



Von Newton bis Einstein – vom mechanistischen zum relativistischen Weltbild

Von Kurt Bangert

Der Ausgang des Streites darüber, ob das geozentrische oder das heliozentrische Weltbild gültig sei, war zweifellos ein schwerer Schlag für die Illusion des Menschen, im Mittelpunkt des Alls zu sein. Wenn nicht die Erde im Zentrum des Universums steht, sondern die Sonne, würde dann der Mensch nicht ein unbedeutendes Wesen sein? Diese Frage ist auch heute noch aktuell. Die kopernikanische Kränkung war real und schmerzhaft. Doch wird dabei gerne übersehen, dass der Streit über das gültige astronomische Weltbild eigentlich nur ein Symptom für die diesem Streit zugrunde liegenden Ideen und Grundsatzentscheidungen war. Es ging in Wirklichkeit um die Auseinandersetzung über die wissenschaftliche Methode der Wahrheitsfindung beziehungsweise. Der Streit um das Weltbild war auch ein Streit um die Weltanschauung.

Geschichtswissenschaftler haben um das 15./16. Jahrhundert einen entscheidenden ideologischen Paradigmenwechsel (einen Wechsel der Denkmuster) ausgemacht und sprechen von dieser Epoche als dem Beginn der Neuzeit. In diese Zeit fällt die „Wiedergeburt“ des antiken Forschergeistes, der über die Jahrhunderte des „dunklen Mittelalters“ weitgehend verschüttet war. Das französische Wort für diese Wiedergeburt lautet „Renaissance“ und hat jener Epoche den Namen verliehen. Aber auch die Reformation (mit Luther, Calvin und Zwingli) fällt in diese Zeit. Es ist der Versuch, nicht nur das naturwissenschaftliche Denken, sondern auch den christlichen Glauben wieder zu seinen Ursprüngen zurückzuführen.

Der Beginn der Neuzeit ist ferner gekennzeichnet durch die Erfindung der Buchdruckerkunst, durch großartige geographische Entdeckungen, wie die des Amerika-Entdeckers Christoph Kolumbus oder jene des Fernando Magellan, der die erste Weltumseglung machte. Auch bahnbrechende Erfindungen und Neuerungen im Bereich der Medizin (Vesalius und Paracelsus), der Kunst (Leonardo da Vinci und Michelangelo) sowie natürlich der Naturwissenschaften: Hier sind vor allem Kopernikus, Kepler, Galilei und Isaac Newton zu nennen. Der entscheidende Paradigmenwechsel jener Zeit bezog sich auf die naturwissenschaftliche Methode.

Bis zur Neuzeit ging es den großen Denkern des Abendlandes (von Augustin über Anselm von Canterbury und Albertus Magnus bis hin zu Thomas von Aquin) vor allem darum, die christliche Theologie mit den großen Denkern der Antike, vornehmlich Aristoteles, in Einklang zu bringen. Was nicht mit Aristoteles und der päpstlich sanktionierten christlichen Philosophie in Einklang zu bringen war, musste als Ketzerei bekämpft und auf den Index der römischen Inquisition gesetzt werden. Diese Zeit des europäischen Mittelalters war eine Hochzeit der Spiritualität, der Mystik und des Mönchtums, aber nicht unbedingt des naturwissenschaftlichen Fortschritts. Es gab diesen Fortschritt, aber nur in kleinen Schritten.



Es ist ein überaus interessantes Phänomen, dass sich gerade in dieser mittelalterlichen Epoche, während das christliche Abendland sehr mit sich selbst beschäftigt war, die arabische Welt durch einen erstaunlichen Forscherdrang auszeichnete. Der sich ausbreitende Islam ließ sich nicht nur von den Kulturen, die er eroberte, befruchten, sondern auch von den Philosophen der Antike sowie vom reichen Erfahrungsschatz der Perser, Syrer und Inder. Ob Astronomie, Mathematik, Architektur oder Medizin: die arabische Welt zeigte eine enorme Vitalität und Stoßkraft, die zugleich gepaart war mit einer religiösen Toleranz gegenüber Andersgläubigen (wenn sie erst einmal besiegt waren).

Ob das Aufflammen eines neuen Denkschemas in Europa nun durch den vor den Toren Europas stehenden Islam beeinflusst wurde oder ausschließlich von innen heraus erwuchs, sei einmal dahin gestellt; auf jeden Fall kam es zu einem Wiederaufleben europäischen Forschergeistes, und als wohl wichtigstes Element dieses neuen Geistes wurde die naturwissenschaftliche Methode eingeführt, die sich nicht länger mit den Autoritäten von Kirche und Antike zufrieden gab, sondern die wissenschaftliche Wahrheitsfindung durch eigene Beobachtungen, Hypothesenbildungen, intelligente Voraussagen, Experimente sowie die Formulierung von Theorien und Gesetzen voranzutreiben suchte. Es galt das fortan der Grundsatz: „Die Weisheit prüft und misst es. Beschränktheit ruft: So ist es!“

Dabei spielten Prinzipien eine Rolle, die bis heute ihre wissenschaftliche Bedeutung behalten haben: (1) die Infragestellung überlieferter, allgemein verbreiteter Behauptungen und Vorstellungen; (2) das Prinzip des *Back to the Roots*, das keine noch so anerkannte Autorität für endgültig ansah, sondern jedem Problem auf den Grund zu gehen hat und jeden Sachverhalt zu seinem Kern oder Ursprung zurückverfolgt; und schließlich (3) die Annahme des Ursache-Wirkungs-Prinzips und der damit verbundene Verzicht auf Kontingenz (also die Gegebenheit des absolut Unvorhersagbaren).





Der vielleicht bekannteste Repräsentant des neuen Denkmusters war Isaac Newton (1643-1727), der wahrscheinlich bedeutendste Denker seines Jahrhunderts. Er begründete die klassische Mechanik, formulierte die Keplerschen Gesetze, erfand zum Leidwesen vieler Schüler die Integralrechnung und zeigte die Bedeutung der Gravitation für die Planetenbahnen auf, womit er das kopernikanische Weltbild endgültig zementierte.

Das Newtonsche Kausalitätsprinzip begründete den mechanistischen Determinismus, also das Prinzip, nach dem es keinen Effekt gibt, dem nicht eine entsprechende Ursache vorausgegangen ist. Dieses Denken prägte mehr als zweihundert Jahre das Denken der Menschen in Europa. Obwohl Newton selbst ein gläubiger Mensch war, haben seine Überlegungen letztlich auch zum Atheismus beigetragen, gab es doch einerseits zwar viele Menschen, für die Gott als der „erste Verursacher“ unverzichtbar blieb, andererseits aber auch solche, die es sich auf der Suche nach Erklärungen und Ursachen der von ihnen beobachteten Phänomene zur Methode machten, Gott als Erklärung und Ursache auszuklammern. In einem streng deterministischen Weltbild gibt es keinen Platz für göttliche Kontingenz.

Die im 15. und 16. Jahrhundert begonnene Neuzeit mündete in die Aufklärung des 17. und 18. Jahrhunderts mit ihrer Abkehr vom kirchlichen und staatlichen Absolutismus (nicht: *L'état c'est moi*, sondern *by the people for the people*), ihrer Betonung auf die Vernunft (Kants *sapere aude*: „Habe Mut, dich deines Verstandes zu bedienen“) und ihrem Schwerpunkt auf *liberté, égalité, fraternité* und dem Beginn der Menschenrechtsdiskussion.

Die Aufklärung hat zudem einen Innovationsschub in der wissenschaftlichen Forschung heraufbeschworen, was letztlich auch zu einem neuen Weltbild führte.

Isaac Newton, der Begründer des mechanistischen Weltbildes, hatte noch an die Idee des absoluten Raums und der absoluten Zeit geglaubt. Er meinte, was eigentlich jeder bis Einstein als selbstverständlich annahm, dass der Raum oder das All eine Art Riesenbehälter sei, der unabhängig von den sich darin befindlichen und sich darin bewegenden Objekten existierte. Er glaubte auch, dass die Zeit fortwährend in unveränderter Weise verstrich ganz unabhängig vom Standpunkt eines Betrachters oder dessen Bewegungsgeschwindigkeit im Raum. Die Newtonsche Zeit kam einer ewigen Uhr gleich, die unaufhaltsam mit derselben Geschwindigkeit und unabhängig von jeglicher Aktivität auf Erden oder im Himmel tickte. Raum und Zeit waren zwei absolute Größen, die zugleich unabhängig voneinander waren.

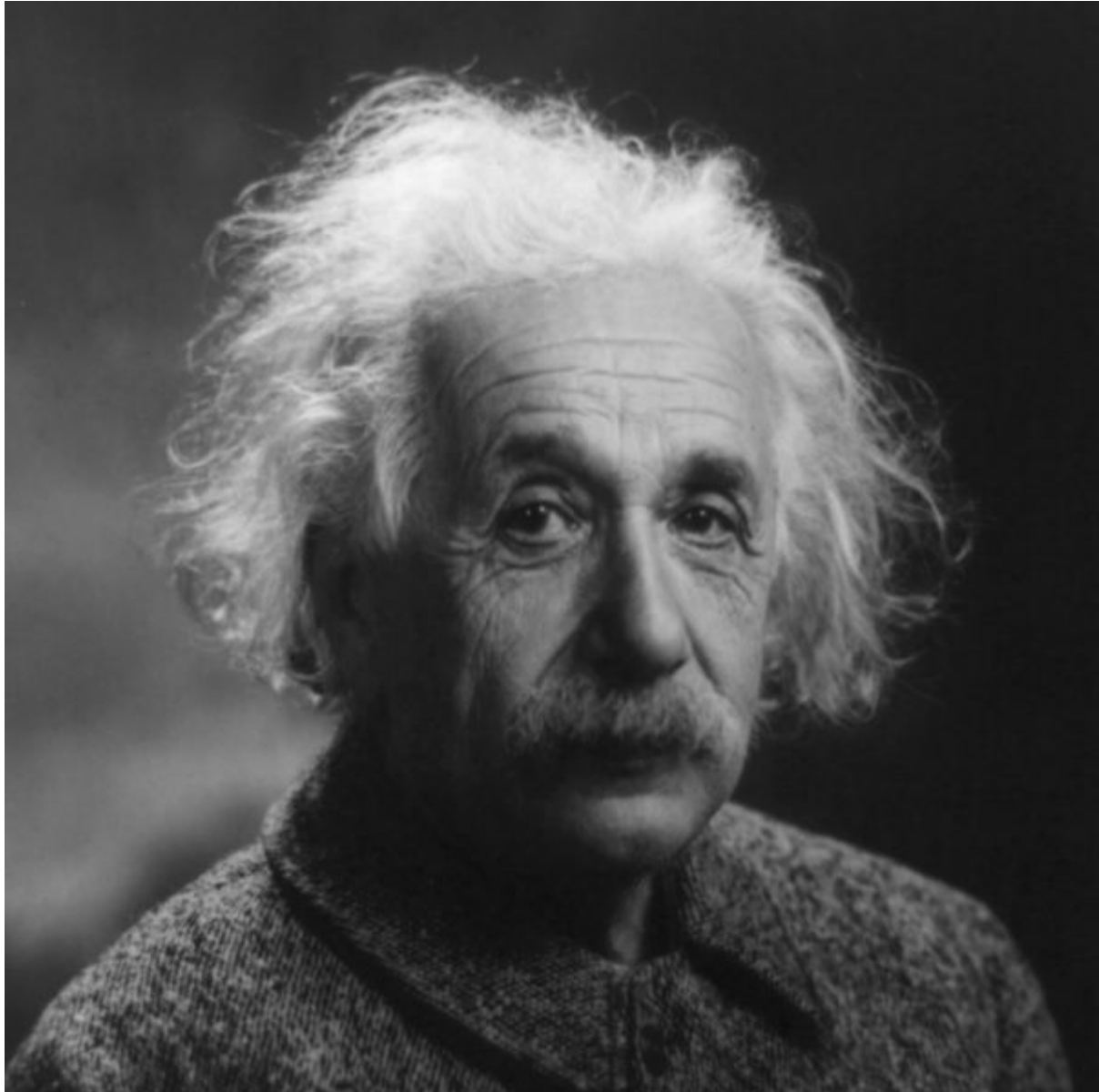
Diese Auffassung hat sich mit Albert Einstein ein für allemal – und gegen unseren gesunden Menschenverstand – grundlegend geändert.

War die mechanistische Welt Mitte des 19. Jahrhunderts noch in Ordnung, so schien sie in der zweiten Hälfte des Jahrhunderts zunehmend aus den Fugen zu geraten. Der schottische Physiker James Clerk Maxwell hatte den Magnetismus und die Elektrizität zu einem einheitlichen Elektromagnetismus zusammengeführt. Nach Maxwells Tod konnten elektromagnetische Wellen erzeugt werden, auf denen unsere heutigen Gebrauchsgegenstände wie das Radio, der Fernseher, die Fernbedienung oder die Mobiltelefone basieren. Ferner wurden radioaktive Strahlen und Röntgenstrahlen entdeckt, aber auch andere Phänomene in Physik, Chemie und Astronomie, die sich nur schwerlich mit den mechanistischen Vorstellungen in Einklang bringen ließen. Die Wissenschaftler fingen deshalb an, diverse Hilfskonstruktionen wie etwa den „Äther“ zu postulieren, um die merkwürdigen Bewegungen von Elektronen im Raum zu erklären.

In einem Experiment von 1887 hatten die Amerikaner Michelson und Morley beobachtet, dass die Lichtgeschwindigkeit immer die gleiche blieb, und zwar unabhängig von der



Bewegung der Erde durch den Raum. Das bedeutete, dass die Erdgeschwindigkeit der Lichtgeschwindigkeit nicht einfach hinzuaddiert werden konnte, wie das bei Alltagserfahrungen normalerweise üblich war (etwa wenn ein Passagier im fahrenden Zug nach vorne läuft).



Solche und ähnliche Beobachtungen waren eine erhebliche Herausforderung für das altbewährte Newtonsche Weltbild. Um das Jahr 1900, als Einstein gerade 20 Jahre alt war, hatten sich so viele Widersprüche aufgetan, dass sie nach einer Auflösung verlangten.

Der junge Einstein begann sich zu fragen, ob unsere eigene Wahrnehmung überhaupt geeignet sei, Vorgänge zu verstehen und zu beschreiben, die sich fast mit Lichtgeschwindigkeit durch den Raum bewegten. Müssten nicht die konventionellen Vorstellungen von Raum und Zeit aufgegeben werden? Müsste man nicht, um die Maxwell'sche Theorie und die klassischen mechanischen Gesetze vereinen zu können, die Grundvorstellungen von Raum und Zeit verändern? Müsste man nicht die Idee von einem überall gleichen Raum oder Äther aufgeben? Müsste man nicht den absoluten Raum durch



einen relativen, von den Bewegungen des Beobachters abhängigen Raum ersetzen? Müsste man nicht ebenso die absolute Zeit durch eine zur Bewegung des Beobachters relativen Zeit ersetzen? Einstein kam zu der revolutionären Einsicht, dass Zeit und Raum keine festen Größen sein können, sondern sich relativ zu der Geschwindigkeit verhielten, mit der sich ein Beobachter im Raum und in der Zeit bewegt.

Die Relativität von Zeit und Raum erforderte es, eine neue Konstante einzuführen, nämlich die absolute Lichtgeschwindigkeit, die er als unveränderlich begriff, ungeachtet anderer Bewegungen im Raum. Einstein kam zu der Schlussfolgerung, dass es nichts Schnelleres gebe als die Geschwindigkeit des Lichts, das sich, wie man bereits wusste, mit rund 300.000 Kilometern pro Sekunde durch den Raum bewegte.

Einstein ging noch einen Schritt weiter: Wenn Raum und Zeit sich relativ zu ihren Bezugspunkten veränderlich verhielten, während die Lichtgeschwindigkeit allüberall gleich blieb, und wenn – was inzwischen ebenfalls klar geworden war – die Energie jederzeit erhalten blieb, so schien die Schlussfolgerung unausweichlich, dass auch die Masse eines Körpers variabel sein müsse. So kam Einstein zu dem Ergebnis, dass die Energie identisch sein muss mit der Masse mal dem Quadrat der Lichtgeschwindigkeit. Folglich galt seine weltbekannte Formel: $E=mc^2$.

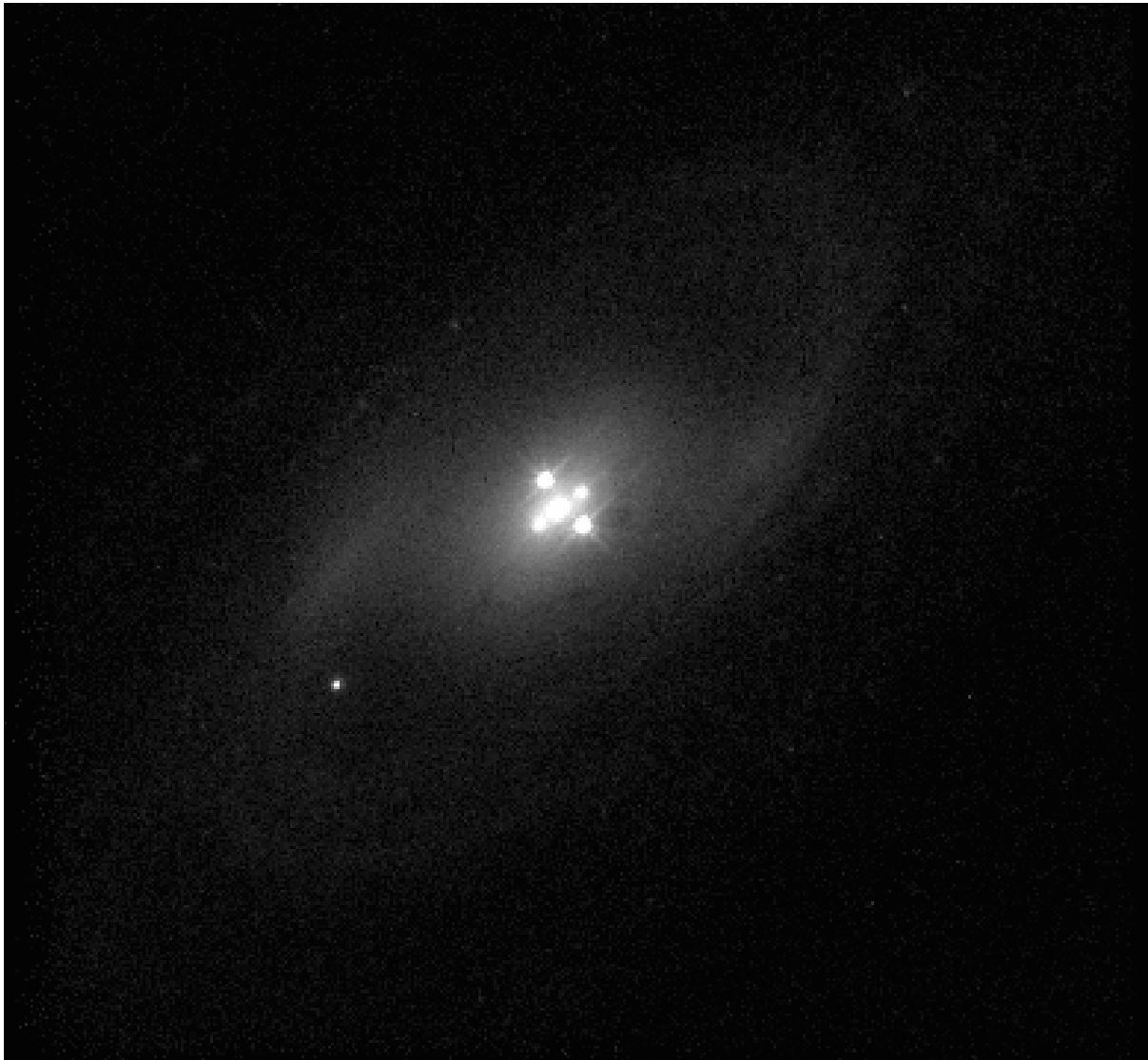
1905 veröffentlichte Einstein vier epochale Publikationen, die damals zunächst noch wenig Aufmerksamkeit erregten, von denen aber jede nobelpreiswürdig war. Die erste Arbeit mit dem unscheinbaren Titel „Über einen die Erzeugung und Verwandlung des Lichts betreffenden heuristischen Gesichtspunkt“ beendete er im März. Dafür würde er im Jahr 1921 den Nobelpreis für Physik erhalten. Nur sechs Wochen später, noch im April, reichte er seine Dissertation mit dem Titel „Eine neue Bestimmung der Moleküldimensionen“ ein. Dafür erhielt er seinen Dokortitel. Im September veröffentlichte er den Aufsatz „Zur Elektrodynamik bewegter Körper“. Kurz darauf verschickte er seine Arbeit „Ist die Trägheit eines Körpers von seinem Energieinhalt abhängig?“, eine Arbeit, die zum ersten Mal seine berühmte Formel $E=mc^2$ enthielt. Die beiden letzten Arbeiten werden später als Einsteins „spezielle Relativitätstheorie“ bezeichnet.

Die Güte einer wissenschaftlichen Theorie kann man daran bemessen, wie gut sie mit späteren Beobachtungen und Experimenten in Übereinstimmung gebracht werden kann. Eine schlechte Theorie muss aufgrund von Messungen und neueren Berechnungen immer wieder angepasst werden. Eine gute Theorie hingegen macht Voraussagen über zukünftige Experimente, die dann auch tatsächlich eintreffen. Eine sehr gute Theorie wird im Nachhinein durch vielerlei Experimente und Beobachtungen in einer Weise bestätigt, wie sich der Urheber dieser Theorie es sich nicht selbst hat ausmalen können. Die Einsteinsche Relativitätstheorie ist eine solche. Der Physiker George Greenstein hat die Bedeutung von Einsteins Leistung einmal so auf den Punkt gebracht:

„All dies vollbrachte Einstein ohne große finanzielle Unterstützung, ohne eine Unzahl von Assistenten und ohne Teleskope und Computer. Er schaffte es alles allein, wobei er lediglich die Kraft seines Geistes benutzte. Er stützte sich nicht auf die neuesten Daten und befasste sich nicht mit den neuesten Erkenntnissen, die in den Fachzeitschriften zu finden waren. Statt dessen zog er sich in seine eigene Gedankenwelt zurück und stellte Überlegungen über das Universum an. Allein aus dem



Denken heraus, unabhängig von aller Erfahrung, entwickelte er seine Theorien und sorgte für ihre innere Widerspruchsfreiheit.“¹



Die hier abgebildete Galaxie G2237 mit ihrem hellen Kern (der große helle Punkt im Zentrum) ist relativ nahe und „nur“ rund 500 Millionen Lichtjahre von uns entfernt. Der Quasar Q030 dürfte eigentlich gar nicht sichtbar sein, weil er in einer riesengroßen Entfernung von 8 Milliarden Lichtjahren zufällig direkt hinter dem Zentrum dieser Galaxie liegt. Er ist jedoch gleich in vierfacher Ausfertigung sichtbar, weil die Schwerkraft der Galaxie sein Licht wie bei einer Linse vierfach bricht, so dass er rechts, links, oberhalb und unterhalb des galaktischen Zentrums sichtbar ist: Dieses Phänomen ist eine spektakuläre Bestätigung der Einsteinschen Relativitätstheorie, wonach die Gravitation in der Lage ist, den Raum zu krümmen bzw. Lichtstrahlen zu biegen.
(Quelle: <http://www.astr.ua.edu/keel/agn/qso2237.html>)

So wenig spektakulär die Titel seiner Arbeiten waren, so wenig lösten sie eine Welle der Bewunderung aus. Was dieser junge Mitarbeiter des Züricher Patentamtes da an bahnbrechenden Ideen eronnen hatte, wurde erst nach und nach in seiner ganzen Tragweite erkannt. Der deutsche Physiker Max Planck war es, der die Leistung Einsteins als erster in

¹ George Greenstein, *Der gefrorene Stern. Pulsare, Schwarze Löcher und das Schicksal des Alls*, ECON Verlag, Düsseldorf und Wien, 1985, S. 163.



ihrer weitreichenden Bedeutung begriff und für deren Akzeptanz unter Kollegen sorgte.² Seine weltweite Berühmtheit allerdings verdankte Einstein erst einem anderen Ereignis:

Einstein hatte die Idee des „gekrümmten Raums“ eingeführt und sogar ein Experiment vorgeschlagen: Bei einer Sonnenfinsternis, so glaubte Einstein, müsse das Licht eines Sterns, wenn es in der Nähe der Sonne beobachtet werden könne, durch die Schwerkraft der Sonne abgelenkt, sozusagen „gekrümmt“ werden.

Während einer Sonnenfinsternis in Brasilien im Mai 1919 konnte Arthur Eddington nachweisen, dass das Gravitationsfeld der Sonne das Licht genau so ablenkt, wie es die Relativitätstheorie Einsteins vorhergesagt hatte. Dieser experimentelle Nachweis der Einsteinschen Relativitätstheorie machte weltweit Schlagzeilen – und Einstein über Nacht berühmt. Seine Theorien, bis dahin von einigen noch immer beargwöhnt, wurden fortan als revolutionärer Durchbruch gefeiert. Heute würden viele unserer Annehmlichkeiten – wie etwa das Navigationssystem im Auto – nicht funktionieren, bliebe die Relativitätstheorie unberücksichtigt.

Eine der spektakulärsten Phänomene, die heute Einsteins Relativitätstheorie untermauern, ist das so genannte Einsteinkreuz – auch unter dem Namen Gravitationslinse bekannt –, das die Ablenkung von Lichtstrahlen durch die Kraft der Gravitation dokumentiert. Es gibt eine Reihe von Fällen, bei denen weit entfernte Quasare, die sich hinter einem massereichen Galaxienzentrum befinden und die deshalb eigentlich überhaupt nicht zu sehen sein dürften, dennoch sichtbar sind, weil ihr Licht durch die Schwerkraft der Galaxie abgelenkt wird, so dass dieser Quasar sich gleich in doppelter, manchmal sogar in vierfacher Ausfertigung zeigt. Dass es sich dabei jeweils um denselben Quasar und nicht etwa zwei (oder vier) verschiedene Objekte handelt, entnimmt man der Tatsache, dass diese hellen Lichtpunkte jeweils haargenau identische Eigenschaften aufweisen.

Mit Einstein wurde das mechanistische Weltbild durch Einsteins Weltansicht der Relativität verdrängt. Der Newtonsche absolute Raum wurde durch einen relativen, von den Bewegungen eines Beobachters abhängigen Raum ersetzt. Und auch die Newtonsche absolute Zeit wurde durch eine von der Bewegungsgeschwindigkeit des Beobachters abhängige relative Zeit ersetzt. Seit Einstein sind Zeit, Raum und Materie ineinander verwoben und voneinander abhängig. Zeit und Raum sind nicht mehr absolut und universell, sondern vielmehr aufeinander bezogen und auch von Materie und Bewegung abhängig. Zeit hängt von der Verteilung der Materie im Raum und auch von der Geschwindigkeit ab, mit der sich die Objekte durch den Raum bewegen. Wo immer Masse auftritt, da krümmt sich der Raum, da verbiegt sich das Licht im Raum, da saugt die Masse den Raum aus. Dort, wo die Geschwindigkeit sich der Lichtgeschwindigkeit nähert, verlangsamt sich die Zeit, bis sie – bei Lichtgeschwindigkeit – zum Stillstand kommt und unendlich wird, so dass ein Astronaut, könnte er mit Lichtgeschwindigkeit durch das Weltall düsen, nicht altern würde. Auch dort, wo Materie sich unendlich verdichtet wie in einem Schwarzen Loch, hört die Zeit auf. Da verdichtet sich nicht nur die Materie, dort kommt auch die Zeit zum Stillstand.

Zeit wird laut Einstein als das definiert wird, was man mit der Uhr misst. Aber die Uhren laufen in unterschiedlichen physikalischen Bedingungen und Bezugssystemen unterschiedlich schnell oder langsam. Raum und Zeit sind so ineinander verwoben, dass wir physikalisch und mathematisch von der Raum-Zeit als einer Einheit sprechen. Und eine

² So jedenfalls die Einschätzung von Gerald Holton, Wissenschaftshistoriker der Harvard-Universität, siehe: Lisa Randall, *Verborgene Universen*, S. Fischer, 2006, S. 140.



Konzentration von Masse verursacht eine Krümmung der Raum-Zeit-Struktur. Ähnlich wie die Krümmung des Raumes experimentell belegt wurde, konnte auch die Dehnung der Zeit nachgewiesen werden. Zeit, Raum, Bewegung und Materie sind der Stoff, aus dem die Wirklichkeit sich ständig neu erschafft. Das einzig Absolute im physikalischen Sinn ist dabei die Geschwindigkeit des Lichts.

Albert Einstein war ein Mensch mit gesundem Menschenverstand. Doch hätte er sich seine Relativitätstheorie und sein Raum-Zeit-Kontinuum nicht ausdenken können, wenn er hätte unbedingt vernünftig bleiben wollen. Er musste, um die physikalischen Widersprüche seiner Zeit aufzulösen, nach völlig neuen, irrationalen Lösungen suchen, auch nach solchen, die dem gesunden Menschenverstand widersprachen. Er musste nahezu gleichzeitig mehrere gewaltige Gedankensprünge machen, zu denen er nur deshalb in der Lage war, weil er sich einen kindlich-neugierigen und unkonventionellen Geist bewahrt hatte.

Das Weltbild der Neuzeit hatte sich durch Einsteins *anno mirabili* von 1905, das Wunderjahr eines 26-Jährigen, grundlegend geändert. Die Welt war nicht mehr dieselbe. Die Welt war nicht mehr absolut. Die Welt war relativ.