe ist sie etwas für den Feldstecher. (Nur Planetoid Nr. 4, die Vesta, ist heller zur Opposition.)

Einsteins Sonnenfinsternis

Der kompakteste¹ Himmelskörper weit und breit, d. h., derjenige mit der größten Entweichgeschwindigkeit, ist die Sonne.

Ein massebehaftetes Teilchen, welches schnell an der Sonne vorbeischießt, wird von seiner geradlinigen Bahn abgelenkt. Das gilt auch für ein Photon. Es hat zwar keine Ruhemasse, aber Energie, und die ist laut Einsteins $E = m \cdot c^2$ äquivalent einer schweren Masse. Nach den Gesetzen der Newtonschen Mechanik erführe ein Lichtstrahl, der in seinem sonnennächsten Punkt gerade die Sonnenoberfläche streifte, eine Ablenkung von der geradlinigen Bewegung von $0,87''$ bzw. $0,00024^\circ$. Das wusste man bereits 1801. Beim Vergleich einer Fotografie des Sternenhimmels mit Sonne, beispielsweise aufgenommen während einer totalen Sonnenfinsternis, und einer entsprechenden ohne Sonne sollten alle Sterne, abhängig von ihrem Winkelabstand zum Zentrum der Sonnenscheibe, eine winzige, vom Sonnenzentrum hinweg gerichtete

¹Wenn der Kosmosbote von Kompaktheit spricht, ist damit das Verhältnis Masse zu Radius eines Himmelskörpers gemeint und nicht die Dichte oder Ähnliches.

Ortsverschiebung² aufweisen. Deren Größe fällt umgekehrt proportional zum scheinbaren Abstand vom Sonnenscheibenzentrum.

Die Einsteinsche Allgemeine Relativitätstheorie sagt das Doppelte³ des Newtonschen Wertes voraus. Würde also (unter Berücksichtigung der Messungengenauigkeit) keine Lichtablenkung von $1,75''$ (am Sonnenrande) gemessen, wäre Einsteins schöne Theorie widerlegt. Sie gilt insofern als vorbildhaft⁴, als sie prinzipiell leicht falsifizierbar ist.

Zum Glück stimmen die scheinbaren Durchmesser von Sonne und Mond in etwa überein, wodurch es hin und wieder zu einer totalen Sonnenfinsternis kommt. (Leider liegt zufälligerweise nie eine Sternwarte in dem schmalen Streifen der Totalitätszone.) Ein glücklicher Umstand kam am 29. Mai 1919 hinzu: Die Finsternis spielte vor dem Hintergrund der Hyaden, einem prominenten Sternhaufen mit vielen hellen Sternen. Da aller guten Dinge drei sind, sei angemerkt, dass diese Finsternis mit maximal 6 Minuten, 51 Sekunden außergewöhnlich lang dauerte. Was war zu tun? Alles läuft darauf hinaus, eine Aufnahmen des Sternfeldes zum Zeitpunkt der Finsternis mit einer weiteren zu vergleichen, die zeitversetzt – also ohne Sonne – unter ver-

²Die Sonne selbst erscheint um Millibogensekunden größer am Himmel als sie tatsächlich ist. Ihr eigenes Licht wird ja auch abgelenkt!

³Einstein vollführte Gedankenexperimente. 1907 hatte er sein Heureka-Erlebnis: Eine Person im freien Fall hat kein Gewicht! Sie spürt die Schwerkraft nicht! Wenn die Schwere so leicht – zumindest lokal – „ausgeschaltet“ werden kann, gibt es sie nicht! Umgekehrt erzeugt Beschleunigung, beim Anfahren oder Bremsen, scheinbar Schwere. Man spricht vom Äquivalenzprinzip. Um nun auch global die Schwerkraft aus dem Universum zu verbannen, also alle frei-fallenden Personen im Universum raum-zeitlich zu verknüpfen, musste Einstein „nur noch“ die flache Raum-Zeit der Speziellen Relativitätstheorie opfern und durch eine gekrümmte ersetzen. Die „wahre“ Geometrie, wie sie empirisch mit realen Maßstäben und Lichtstrahlen realisiert wird, ist seit 1915 eine nicht-euklidische! Die Grundlagen dazu waren durch Nikolaj Iwanowitsch Lobatschewskij (1792–1856) und János Bolyai (1802–1860) gelegt worden. Beiden war aufgegangen, dass es des fünften Euklidischen Axioms, des Parallelenaxioms, gar nicht bedarf, um eine Geometrie axiomatisch zu begründen. Die Geometrie ist halt nicht *a priori* euklidisch, wie noch Immanuel Kant (1724–1804) gelehrt hatte. Einstein lernte alles über sog. Riemannräume (n -dimensionale Räume mit beliebigen Krümmungen) von einem Kommilitonen. Allein durch die Raum-Zeit-Krümmung, den Übergang von einer lokalen auf eine globale Sicht der Dinge, verdoppelt sich der Winkel der Lichtablenkung im Schwerefeld eines Körpers. Das Licht nimmt, wie üblich, den kürzesten Weg: Die Gerade Euklids, sie wird bei Riemann (1826–1866) zur Geodäten.

⁴Üblicherweise fällt einem Wissenschaftler stets eine Ausrede ein, warum eine Messung nicht das von der Theorie vorhergesagte Resultat bringt. Bei Einsteins Theorie ist das kaum möglich.

gleichbaren Bedingungen, also gleicher Zenitdistanz, gleicher Apperatur und wenn möglich am gleichem Ort, aufgenommen wurde.

Eine Sonnenfinsternisexpedition unter Leitung des mit Einstein befreundeten Erwin Finlay-Freundlich (1885–1964) und finanziert von der Firma Krupp war bereits im Sommer 1914 zur Krim aufgebrochen. Doch kam der Erste Weltkrieg dazwischen und Freundlich sowie sein Begleiter Walther Zurhellen (1880–1916) erreichte erst nach einer Odyssee durch russische Internierungslager wieder die Neubabelsberger Gestade. Da hatte Einstein noch einmal Glück gehabt! 1914 war er noch vom falschen Wert für die Lichtablenkung ausgegangen, von $0,87''$! Seinen „Fehler“ hatte Einstein erst in der Endfassung seiner Theorie korrigiert! Freundlich konnte erst 1929 auf Sumatra eine Lichtablenkung nachweisen, ein Jahrzehnt nach den Engländern. (Die Finsternis vom 29. Mai 1919, an seinem 34. Geburtstag, fiel für ihn nachkriegsbedingt aus.) Ihn wurmte bis zu seinem Lebensende, dass der von ihm gemessene Ablenkwinkel 30 % zu groß war. Freundlich verdanken die Potsdamer eines der berühmtesten Bauwerke der Moderne: den Einsteinturm. Er sollte ursprünglich zum Nachweis eines weiteren Einstein-Effekts dienen: der Gravitationsrotverschiebung. Uhren gehen umso langsamer, je stärker das Schwerefeld.

Der englische Astronom und frühe Aficionado der Relativitätstheorie, Sir Arthur Stanley Eddington⁵ (1882–1944), wollte sich die Chance, die sich 1919 bot, nicht entgehen lassen. Die Royal Society entsandte zur Überprüfung der Relativitätstheorie gleich zwei Expeditionen, eine zur Vulkaninsel Príncipe, gelegen im Golf von Guinea vor der westafrikanischen Küste, eine zweite in den Nordosten Brasiliens, nach Sobral.

Auf Príncipe behinderte leichte Bewölkung die Beobachtungen. Mit Mühe und Not waren fünf Sternbildchen auszumachen. Mehr Glück hatte man in Brasilien mit einer 4-Zoll-Kamera, die man „für alle Fälle“ mitgenommen hatte. (Das Hauptteleskop hatte unscharfe Bilder geliefert, vermutlich wegen der Aufheizung des Coelostatspiegels.) Insgesamt wurden die Ergebnisse (anhand von sieben Sternen) als eine Bestätigung der Einsteinschen Theorie angesehen. Aus heutiger Sicht erscheinen die damaligen Messungen und der Umgang mit den „wertlosen“ Messungen nicht ganz so überzeugend, auch wenn eine erneute Vermessung der Platten anlässlich von Einsteins 100. Geburtstag die Aussagen von 1919 bestätigten. Einstein jedenfalls war nach der Verkündung des Ergebnisses auf einer gemeinsamen Sitzung der Royal Society und der Royal Astronomical Society am 6. November 1919 eine internatio-

⁵Eddington war ein Glücksfall! Ein vorzüglicher Mathematiker, hatte er früh von der Relativitätstheorie gehört und sie im englischsprachigen Raum bekannt gemacht, indem er die nach Einsteins Meinung beste Einführung dazu geschrieben hat.

nale Berühmtheit. Die New York Times titelte am 10. November „Einstein Theory Triumphs“. Bemerkenswert ist, dass in dem vom Kriege gebeutelten Großbritannien nicht Geld noch Mühe gescheut wurde, die Gravitationstheorie eines deutschen Physikers einem entscheidenden Test zu unterziehen.

Inzwischen, nach Jahrzehnten, war die Richtigkeit der Einsteinschen Gravitationstheorie über jeden Zweifel erhaben – zumindest in ihrer sog. Schwachfeldnäherung. Hochgenaue radioastronomische Positionsmessungen und Laufzeitmessungen im Sonnensystem müssen sogar einkalkulieren, dass die Lichtgeschwindigkeit bei Annäherung an die Sonne sich verringert. Die gekrümmte Raum-Zeit wirkt wie ein Medium mit einem potentialabhängigen Brechungsindex! Tatsächlich besteht die beste Methode, einen Galaxienhaufen⁶ zu „wiegen“, darin, ihn als Gravitationslinse aufzufassen, die das Licht dahinterliegender Galaxien zu bündeln vermag. (Das Licht meidet nach Möglichkeit die zentralen Gegenden mit ihrer verminderten Lichtgeschwindigkeit und nimmt den Umweg in Kauf.)

Sogar die tägliche Umdrehung der Erde zeitigt einen allgemein-relativistischen Effekt: das *Frame dragging* (Lense-Thirring-Effekt). Das Lieblingsbezugssystem der Physiker, das Galileische Inertialsystem, wird von der Rotation der Erdmasse quasi erfasst, mitgerissen und muss sich, allerdings extrem langsam, gegen das Universum drehen! (Man glaubt sich in Vor-Kopernikanische Zeiten zurückversetzt: Das Universum dreht sich um uns – alle 33 Millionen Jahre einmal!)

Was noch ausstand, war das „experimentum crucis“, der direkte Nachweis eines Gebildes, welches einst als unerfreuliche Konsequenz der Einsteinschen Theorie totgeschwiegen wurde: eines schwarzen Lochs.

Die Mär vom „Dunkelstern“

Völlig überraschend für Einstein, der seine Allgemeine Relativitätstheorie (ART) im November 1915 der Preußischen Akademie der Wissenschaften zu Berlin vorgestellt hatte, wartete kurz darauf der Potsdamer Astronom Karl Schwarzschild (1873–1916) mit einer exakten Lösung der Einsteinschen Feldgleichungen auf. Sie beschreibt den einfachsten Fall: eine nichtrotierende Kugel. Die Schwarzschildlösung hat etwas, das dem Newtonschen Gravitations-

⁶Ein Galaxienhaufen ist, was das Masse-Radius-Verhältnis anbelangt, kompakter als die Sonne.

gesetz abgeht⁷: einen ausgezeichneten Radius. Der sog. Schwarzschildradius wächst mit der Masse⁸ und misst im Falle der Sonne 2,95 km, für die Erde sind es gar nur 8,8 mm. Was das heißt? Nun, schrumpfte man die Erdkugel auf die Größe ihres Schwarzschildradius, wäre die Entweichgeschwindigkeit, die zweite kosmische Geschwindigkeit, gleich der Lichtgeschwindigkeit (und die Erde ein schwarzes Loch).

Kaum jemand schien Anstoß an der Existenz des Schwarzschildradius zu nehmen und der sich daraus ergebenden phantastischen Möglichkeiten. Man denke nur an Zeitreisen! Zu absurd schien die Vorstellung, es könne etwas geben, das kleiner als sein Schwarzschildradius sei. Einstein selbst scheute davor zurück. Dass seine Theorie so etwas zuließ, betrachtete er als Manko. Erst nach seinem Tod 1955 wurde ruchbar, es führt kein Weg an den sog. „Dunkelsternen“ vorbei. (Erst 1967 bürgerte sich der Ausdruck „schwarzes Loch“ ein.) Für ein übergewichtiges Gebilde, schwerer als einige Sonnenmassen, ist nach Auskühlung der Zusammenbruch zu einem schwarzen Loch unvermeidlich, es sei denn, es reduzierte rechtzeitig sein Gewicht. Bei kleineren Massen verhindert der quantenmechanische Entartungsdruck das Schlimmste – den ultimativen Sturz ins Bodenlose.

Zu seinen Absonderlichkeiten gehört, dass ein schwarzes Loch durch drei Größen erschöpfend beschrieben wird: Masse, Drehimpuls und elektrische Ladung. Mehr ist nicht wissbar! Was sich im Inneren, abgeschirmt vom Ereignishorizonts, auch abspielen mag, es ist, für den Außenstehenden, ohne Belang. Keine Information dringt von dort zu ihm.

Die Raum-Zeit-Krümmung ist dieseits des Ereignishorizonts, also außerhalb des Lochs, durchaus sichtbar und geodätisch vermessbar. Ein isoliertes schwarzes Loch machte sich am Himmel als Gravitationslinse bemerkbar.

Bislang haben sich schwarze Löcher allerdings stets dadurch verraten, dass sie konsumieren, und zwar nahezu drehimpulslosen Stoff aus der Umgebung. (Wegen der Kleinheit eines schwarzen Lochs, ist es nicht einfach, es überhaupt zu treffen. Ein kleines Zuviel an Drehimpuls verhinderte⁹ dies.) Die Drehimpulsanreicherung geschieht in einer zähen Gasscheibe, einer Akkretionsscheibe. Deren Zähigkeit ist magnetisch bedingt. „Unverdaulicher“ Drehimpuls strömt radial nach außen, im Gegenzug kann drehimpulsabgemagerte

⁷Ein reines Potenzgesetz, wie das Newtonsche, kennt keine ausgezeichnete Entfernung.

⁸Das heißt, man braucht „die Masse“ gar nicht. Man kann sie als Länge ausdrücken!

⁹Schmisse man aus einer Umlaufbahn Müll hinein, und träfe nicht den winzigen „Schlund“, raste man irgendwann wieder in seinen eigenen Müll hinein!

Materie nach Innen strömen, bis zum Scheibeninnenrand – gelegen bei drei bis viereinhalb Schwarzschildradien –, und schließlich vom schwarzen Loch verschluckt werden. Beim Transport durch die Scheibe wird jede Menge Gravitationsenergie frei. Die Reibung – wir erinnern uns: die Scheibe ist viskos, was für den Drehimpulsabtransport unerlässlich –, erzeugt Wärme, welche die Scheibe loswerden muss. Sie wird größtenteils ins kalte All abgestrahlt. Es ist diese Strahlung¹⁰ einer heißen Akkretionsscheibe, die man sieht. Sie kündet von dem Monster im Scheibenzentrum, das man nicht sieht.

Um die heißen inneren Partien einer Akkretionsscheibe, wenige Schwarzschildradien vom Massezentrum entfernt, aufzulösen, bedarf es eines gigantischen Teleskops. Und damit wären wir bei der Sensation vom 10. April.

Das schwarze Superloch im Sternbild Jungfrau

Die Virgogalaxie M 87 machte nicht zum ersten Mal Furore: 1918 entdeckte an der Lick-Sternwarte Heber Curtis (1872–1942) auf einer kurzbelichteten Aufnahme einen leuchtenden „Auswurf“, der vom Zentrum der Riesengalaxie ausgeht. 1953 wurde klar, dass eine der „lautesten“ Radioquellen am Himmel, Virgo A, etwas mit dieser Galaxie, insbesondere auch dem 5000 Lj langen Jet zu tun haben muss. Unter Röntgenastronomen spricht man seit 1966 von Virgo X-1 und meint doch M 87 und ihren aktiven Kern.

Als Quelle der Kernaktivität wird seit 40 Jahren ein schwarzes Superloch vermutet. Doch wie beweisen? Das interessante Gebiet ist nicht größer als unser Sonnensystem! Dazu ein paar ernüchternde Zahlen: M 87 ist 55 Millionen Lj von uns entfernt. Das sind $5,2 \cdot 10^{20}$ km. Ein schwarzes Superloch von $6,5 \cdot 10^9$ Sonnenmassen hat einen Schwarzschildradius¹¹ von $1,9 \cdot 10^{10}$ km. Das entspricht in etwa dem augenblicklichen Abstand von Voyager 1 zur Sonne. Von M 87 aus gesehen, wäre die Sonde keine 0,000 01" von der Sonne entfernt! Ein Fernrohr, das in der Lage wäre, diese Distanz optisch aufzulösen, müsste eine Öffnung von einem Dutzend Kilometer haben! Der kürzestwellige Radiobereich bietet inzwischen Möglichkeiten, die dem optischen Astronomen (noch) nicht zu Gebote stehen. Zwar wäre ein Teleskop dann – wegen der längeren Wellen – von der Größe des Planeten,

¹⁰Nicht zu vergessen die Strahlung, die durch die schnelle Bewegung von Elektronen im Magnetfeld entsteht, sog. Synchrotronstrahlung.

¹¹Aus Masse und Radius ergibt sich die mittlere „Loch“-Dichte: $4,5 \cdot 10^{-4}$ g/cm³ oder 1/3 der normalen Luftdichte!

aber das ist kein Hinderungsgrund! Mehrere Radioteleskope, phasengerecht zusammengeschaltet, simulieren, was das Auflösungsvermögen anbelangt, ein Einzelteleskop. Das Zauberwort lautet VLBI: *Very Long Baseline Interferometry*. Die maximale Basislänge bestimmt das Winkelauflösungsvermögen. Der Maximalabstand zwischen erdgebundenen Teleskopen aber ist der Erddurchmesser! Auf dieser Idee beruht das EHT, das *Event Horizon Telescope*. Es besteht z.Z. aus acht Radioobservatorien, verstreut über fast alle Erdteile, die Antarktis eingeschlossen, die für mehrere Messkampagnen virtuell zusammenarbeiten.

Muss es denn so weit weg sein? Ja, um ein 10-Sonnenmassen-Loch bei gleicher Winkelauflösung zu studieren, dürfte es nur ein Zehntel Lichtjahr weit entfernt sein, 50-mal näher als der nächste Stern! Stellare schwarze Löcher messen leider nur wenige Dutzend Kilometer!

Das EHT, eine Kombination aus Hard- und Software, hat es vollbracht: Es hat bei 1,3 mm Wellenlänge erstmals die unmittelbare Umgebung eines schwarzen Lochs abgebildet – gravitativ verzerrt! Der unsymmetrische Ring von 0,000 042" Durchmesser¹², entspricht den Erwartungen! Der Neuigkeitswert ist zwar gleich Null, aber die Nachricht hat es in sich: Wieder einmal hat die ART triumphiert!

Der Kosmos-Bote muss gestehen, dass er – wieder einmal – zu kleingläubig war. Dass man die 230 GHz-Schwingungen, empfangen (und auf TeraByte-Festplatten gebannt) von Geräten, die Tausende von Kilometern voneinander entfernt stehen, im `N a c h h i n e i n` in einem Zentralcomputer zur Überlagerung bringen und mittels plausibler Annahmen ein Bild erzeugen kann, das den Schatten eines schwarzen Lochs offenbart, ist für ihn ein technisches (und organisatorisches) Wunder.

Fazit: eine persönliche Schlappe für Albert Einstein und eine glänzende Bestätigung seiner grandiosen Theorie, diesmal gar für den Extremfall „schwarzes Loch“. Es sei angemerkt, dass es 1915, als Einstein die ART zu Papier brachte, keine Notwendigkeit gab, die Spezielle Relativitätstheorie auf den Fall frei-fallender Beobachter zu verallgemeinern. Es waren rein formale Gesichtspunkte, die Einstein antrieben. Er hatte eine recht genaue Vorstellung davon, wie eine physikalische Theorie auszusehen hat . . .

¹²Zum Vergleich: Eine Ein-Euro-Münze, betrachtet aus 109 000 km Entfernung, erscheint unter einem Winkel von 0,000 042".