SITZUNGSBERICHTE
DER LEIBNIZ-SOZIETÄT

Band 78/79• Jahrgang 2005

trafo Verlag Berlin

ISSN 0947-5850 ISBN 3-89626-519-9

Inhalt

01 Vorwort

Vorträge

02 Heinz Kautzleben: Einleitung - Die Leibniz-Sozietät und Albert Einstein

03 Werner Ebeling: Einstein und die Brownsche Bewegung

04 Karl Lanius: Kosmologie im Wandel

05 Rainer Burghardt: Gödelkosmos ohne Zeitreisen

06 Horst-Heino von Borzeszkowski: Einsteins Arbeiten zur unitären Feldtherie in der Berliner Zeit

07 Dierck-E. Liebscher: Die Relativitätstheorie als Lösung des Fresnelschen Paradoxons

08 Heinz Kautzleben: Die Geophysik und Albert Einstein

09 Karl-Heinz Bernhardt: Teetassen-Zyklonen und Flußmäander - Einstein klassisch

10 Hans-Jürgen Treder: Einstein und Planck

11 Herbert Hörz: Das Geheimnisvolle als Grundgefühl wahrer Kunst und Wissenschaft. Zur Aktualität philosophischer Gedanken von Einstein

12 Rainer Schimming: Einstein als Wissenschaftsphilosoph

13 Dieter B. Herrmann: Einstein, Archenhold und die Popularisierung der Naturwissenschaften

14 Mario Keßler: Albert Einstein über Militarismus, Pazifismus und Sozialismus

15 Viktor Mairanowski: "...Meine Zugehörigkeit zu diesem Volk ist ein Geschenk des Schicksals." Die jüdische Herkunft und das Weltbild von Albert Einstein

16 Helmut Moritz: Auf den Spuren von Einstein und Heisenberg in Südosteuropa. Die Internationale Humanisten-Liga in Sarajevo

17 Ekkehard Sieker: Albert Einstein - sein politisches Wirken in Berlin in den Jahren 1914-1932

18 Lothar Kolditz: Albert Einstein in Berlin

Poster-Beiträge

19 Gottfried Anger: On the Power of a Mathematical Model

20 Reiner Braun: Einstein 2005 und Frieden 2005. International Network of Scientists and Engineers for Global Responsibility (INES) im Einsteinjahr 2005

21 Fritz Gackstatter: Entwicklungslinien zur Einsteinschen Kosmologie

22 Iourii Gribov: How could Einstein empty vacuum become stable quantum liquid with the common Einstein-Lorentz invariance and other standard model features?

23 Franz Halberg, Germaine Cornelissen, Hans W. Wendt, Othild Schwartzkopff, Sigrid Berger und Hans-Georg Schweiger: Erweiterung transdisziplinärer photisch-nichtphotischer Spektren. Sich gegenseitig stützende Nah- und/oder Ferntransjahre in Sonnenmagnetik, Sonnenwind, Interplanetarmagnetik, Erdmagnetik und Biologie. Drei Magnetozyklizitäten im Autismus

24 Werner Holzmüller: Dualismus und Komplementarität im Weltgeschehen

25 Werner Holzmüller: Über das Euklidische Weltbild und das der Allgemeinen Relativitätstheorie

26 Vladimir Kh. Kozlovskij: Begegnungen Jakob Frenkels mit Albert Einstein und der Einfluß der Relativitätstheorie auf seine Werke

27 Genrietta Liakhovitskaia. "Freies Spiel mit Symbolen" - Versuch einer philosophisch-geometrischen Interpretation der Weltordnung

28 Oleksandr Proskura: Einsteins Quantentheorie des lichtelektrischen Effektes

Schriftliche Beiträge

29 J. Michael Köhler: Masse und Energie im Universum - Diskussion eines alternativen Ansatzes

30 Horst Montag: Zu relativistischen Effekten in der Satelliten- bzw. Raumgeodäsie

Vorwort

Mit dem Doppelband Nr. 78 und 79 ihrer „Sitzungsberichte“ legt die Leibniz-Sozietät der interessierten Öffentlichkeit weitere Ergebnisse ihrer Bemühungen um Erkenntnisgewinn durch interdisziplinäre Arbeit vor. Diese akademiespezifische Tätigkeit leistet die Leibniz-Sozietät seit Jahren kontinuierlich, in den beiden Jahren 2004 und 2005 im Rahmen eines relevanten Projektes, das vom Wissenschaftssenator des Landes Berlin durch einen finanziellen Zuschuß gefördert wird, wofür auch an dieser Stelle gedankt werden soll. Im vorliegenden „Einstein-Band“ wird über einen von zehn Aufgabenkomplexen des Projektes berichtet: den Komplex „Albert Einstein in Berlin“.

Der Einstein-Band enthält die ausführlichen Manuskripte der Vorträge, die von Mitgliedern und Gästen der Sozietät im wissenschaftlichen Kolloquium zu dieser Thematik am 17. März 2005 im überfüllten Einstein-Saal der Archenhold-Sternwarte in Berlin-Treptow gehalten wurden. Von den Vorträgen der Autoren Prof. Dr. H.-H. von Borzeszkowski und R. Schimming, Mitglied der Leibniz-Sozietät, können im vorliegenden Band nur die Zusammenfassungen abgedruckt werden; die vollständigen Arbeiten werden in einem späteren Band erscheinen. In den Einstein-Band wurden weiterhin die ausführlichen Fassungen der Beiträge aufgenommen, die zum Kolloquium am 17. März 2005 als Poster vorgelegt wurden. Aufgenommen wurden schließlich auch noch die beiden schriftlichen Beiträge mit Relevanz zu den Arbeiten von Einstein, die der Leibniz-Sozietät von M. Köhler, Mitglied der Sozietät, bzw. von Prof. Dr. Horst Montag unmittelbar nach dem Kolloquium übergeben wurden.

Mit dem Abdruck aller dieser Arbeiten bietet die Sozietät ihren Mitgliedern und Freunden sowie den Lesern der „Sitzungsberichte“ die Grundlage für die Weiterführung der Diskussion über das Leben und Werk Albert Einsteins, über seine Persönlichkeit und sein Wirken in der Gesellschaft. In mehreren Arbeiten werden auch Ergebnisse und Ideen vorgelegt, die zwar nicht unmittelbar mit den Arbeiten Einsteins verbunden sind, jedoch Anlaß zu interessanten Diskussionen bieten sollten.

Am Kolloquium „Albert Einstein in Berlin“ und am „Einstein-Band“ der „Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät“ haben sich Mitglieder und zahlreiche Gäste aus der wissenschaftlichen Gemeinschaft – weit über die etablierte Wissenschaft hinaus – beteiligt. Die Leibniz-Sozietät fördert auch auf diese Weise die pluralistische Meinungsbildung. Sie beachtet dabei stets die Grenzen, die von der wissenschaftlichen Ethik gesetzt werden. Herausgeber und Redaktion der „Sitzungsberichte“ weisen darauf hin, daß die Verantwortung für den Inhalt der abgedruckten Arbeiten bei den jeweiligen Autoren liegt.

Mit dem Kolloquium am 17. März 2005 und der Publikation des vorliegenden Bandes der „Sitzungsberichte“ beteiligt sich die Leibniz-Sozietät an den vielfältigen Unternehmungen im „Einstein-Jahr 2005“ in Deutschland und weltweit. Es ist ihr vorrangiges Ziel, die wissenschaftlichen Leistungen Einsteins, ihre Bedeutung und ihre Wirkungen für ihre eigene Tätigkeit und für die interessierte Öffentlichkeit zu erschließen. Darüber hinaus unternimmt sie den Versuch, das öffentliche Wirken des bedeutenden Physikers zu würdigen, das gerade in seiner Berliner Zeit begann.

Das Porträt Albert Einsteins stammt von Hermann Struck aus dem Jahre 1920. Es wurde der Leibniz-Sozietät von ihrem Mitglied Domas Kaunas (Vilnius, Litauen) zur Verfügung gestellt. Es wurde erstmals publiziert im Buch „Relativity. The Special & the General Theory. A Popular Exposition. By Albert Einstein. Authorised Translation by Robert W. Lawson.“ The Ryerson Press Toronto, 1920.

Heinz Kautzleben

Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät *78/79(2005), 9–25*

Heinz Kautzleben

Einleitung – Die Leibniz-Sozietät und Albert Einstein

Sehr geehrte Anwesende,
liebe Mitglieder der Leibniz-Sozietät!

Im Auftrage des Präsidiums der Leibniz-Sozietät und der Leitung der Archenhold-Sternwarte Berlin-Treptow begrüße ich Sie sehr herzlich zu unserem wissenschaftlichen Kolloquium im Einstein-Jahr 2005.

Unsere beiden Organisationen haben besondere Beziehungen zu Albert Einstein, die uns geradezu verpflichten, uns im derzeitigen „Einstein-Jahr 2005“ zu Wort zu melden. Wir haben es zu Beginn der Einladung gesagt: Albert Einstein gehört zu den bedeutendsten Mitgliedern der Preußischen Akademie der Wissenschaften, mit der die Leibniz-Sozietät e.V. durch die ununterbrochene Mitgliederkette verknüpft ist. Er war Mitglied von 1913 bis 1933. Im Einstein-Saal der Archenhold-Sternwarte, in dem unser Kolloquium stattfindet, hielt Albert Einstein am 2. Juni 1915 den ersten öffentlichen Vortrag in Berlin über die Relativitätstheorie.

Die Leibniz-Sozietät e.V. betrachtet es als ihre ureigene Verpflichtung, den Erhalt und das Weiterbestehen der Gelehrtengesellschaft zu sichern, die als Brandenburgische Sozietät der Wissenschaften im Jahre 1700 auf Initiative von Gottfried Wilhelm Leibniz begründet wurde und die der Kern der Preußischen Akademie der Wissenschaften war. Dazu gehört die regelmäßige Zuwahl neuer Mitglieder durch die bisherigen Mitglieder entsprechend den in der langen Geschichte der Sozietät erprobten Regeln. Zur ständigen Pflege der Traditionen gehört auch die regelmäßige Überarbeitung und Aktualisierung der Geschichtsschreibung zur Gelehrtengesellschaft insgesamt wie auch zu ihren einzelnen Mitgliedern.

Unsere Gelehrtengesellschaft hat es nach der Wiedereröffnung der ehemals Preußischen als Deutsche Akademie der Wissenschaften zu Berlin im August 1946 niemals versäumt, die bedeutenden Jubiläen Albert Einsteins durch wissenschaftliche Veranstaltungen zu würdigen. Und so halten wir es

auch mit dem Säkulum des „annus mirabilis 1905“ und dem 50. Todestag von Albert Einstein.

Jubiläen von bedeutenden Persönlichkeiten der Geschichte werden von den Nachgeborenen stets genutzt, um Lehren für die Gegenwart und die Zukunft zu erkennen und entsprechende Handlungen zu begründen, indem ihr Leben und Werk unter Aspekten vorgestellt wird, die für die Gegenwart wichtig erscheinen. Sich mit Albert Einstein zu beschäftigen heißt für die Leibniz-Sozietät, sich mit einem wichtigen Abschnitt der dreihundertjährigen Geschichte ihrer Gelehrtengesellschaft zu befassen, der auch mit grundlegenden Umwälzungen in der politischen Geschichte Deutschlands verknüpft ist.

Albert Einstein war ein genialer Physiker, der im ersten Viertel des 20. Jahrhunderts an Wendepunkten in der Entwicklung der Physik gearbeitet hat und ihr dabei entscheidende Impulse gab. Diese Leistungen wurden frühzeitig erkannt, von der Fachwelt aufgenommen und brachten ihm hohe Anerkennung. Im zweiten Viertel verfolgte er wissenschaftliche Ideen, die zum Teil abseits lagen und nicht mehr fruchtbar waren.

Die führenden Persönlichkeiten der Preußischen Akademie der Wissenschaften, insbesondere Max Planck und Walter Nernst, haben das wissenschaftliche Genie Einstein sofort nach seiner Wortmeldung in seinem „annus mirabilis“ 1905 erkannt und seine Entwicklung bis zum Ende der zwanziger Jahre allseitig gefördert.

Der geniale Physiker wurde zu Beginn der Weimarer Republik in mehrfacher Weise in die Politik gezogen. Seine wissenschaftlichen Leistungen wurden in bisher nicht bekannter Weise zum Gegenstand der Massenunterhaltung. Einstein wurde zur herausragenden Persönlichkeit der Wissenschaft, der Weimarer Republik und der Juden. Dabei mußte er bald einsehen, daß trotz seines hohen persönlichen Engagements seine anfänglichen politischen Erwartungen nicht erfüllt wurden. Er resignierte 1933, verließ Deutschland und Europa und ging in die USA, die den berühmten Wissenschaftler mit offenen Armen aufnahmen, um sich mit ihm schmücken zu können. Dabei löste Einstein auch seine Verbindungen zur Akademie in Berlin, die in dieser Zeit selbst ihre frühere führende und einflußreiche Stellung verlor.

Albert Einstein wußte in seiner gesamten akademischen Karriere, was er leistete und was er wert war, und er hatte das Glück, daß seine Karriere entsprechend seinen Wünschen verlief.

Im persönlichen Leben verhielt sich Albert Einstein wie viele gewöhnliche Menschen. Er genoß die ihm zufallende Anerkennung und nutzte sie.

Albert Einstein war zweimal verheiratet. Der Unterhalt beider Familien stellte in der Zeit der Weimarer Republik an ihn hohe finanzielle Forderungen, was ihn in den ersten Nachkriegsjahren zu ausgesprochen kommerziellen Unternehmungen veranlaßte.

Albert Einstein war Individualist im Denken und Verhalten, was ihm geniale Leistungen in der Forschung ermöglichte, die Weitergabe in der akademischen Lehre durch ihn selbst erschwerte und ihn als Vorbild für junge Wissenschaftlergenerationen nicht ohne Einschränkungen geeignet erscheinen läßt.

Einstein und sein Werk sind nach wie vor ein faszinierender Gegenstand der Massenunterhaltung. Über das Leben, das Werk und die Persönlichkeit von Albert Einstein gibt es eine Flut von Literatur. Sie wird in diesem Jahr noch um Mengen erweitert werden. Einsteins Leben und Wirken ist dadurch heute bis in intime Details bekannt; siehe Anhang 1.

Bekanntlich wurde das diesjährige „Einstein-Jahr“ von den Physikern als Säkularfeier zum „annus mirabilis“ von Albert Einstein angedacht, insbesondere zum Erscheinen seiner drei epochalen Arbeiten im 17. Band der „Annalen der Physik“ (siehe Anhang 2). Mit diesen drei Arbeiten, denen in rascher Folge weitere folgten, zeigte Einstein, daß er sich kreativ in die damals aktuellen Fragen der Physik eingearbeitet und er völlig neuartige, fruchtbare Lösungsansätze gefunden hatte. Die Vertiefung sollte ihn sein ganzes weiteres Leben beschäftigen. Zu allen diesen Arbeitsgebieten werden wir im Kolloquium Vorträge hören.

Im Verlaufe der weltweiten Vorbereitungen zur Säkularfeier wurde das Konzept dafür in zweifacher Richtung beträchtlich erweitert: durch die Physiker von der Einstein-Würdigung zum „Weltjahr der Physik“ und durch gesellschaftspolitische Initiativen von der Würdigung des theoretischen Physikers Einstein zur Würdigung seines gesellschaftspolitischen Wirkens. Letztere ist mehr mit seinem 50. Todestag am 18. April verbunden.

Als Datum, das am besten für das Heraustreten des Physikers Einstein in die allgemeine Öffentlichkeit, die Medienwelt und sogar das politische Geschehen steht, wäre der 7. November 1919 zu nennen. An diesem Tage gaben die Royal Society und die Royal Astronomical Society in London offiziell die Ergebnisse der britischen Sonnenfinsternisexpeditionen bekannt, die Einsteins Vorhersage der Lichtablenkung im Schwerefeld der Sonne bestätigten. Am Tage darauf begann der „Einstein-Rummel“.

Unser Kolloquium steht unter dem Thema „Albert Einstein in Berlin“. Auf der Zeittafel im Anhang 3 sind die wichtigsten Daten aufgeführt, die Ein-

steins Leben und Wirken in Berlin charakterisieren bzw. beeinflussten. Die beiden Jahrzehnte in Berlin waren die wichtigsten in seiner Karriere. Sie waren bestimmt von politischen und kulturellen Umwälzungen, die Deutschland und die Welt erschütterten und die auch Einstein selbst geprägt haben. Nicht zu übersehen sind aber auch die Ereignisse im privaten, persönlichen Bereich.

Albert Einstein wurde am 3. Juli 1913 von der physikalisch-mathematischen Klasse der Preußischen Akademie der Wissenschaften und am 10. Juli 1913 vom Plenum der Akademie zum ordentlichen Akademiemitglied gewählt und zugleich auf eine der beiden hauptamtlichen Stellen, über die die Akademie verfügen konnte. Die Wahl wurde am 12. November 1913 vom Deutschen Kaiser und König von Preußen Wilhelm II. bestätigt und am 7. Dezember 1913 von Albert Einstein akzeptiert. Die Mitgliedschaft galt als hohe Auszeichnung und war mit einem Ehrengehalt von 900 Mark jährlich verbunden. Am 2. Juli 1914 wurde Einstein offiziell als Akademiemitglied vorgestellt und hielt seine Antrittsrede. Am 1. April 1914 hatte er bereits die mit einem Gehalt von 12 000 Mark jährlich ausgestattete hauptamtliche Stelle an der Akademie angetreten. Die Dotierung der Stelle war extra für ihn auf das Doppelte erhöht worden und entsprach den höchsten Bezügen eines ordentlichen Universitätsprofessors in Preußen. Zur Stelle gehörte auch eine Professur an der Friedrich-Wilhelm-Universität mit allen akademischen Rechten, aber ohne Pflichten. Zusätzlich war ihm die Leitung eines Institutes für Physik in Aussicht gestellt worden, das im Rahmen der 1911 gegründeten Kaiser-Wilhelm-Gesellschaft zur Förderung der Wissenschaften gebildet werden sollte. Die Bildung erfolgte allerdings nach kriegsbedingten Verzögerungen erst am 1. Oktober 1917.

Mit der Aufnahme in die Akademie in Berlin als eines von 50 ordentlichen Akademiemitgliedern, dazu noch auf der besoldeten Stelle hauptamtlich, hatte Albert Einstein im Alter von 34 Jahren zweifellos den Höhepunkt seiner beruflichen Karriere erreicht.

Am Vorabend des 1. Weltkrieges war Berlin, die Hauptstadt Preußens und des Deutschen Reiches, ein weltweit führendes, vielleicht sogar das führende Zentrum der Naturwissenschaften. In der Preußischen Akademie der Wissenschaften kamen allwöchentlich, abwechselnd im Plenum und in den beiden Klassen, ihre 50 ordentlichen Mitglieder zusammen, berichteten und berieten über die letzten wissenschaftlichen Ergebnisse. Das waren die besten und die einflußreichsten Wissenschaftler im Raum Berlin. Die Arbeiten und die Ergebnisse, über die diskutiert wurde, bestimmten weltweit die vorderste Front der Wissenschaft. In den Organisationen der internationalen wissenschaft-

lichen Zusammenarbeit, die seit der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts entstanden waren, nahmen die deutschen Wissenschaftler die führenden Positionen ein.

Die Niederlage des Deutschen Kaiserreiches im 1. Weltkrieg brachte einerseits den Ausschluß der deutschen Wissenschaftler aus der internationalen Zusammenarbeit, womit sie auch die wissenschaftsorganisatorische Führung verloren. Zum andern erkannten die deutschen Eliten in Politik, Wirtschaft und Wissenschaft, daß die Leistungskraft in Wissenschaft und Technik eine große Chance für das Wiedererstehen Deutschlands war, und investierten in sie in großem Maße. Einstein spielte in diesem Kalkül eine große Rolle.

Albert Einstein war bis in sein 54. Lebensjahr Mitglied der Preußischen Akademie der Wissenschaften und Direktor des Kaiser-Wilhelm-Institutes für Physik. Am 28. März 1933 gab er als Reaktion auf den Regierungsantritt von Adolf Hitler die deutsche Staatsangehörigkeit auf, beendete jegliche Verbindung mit offiziellen deutschen Institutionen und erklärte seinen Austritt aus der Akademie. Nachdem Einsteins Rücktrittsschreiben am 30. März 1933 bei der Akademie eingegangen war, warf der einzige in Berlin anwesende Sekretar Ernst Heymann in einer Presseerklärung am 1. April 1933 Einstein „Greuelhetze“ vor und stellte abschließend für die Akademie fest: „Sie hat aus diesem Grunde keinen Anlaß, den Austritt Einsteins zu bedauern.“ Das Plenum der Akademie hat diese Erklärung in ihrer Sitzung wenige Tage später nicht zurückgenommen.

Einstein befand sich bereits nicht mehr in Deutschland. Er war Anfang Dezember 1932 in Begleitung seiner Frau zu seiner vierten Vortragsreise in die USA aufgebrochen. Zum erstenmal war er 1921 etwa zwei Monate in den USA gewesen. Einstein brach die Rückreise im März 1933 in Belgien ab; er verbrachte noch einige Monate in England und verließ danach Europa für immer am 3. Oktober 1933. Am 17. Oktober 1933 trat er seine Forschungsprofessur am Institute for Advanced Study in Princeton, New Jersey, USA, an. Seine ursprüngliche Vereinbarung vom Juli 1932 mit Abraham Flexner von der Rockefeller-Stiftung als Vertreter der Stifterfamilie über jährliche Aufenthalte von sechs Monaten war sofort auf das ganze Jahr erweitert worden.

Die Trennung von der Akademie in Berlin im Jahre 1933 war für Albert Einstein wie seine Trennung von Deutschland und den Deutschen endgültig. Er ist niemals wieder nach Deutschland gekommen. Das Angebot der Deutschen Akademie der Wissenschaften zu Berlin, wie sich die ehemals Preußische Akademie der Wissenschaften seit ihrer Wiedereröffnung am 1. August 1946 nannte, ihn wieder als ihr ordentliches Mitglied zu führen, be-

antwortete er mit einem knappen Telegramm: „Nach all dem Furchtbaren, das geschehen ist, sehe ich mich außerstande, das Anerbieten der Deutschen Akademie anzunehmen. Einstein."

In den fast genau 19 Jahren des Bestehens seines Arbeitsverhältnisses in Berlin (vom 1. April 1914 bis zum 28. März 1933) war Albert Einstein zunächst direkt, später indirekt Angestellter des preußischen Staates. Sein Dienstherr war die Preußische Akademie. Er bezog ein ausnehmend hohes Gehalt. Seine Arbeitsbedingungen waren glänzend. Er konnte, salopp gesagt, „praktisch tun und lassen, was er wollte".

Sogar in finanziellen Dingen war sein Dienstherr sehr großzügig; anscheinend hielt sich auch das preußische Finanzamt zurück. In den Wirren nach dem vom Deutschen Kaiserreich verlorenen 1. Weltkrieg war das von großem Vorteil. Einstein konnte mehr oder weniger oft und ausgedehnt im Ausland tätig sein, die dabei erzielten Einkünfte uneingeschränkt behalten und im Ausland deponieren. Schwierigkeiten bekam er erst im September 1932, als in Berlin durch Zeitungsberichte bekannt wurde, daß in Princeton ein Institute for Advanced Study seinen Betrieb aufnehmen würde, mit Einstein als prominentester Akquisition. Das Institut in Princeton bot ihm eine vergleichbare Tätigkeit wie die Akademie in Berlin. Sein Gehalt entsprach mit 16 000 Dollar dem eines „full professor". Einstein hatte schon länger damit gerechnet, daß er Deutschland verlassen mußte „und baute vor".

Als Einstein von Berlin weg nach Princeton ging, war er der berühmteste Physiker der Welt. Diesen Platz hatte er in seiner Berliner Zeit erreicht.

Albert Einsteins Beitrag zur Akademie in Berlin bestand vor allem darin, daß die Akademie sich mit seinem wissenschaftlichen Ansehen als Physiker schmücken konnte. Dafür hat die Akademie sehr viel getan. Die Gegenleistung Einsteins hatte höchstes Niveau: erstens vollendete er 1915/16 die relativistische Gravitationstheorie in Form der Allgemeinen Relativitätstheorie und zeigte 1917 die kosmologischen Möglichkeiten dieser Theorie auf; zweitens beschäftigte er sich 1916 erneut mit der Quantentheorie der Strahlung und erweiterte 1925 die Quantenstatistik. Die Arbeit zur Quantenstatistik gehört zu seinen letzten wissenschaftlichen Entdeckungen, deren Bedeutung unstreitig ist.

In den späteren Jahren bearbeitete Einstein noch vornehmlich drei Bereiche, die aber alle nicht zu den Hauptströmungen der damaligen Forschung gehörten: Er bemühte sich um den Ausbau der Allgemeinen Relativitätstheorie. Ab 1922 suchte er nach einer einheitlichen Feldtheorie – erfolglos; dazu mag beigetragen haben, daß ihm, der seine großen Erfolge als Physiker er-

reicht hatte, bei der Suche nach der einheitlichen Theorie die physikalischen Argumente ausgegangen waren und er zunehmend versuchte, sie mit formalen Argumenten wie „Schönheit der mathematischen Formulierung“ zu ersetzen. An der Formulierung der Quantenmechanik durch Werner Heisenberg, Erwin Schrödinger, Max Born u.a. im Jahre 1926 war Einstein nicht beteiligt. Auch ihre weitere Entwicklung konnte er nur mit Einwänden kommentieren. In den letzten 22 Jahren seines Lebens, die Einstein in Princeton verbrachte, konnte er zu seinem wissenschaftlichen Lebenswerk kaum noch etwas Entscheidendes hinzufügen.

Die Berufung nach Berlin war für Einstein der Höhepunkt seiner beruflichen Karriere. Seine grundlegenden Arbeiten, die er im Jahre 1905 veröffentlichte, hatte er an der Peripherie der professionellen Wissenschaft neben seiner beruflichen Tätigkeit als Beamter am Patentamt in Bern vollbracht. Daß sie bekannt wurden, verdankte er in hohem Maße Max Planck und Walter Nernst. Beide versuchten schon früh, Einstein nach Berlin zu ziehen, was seinen „Marktwert“ als Wissenschaftler schnell kräftig steigerte. Einstein verließ erst dann seine Position in Bern, als sein Ansehen als Wissenschaftler gesichert war und er sich schnell steigernde Angebote erhielt, unter denen er wählen konnte. Das Angebot aus Berlin war schließlich so günstig, daß eine weitere Steigerung nicht zu erwarten war. Seine politischen Vorbehalte brauchte er nicht zu diskutieren. Die Preußische Akademie war auch in dieser Hinsicht großzügig und liberal. Allerdings hatte Einstein bei seiner Entscheidung, nach Berlin zu gehen, übersehen, daß er mit der dortigen Anstellung wieder die deutsche Staatsangehörigkeit annahm, die er zwei Jahrzehnte zuvor aufgegeben hatte, um keinen Militärdienst leisten zu müssen.

Als akademischer Lehrer und als Wissenschaftsorganisator hat Einstein zu keiner Zeit eine bedeutende Rolle gespielt. Er hielt selten Vorlesungen und Seminare ab und hatte zeitlebens nur einen einzigen Doktoranden. Das Kaiser-Wilhelm-Institut für Physik in Berlin, das für ihn gegründet worden war, hat er nicht aufgebaut, auch dann nicht, als durch die Rockefeller-Stiftung dafür genügend Mittel zur Verfügung gestellt wurden. In der Preußischen Akademie hatte er zu keiner Zeit ein Amt inne. Seine einzige formelle Verpflichtung gegenüber der Akademie hat Einstein stets korrekt erfüllt: Er hat an den wöchentlichen Sitzungen der Akademie teilgenommen, sofern er in Berlin war, alle seine wichtigen wissenschaftlichen Arbeiten zuerst in der Akademie vorgelegt und in den Sitzungsberichten der Akademie veröffentlicht; siehe Anhang 4.

Die Preußische Akademie behandelte Einstein ausschließlich als Physiker. Um die philosophischen Konsequenzen der Arbeiten Einsteins kümmerten sich die Akademiemitglieder praktisch nicht, auch nicht um die damit verbundenen propagandistischen Fragen und Möglichkeiten. Das alles vollzog sich außerhalb der Akademie.

Dagegen waren die wissenschaftspolitischen Möglichkeiten, die Einsteins Arbeiten ermöglichten, für die Akademie von großem Interesse. Schließlich hatte die Akademie infolge des vom Deutschen Kaiserreich verlorenen 1. Weltkrieges ihre international führende Stelle eingebüßt und waren die deutschen Wissenschaftler von der internationalen Zusammenarbeit auf viele Jahre ausgeschlossen worden. Die Sonderstellung, die Einstein besaß und für persönliche Zwecke nutzte, hat ihm in der Akademie keine Freunde gebracht.

Ähnlich kann man seine Aktivitäten für die zionistische Bewegung bewerten, die Einstein ab 1920 mit großer Intensität begann. Die Akademiemitglieder jüdischer Herkunft wie Fritz Haber standen dem Zionismus ablehnend gegenüber. Erst die Nationalsozialisten stellten sie mit den Zionisten gleich und vernichteten auch sie ohne Ansehen der Person als Juden.

Einstein selbst verstand es, sich Ausweichpositionen im Ausland zu schaffen und frühzeitig auf den Weggang aus Berlin vorzubereiten. Sein Ziel waren die USA. Er nutzte dabei die Bemühungen der USA, sich auch auf dem Gebiet der Wissenschaft eine weltweit führende Rolle zu erarbeiten. Eine solche Stellung hatten sie auf dem Gebiet der Wirtschaft bereits vor dem 1. Weltkrieg erreicht. Im 1. Weltkrieg hatten sie durch ihr militärisches Eingreifen den festgefahrenen Konflikt der europäischen Großmächte entschieden, wobei Deutschland, Österreich-Ungarn und Rußland als Großmächte vernichtet und die verbleibenden Großmächte Großbritannien und Frankreich stark geschwächt wurden.

Einstein konnte Berlin, Deutschland und Europa in dem Moment auf immer verlassen, als in Deutschland sein Leben in Gefahr geraten war. Auf die Preußische Akademie konnte und brauchte er dabei keine Rücksicht mehr zu nehmen. Sie hatte inzwischen auch in Deutschland selbst ihre ehemals führende Position eingebüßt. An ihre Stelle traten zunehmend die Kaiser-Wilhelm-Gesellschaft und die Notgemeinschaft der deutschen Wissenschaft. Beide entsprachen den Forderungen der Wirtschaft und der Politik jetzt weit mehr als die Akademie, in der noch die Geheimräte aus dem Kaiserreich dominierten und die Hoffnung herrschte, daß sich die Wissenschaft aus der Politik heraushalten könne.

Anhang 1:

Ausgewählte Biographien zu Albert Einstein

Alexander Moszkowski: Einstein – Einblicke in seine Gedankenwelt. Hamburg, Berlin 1921

Anton Reiser (Pseudonym für Rudolf Kayser): Albert Einstein. A Biographical Portrait. New York 1930

Friedrich Herneck: Albert Einstein, 3. Auflage. Leipzig 1977 (Biographien hervorragender Naturwissenschaftler, Techniker und Mediziner. Bd. 14)

Banesh Hoffmann und Helen Dukas: Einstein – Schöpfer und Rebell. Zürich 1976; Frankfurt am Main 1978

Philipp Frank: Einstein – His Life and His Times. New York 1979. Dt. Übersetzung: Einstein – Sein Leben und seine Zeit. Braunschweig 1979

Abraham Pais: „Subtle is the Lord ...". Oxford und New York 1982. Dt. Ausgabe: „Raffiniert ist der Herrgott ...". Eine wissenschaftliche Biographie. Braunschweig, Wiesbaden 1986

Albrecht Fölsing: Albert Einstein. Eine Biographie. Frankfurt am Main, 2. Auflage 1993

Thomas Levenson: Albert Einstein. Die Berliner Jahre 1914–1932. München 2005. Amerikan. Originalausgabe: Einstein in Berlin. New York 2003

Anhang 2:

Übersicht – Die epochalen Arbeiten Albert Einsteins im „annus mirabilis" 1905

1. *Über einen die Erzeugung und Umwandlung des Lichtes betreffenden heuristischen Standpunkt*.
   Annalen der Physik, 17, 1905, S. 132–184.
   Manuskript fertiggestellt am 17. März, bei der Redaktion eingegangen am 18. März 1905
   A. E. zieht als erster Schlußfolgerungen aus der Planckschen Quantenhypothese.
2. *Über die von der molekulartheoretischen Theorie der Wärme geforderte Bewegung von in ruhenden Flüssigkeiten suspendierten Teilchen*.
   Annalen der Physik, 17, 1905, S. 549–560.
   Manuskript fertiggestellt Mai, bei der Redaktion eingegangen am 11. Mai 1905
   A. E. zeigt den Weg zum physikalischen Nachweis für die Existenz der Atome.

3. *Zur Elektrodynamik bewegter Körper*.
Annalen der Physik, 17, 1905, S. 891–921.
Manuskript fertiggestellt Juni, bei der Redaktion eingegangen am 30. Juni 1905.

A. E. zieht die ersten Folgerungen aus dem Relativitätsprinzip der Physik wegen der Existenz der Lichtgeschwindigkeit als universeller maximaler Geschwindigkeit.

Anhang 3:

Zeittafel – Albert Einstein in Berlin

1901	In den „Annalen der Physik“ (4. Folge, Band 4, S. 513–523) erscheint A. E.s erste wissenschaftliche Veröffentlichung.
1905	In den „Annalen der Physik“ (4. Folge, Band 17) erscheinen die 3 epochalen Arbeiten A. E.s
	*
1913, 3./10. Juli	Wahl A. E.s zum ordentlichen Mitglied der Preußischen Akademie der Wissenschaften
1914, Anfang April Ende Juni	A. E. trifft in Berlin ein. Mileva E. kehrt nach Zürich zurück.
1914, 2. Juli	Antrittsrede in der Akademie
1914, 1. August	Ausbruch des 1. Weltkrieges
1915, 2. Juni	A. E. hält den ersten öffentlichen Vortrag in Berlin über die Relativitätstheorie in der Archenhold-Sternwarte.
1915, 4.–25.11.	A. E. berichtet in 4 Vorlagen in der Akademie über die Vollendung der allgemeinen Relativitätstheorie. bis Februar 1917 das „2. annus mirabilis“ A. E.s
1917, Anfang	A. E. erkrankt schwer, die Wiederherstellung dauert etwa vier Jahre.
1917, 1. Oktober	Das Kaiser-Wilhelm-Institut für Physik nimmt unter Leitung A. E.s seine Tätigkeit auf.
1918, August	A. E. lehnt Berufung nach Zürich ab.

1918, 9. November	Deutschland kapituliert.
1919, 18. Januar	Friedenskonferenz der Alliierten in Versailles wird eröffnet.
1919, 19. Januar	Wahlen zur verfassunggebenden Nationalversammlung – sie wird am 6. Februar in Weimar eröffnet.
1919, 14. Februar	Scheidung A. E.s von Mileva in Zürich
1919, Frühjahr	Diskussionen mit Kurt Blumenfeld über den Zionismus
1919, 2. Juni	Heirat mit der Cousine Elsa in Berlin
1919, 28. Juni	In Versailles muß die deutsche Delegation den Diktatfrieden unterzeichnen.
1919, 6. November	In London wird in einer Sitzung der Royal Society und der Royal Astronomical Society bekanntgegeben, daß die Vorhersage der ART durch die Ergebnisse der britischen Sonnenfinsternisexpeditionen am 29. Mai 1919 bestätigt wurden.
1919, 26. November	Abgeordnete des Preußischen Landtages beantragen eine großzügige Unterstützung der Forschungen A. E.s.
1920, 27. Oktober	Antrittsvorlesung als Gastprofessor in Leiden
1920, 30. Oktober	Gründung der Notgemeinschaft der deutschen Wissenschaft e.V.
1921, 2.4.–30.5.	Erster Aufenthalt in den USA, Sammlung von Spenden für die Hebräische Universität in Jerusalem
1922, Januar	A. E. legt der Akademie seine erste Arbeit über die einheitliche Feldtheorie vor.
1922, 9. November	A. E. wird der Nobelpreis für Physik für das Jahr 1921 verliehen.
1923, 15. November	In Deutschland wird die Hyperinflation beendet.
1924, Dezember	Der „Einstein-Turm“ in Potsdam ist einschließlich der Instrumentierung fertiggestellt.
1925, Januar bis Dezember	A. E. publiziert seine letzten drei Veröffentlichungen von unstreitig großer Bedeutung.

1925, 26. April	Hindenburg wird zum deutschen Reichspräsidenten gewählt.
1925, 1. Dezember	In Locarno werden die internationalen Verträge zur Befriedung der europäischen Lage unterzeichnet.
1926	Formulierung der Quantenmechanik durch Heisenberg, Schrödinger, Born u.a.
1926, 8. Oktober	Deutschland wird in den Völkerbund aufgenommen.
1928, Februar	A. E. erleidet in Davos eine schwere Herzerkrankung. Die Genesung dauert etwa ein Jahr.
1929, 14. März	50. Geburtstag A. E.s
1929, 24. Oktober	Kursstürze an der New Yorker Börse lösen die weltweite Wirtschaftskrise aus.
1930, 14. September	Die NSDAP wird zur zweitstärksten Fraktion im Deutschen Reichstag.
1930, Dezember	Reise in die USA zu einem Forschungsaufenthalt am CalTech in Pasadena, Kalifornien; Rückkehr im März 1931
1931, Dezember	erneut Reise zum CalTech in Pasadena
1932, August	Berufung an das neue Institute for Advanced Study in Princeton zum Oktober 1933
1932, Anfang Dezember	Abreise zum CalTech; die Rückkehr ist für März 1933 geplant.
1933, 30. Januar	Hitler wird zum Reichskanzler ernannt.
1933, 28. März	A. E. bricht die Rückreise nach Deutschland in Belgien ab. Er erklärt in Brüssel seinen Austritt aus der Preußischen Akademie der Wissenschaften, gibt seinen deutschen Paß ab und beendet jegliche Verbindung mit offiziellen deutschen Institutionen.
1933, 1. April	Akademie-Sekretar Heymann erklärt vor der Presse, daß „die Akademie keinen Anlaß (hätte), den Austritt Einsteins zu bedauern“.

*

1933, 17. Oktober	A. E. trifft mit seiner Frau, Helen Dukas und Walter Mayer in den USA ein und begibt sich nach Princeton.
1946, August	A. E. lehnt in einem Telegramm das Angebot der Deutschen Akademie der Wissenschaften zu Berlin ab, ihn wieder als ihr ordentliches Mitglied zu führen.

Anhang 4:

Verzeichnis der Veröffentlichungen Albert Einsteins in den „Sitzungsberichten der Preußischen Akademie der Wissenschaften" (insgesamt 57)
Gesammelt in: Albert Einstein in Berlin 1913–1933, Darstellungen und Dokumente, hg. von Christa Kirsten und Hans-Jürgen Treder, 2 Bde., Berlin 1979.

1914

(In diesem Jahr hat Einstein insgesamt 15 Arbeiten publiziert)

a Antrittsrede am 2. Juli 1914. SB II, S. 739–742, nebst der Erwiderung von Max Planck, S. 742–744
b Formale Grundlage der allgemeinen Relativitätstheorie. SB II, S. 1030–1085

1915

(insgesamt 9)

a Grundgedanken der allgemeinen Relativitätstheorie und Anwendung dieser Theorie in der Astronomie. SB I, S. 315 (Inhaltsangabe)
b Zur allgemeinen Relativitätstheorie. SB II, S. 778–786, 799–801
c Erklärung der Perihelbewegung des Merkur aus der allgemeinen Relativitätstheorie. SB II, S. 831–839
d Feldgleichungen der Gravitation. SB II, S. 844-–847

1916

(insgesamt 14)

a Eine neue formale Deutung der Maxwellschen Feldgleichungen der Elektrodynamik. SB I, S. 184–188
b Über einige anschauliche Überlegungen auf dem Gebiete der Relativitätstheorie. SB I., S. 423 (Inhaltsangabe)
c Näherungsweise Integration der Feldgleichungen der Gravitation. SB I, S. 688–696
d Gedächtnisrede auf Karl Schwarzschild. SB I, S. 768–770
e Hamiltonsches Prinzip und Allgemeine Relativitätstheorie. SB II, S. 1111–1116

1917

(insgesamt 8)

a Kosmologische Betrachtungen zur Allgemeinen Relativitätstheorie. SB I, S. 142–152

b Eine Ableitung des Theorems von Jacobi. SB I, S. 606–608

1918

(insgesamt 13)

a Über Gravitationswellen. SB I, S. 154–167

b Kritisches zu einer von Hrn. De Sitter gegebenen Lösung der Gravitationsgleichungen. SB I, S. 270–272

c Der Energiesatz in der Allgemeinen Relativitätstheorie. SB I, S. 448–459,

d Kommentar zu „H. Weyl: Gravitation und Elektrizität". SB I, S. 478

e Über eine von Levi-Civita und Weyl gefundene Vereinfachung der Riemannschen Theorie der Krümmung und über die hieran sich knüpfende Weylsche Theorie der Gravitation und Elektrizität. SB I, S. 615 (Inhaltsangabe)

1919

(insgesamt 7)

a Spielen Gravitationsfelder im Aufbau der materiellen Elementarteilchen eine wesentliche Rolle? SB I, S. 349–356

b Bemerkungen über periodische Schwankungen der Mondlänge, welche bisher nach der Newtonschen Mechanik nicht erklärbar schienen. SB I, S. 433–436; Kommentare dazu auch in SB II, S. 711

c Über eine Veranschaulichung der Verhältnisse im sphärischen Raum, ferner über die Feldgleichungen der Allgemeinen Relativitätstheorie vom Standpunkte des kosmologischen Problems und des Problems der Konstitution der Materie. SB I, S. 463 (nur kurze Inhaltsangabe, im wesentlichen ein Referat von 1919a)

1920

(insgesamt 6)

a Das Trägheitsmoment des Wasserstoffmoleküls. SB, S. 65 (nur Inhaltsangabe)

b Schallausbreitung in teilweise dissoziierten Gasen. SB, S. 380–385

1921

(insgesamt 6)

a Geometrie und Erfahrung. Festvortrag „Zur Feier des Jahrestages Friedrich II", gehalten an der Preußischen Akademie. SB I, S. 123–130. Erweiterte Fassung als separate Broschüre, Berlin 1921

b Ein den Elementarprozeß der Lichtemission betreffendes Experiment. SB I, S. 882–883

1922

(insgesamt 10)

a Experiment betreffend die Gültigkeitsgrenze der Undulationstheorie. SB, S. 4 (nur Inhaltsangabe)
b Theorie der Lichtfortpflanzung in dispergierenden Medien. SB, S. 18–22
c Bemerkung zu der Abhandlung von E. Trefftz: das statische Gravitationsfeld zweier Massenpunkte in der Einsteinschen Theorie. SB, S. 448–449

1923

(insgesamt 11)

a Zur Allgemeinen Relativitätstheorie. SB, S. 32–38
b Bemerkung zu meiner Arbeit „Zur Allgemeinen Relativitätstheorie". SB, S. 76–77
c Zur affinen Feldtheorie. SB, S. 137–140
d Bietet die Feldtheorie Möglichkeiten für die Lösung des Quantenproblems? SB, S. 359–364

1924

(insgesamt 9)

a Quantentheorie des einatomigen idealen Gases. SB S. 261–267

1925

(insgesamt 6)

a Quantentheorie des einatomigen idealen Gases, Zweite Abhandlung. SB, S. 3–14
b Quantentheorie des idealen Gases. SB, S. 18–25
c Einheitliche Feldtheorie von Gravitation und Elektrizität. SB, S. 414–419

1926

(insgesamt 6)

a Über die Ursache der Mäanderbildung bei Flußläufen. SB, S. 1 (nur Inhaltsangabe eines Vortrages am 7. Januar 1926. Text in NW, 14, 1926, S. 223–224
b Über die Anwendung einer von Rainich gefundenen Spaltung des Riemannschen Krümmungstensors in der Theorie des Gravitationsfeldes. SB, S. 1 (nur Inhaltsangabe)
c Interferenzeigenschaften des durch Kanalstrahlen emittierten Lichtes. SB, S. 334–340

1927

(insgesamt 10)

a Allgemeine Relativitätstheorie und Bewegungsgesetz. Mit Jakob Grommer. SB, S. 2–13

b Zu Kaluzas Theorie des Zusammenhanges von Gravitation und Elektrizität. 1. Mitteilung. SB, S. 23–25; 2. Mitteilung. SB S. 26–30

c Allgemeine Relativitätstheorie und Bewegungsgesetz. SB, S. 235–245

1928

(insgesamt 4)

a Riemann-Geometrie mit Aufrechterhaltung des Fernparallelismus. SB, S. 217–221

b Neue Möglichkeiten für eine einheitliche Feldtheorie von Gravitation und Elektrizität. SB, S. 224–227

1929

(insgesamt 11)

a Zur einheitlichen Feldtheorie. SB, S. 2–7

b Einheitliche Interpretation von Gravitation und Elektrizität. SB, S. 102 (nur Inhaltsangabe)

c Einheitliche Feldtheorie und Hamiltonsches Prinzip. SB, S. 156–159

1930

(insgesamt 17)

a Die Kompatibilität der Feldgleichungen in der einheitlichen Feldtheorie. SB, S. 18–23

b Zwei strenge statische Lösungen der Feldgleichungen der einheitlichen Feldtheorie. Mit Walter Mayer. SB, S. 110–120

c Über die Fortschritte der einheitlichen Feldtheorie. SB, S. 102 (nur Inhaltsangabe)

d Zur Theorie der Räume mit Riemann-Metrik und Fernparallelismus. SB, S. 401–402

e Über die statistischen Eigenschaften der Strahlung. SB, S. 543 (nur Inhaltsangabe)

1931

(insgesamt 9)

a Zum kosmologischen Problem der Allgemeinen Relativitätstheorie. SB, S. 235–237

b Systematische Untersuchungen über kompatible Feldgleichungen, welche in einem Riemannschen Raume mit Fernparallelismus gesetzt werden können. Mit Walter Mayer. SB, S. 257–265

c Einheitliche Theorie von Gravitation und Elektrizität. Mit Walter Mayer. SB, S. 541–557

1932

(insgesamt 7)

a Einheitliche Theorie von Gravitation und Elektrizität. Mit Walter Mayer. 2. Abhandlung. SB, S. 130–137 (Fortsetzung von 1931c)

b Semi-Vektoren und Spinoren. Mit Walter Mayer. SB, S. 522–550

Die Zahlenangaben zu allen wissenschaftlichen Veröffentlichungen wurden aus der Zusammenstellung der Wissenschaftlichen Veröffentlichungen von Albert Einstein im Buch von Albrecht Fölsing „Albert Einstein. Eine Biographie“, Frankfurt am Main 1993, abgeleitet. Diese Zusammenstellung enthält alle eindeutig wissenschaftlichen Veröffentlichungen. Bei Darstellungen allgemeineren Charakters wurde eine Auswahl getroffen. Zeitungsartikel u. ä. sind nur dann aufgeführt, wenn sie sich primär mit wissenschaftlichen Dingen befassen. Insgesamt enthält diese Zusammenstellung 298 Publikationen, darunter 178 in den Jahren 1914 bis 1933 . Bis zur ersten Veröffentlichung in den „Sitzungsberichten“ waren bereits 72 Publikationen von Albert Einstein erschienen. Nach seiner letzten Publikation in den „Sitzungsberichten“ erschienen von ihm noch 64 wissenschaftliche Publikationen.

Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät *78/79(2005), 27–32*

Werner Ebeling

Einstein und die Brownsche Bewegung

1. Die erratische Bewegung kleiner Partikel in Suspension

Eine ungeordnete Bewegung kleiner Partikel in Suspension wurde zuerst 1785 bei mikroskopischen Studien durch den holländischen Arzt Jan Ingenhousz beobachtet. Diese Bewegung kleiner Teilchen wurde ab 1827 bei mikroskopischen Beobachtungen der Bewegung suspendierter Pollen wiederentdeckt und im Detail durch den schottischen Botaniker Robert Brown studiert. Brown vertrat zunächst die Hypothese, es handele sich um „lebende Moleküle“. Eine entsprechende briefliche Anfrage an Charles Darwin trug von der Sache her nicht zur Klärung bei. In einer Folgearbeit sprach Brown von „aktiven Molekülen“. Der Titel seiner Arbeit von 1929 lautete: „Additional remarks on active molecules“. Verschiedene theoretische Deutungsversuche wurden später durch Desaulx (1877), Gouy (1889) und Exner (1900) geleistet. Den entscheidenden Schritt tat Albert Einstein im “Wunderjahr 1905“ mit seiner fundamentalen Arbeit „Über die von der molekular-theoretischen Theorie der Wärme geforderte Bewegung von in ruhenden Flüssigkeiten suspendierten Teilchen“ (Annalen der Physik 17 (1905) 549–560). Um Einsteins Leistung zu verstehen, beleuchten wir die Entwicklung der Thermodynamik und kinetischen Theorie vor Einstein, wobei wir uns besonders auf den Standort Berlin konzentrieren (Mendelssohn, 1976; Treder, 1983, Ebeling und Hoffmann, 1990,1991).

2. Thermodynamik und kinetische Theorie vor Einstein

Wir beginnen mit einer Untersuchung der Beiträge von Helmholtz und Clausius, die zu den bedeutendsten Pionieren zählen. Hermann v. Helmholtz (1821–1894) studierte in Berlin Physiologie und Physik, dann diente er als Militär-Chirurg in Potsdam. In seiner Freizeit führte er Experimente in Berlin am Kupfergraben im Laboratorium von Professor Magnus durch. Es handelte sich um Untersuchungen von sehr speziellen biologischen Prozessen, wie Gä-

rung und Muskelaktivität. Dabei kam Helmholtz zu weitreichenden Schlüssen, die ihn zum Energie-Erhaltungsatz führten. Als Mitglied der jungen „Berliner Physikalischen Gesellschaft“ trug er 1847 über seine Schlussfolgerungen vor. Die daraus resultierende Abhandlung (Helmholtz, 1847) trug den Titel „Über die Erhaltung der Kraft, eine physikalische Abhandlung.“ In den folgenden Jahrzehnten wirkte Helmholtz als Professor für Physiologie an verschiedenen deutschen Universitäten. Zu ähnlichen Schlüssen wie Helmholtz gelangten unabhängig Mayer und Joule. Das Gesamtkonzept des ersten Hauptsatzes und die mathematische Formulierung war bei Helmholtz mit der größten Klarheit formuliert (Ebeling und Hoffmann, 1990, 1991).

Den zweiten Hauptsatz verdanken wir den Untersuchungen von Rudolf Clausius und William Thomson (Lord Kelvin). Rudolf Clausius studierte Physik in Berlin und war dann als Lehrer tätig, in seiner Freizeit nahm er am Seminar von Professor Magnus teil. Nach einem Seminarvortrag über die Lehren von Carnot und Helmholtz gelangte er zu grundsätzlich neuen Einsichten, die ihn 1850 zum zweiten Hauptsatz der Wärmelehre führten. In der Folgezeit befasste er sich vorwiegend mit der Ausarbeitung einer kinetischen Begründung und des Konzeptes der Entropie (Ebeling und Orphal, 1990).

Nach dem Tode von Magnus wurde Helmholtz als Nachfolger berufen. Er schuf hier eine Schule von Weltbedeutung, die zwischen 1871 und 1933 eine zentrale Rolle in der Entwicklung der Naturwissenschaften spielte (Treder, 1983). Helmholtz war seit 1871 Professor für Physik an der Berliner Universität und Direktor des neugebauten Institutes am Reichstagsufer. Er zeichnete verantwortlich für spätere Rufe an Kirchhoff, Boltzmann (diese Berufung kam nicht zustande) und Planck. Helmholtz hatte einen enormen Einfluss, er wurde häufig ironisch als Reichskanzler für Physik bezeichnet

Zu seinen Schülern zählten unter anderen Hertz, Kurlbaum, Blasius, Lummer, Paschen, Rubens und Börnstein. Die Liste seiner Kollegen und Angehörigen der von ihm gegründeten Schule in Berlin umfasst u.a. Kirchhoff, Planck, Wien, Kundt, Michelson, Wiedemann, Drude, Nernst, Einstein, von Laue, Warburg, Eucken, Lindemann, Caratheodory, Haber, Schottky, Hahn, Meitner, Schrödinger, Bose, Saha, von Neumann, Gabor, Szilard, Wigner und Delbrück,

Die Abrundung der Thermodynamik erfolgte in Berlin im wesentlichen durch Planck und Nernst und ihre Schüler im Hinblick auf neue Anwendungen und die Behandlung neuer Probleme. Max Planck wurde 1889 als Nachfolger von Kirchhoff berufen, er entwickelte eine Thermodynamik der Lösungen und eine neuen Theorie der Strahlung. Im Jahre 1905 erfolgte die

Berufung von Walter Nernst, er fand gleich das „fehlende Glied der Thermodynamik“, den dritten Hauptsatz, von Nernst auch “mein Wärmesatz“ genannt. Nernst zufolge verschwindet die Differenz zwischen innerer Energie und freier Energie bei tiefen Temperaturen. In der Planckschen Formulierung lautet er: Die Entropie von thermodynamischen Systemen im Gleichgewicht verschwindet am Nullpunkt der Temperatur.

Die Thermodynamik hat in der Folgezeit wichtige Entdeckungen in der Physik beeinflußt: Dazu gehören:

- Die Theorie der Brownschen Bewegung, darauf gehen wir noch ein;
- die Quantentheorie: Plancks Quantenhypothese beruhte auf einer thermodynamischen Analyse der Messdaten aus dem Helmholtz-Institut;
- die Tieftemperaturphysik: Die Thermodynamik gab den Messungen und der Geräteentwicklung eine neue Richtung (Nernst, Lindemann, Meissner, Kamerlingh-Onnes), die Grundlagen der Theorie gehen auf Einstein, Bose und Debye zurück;
- die moderne Kosmologie: Die Theorie vom Big Bang hat wesentlich thermodynamische Wurzeln.

3. Begründung der Statistik und Theorie der Brownschen Bewegung

Nach Clausius’ Arbeiten zur kinetischen Theorie und Maxwells fundamentalen Beiträgen dazu, leistete besonders Boltzmann Pionierarbeiten. Er wurde 1888 zum Akademiemitglied gewählt, die vorgesehene Berufung nach Berlin kam aber nicht zustande. Ab 1889 entwickelte Planck als Nachfolger von Kirchhoff (nachdem Boltzmann abgesagt hatte) die statistische Thermodynamik und Theorie der Strahlung weiter. In Amerika leistet Josiah Williard Gibbs fundamentale Beiträge dazu. Ab 1902/03 beginnt Einstein als Mitarbeiter des Berner Patentamtes sich mit der kinetischen Theorie des thermischen Gleichgewichtes und des zweiten Hauptsatzes der Thermodynamik zu befassen. Er entwickelt unabhängig von Gibbs die Ensemble-Theorie und die Theorie wechselwirkender Systeme. Gleichzeitig arbeitet er an einer Dissertation über Fragen der Molekularbewegung. Im Band 17 der Annalen der Physik publiziert er drei fundamentale Arbeiten:

1. Zur Lichtquantenhypothese: „Über einen die Erzeugung und Umwandlung des Lichtes betreffenden heuristischen Standpunkt“ (Ann. Physik 17, 132–184). Einführung von Lichtquanten, lichtelektrischer Effekt.
2. Zur Theorie der Brownschen Bewegung: „Über die von der molekulartheoretischen Theorie der Wärme geforderte Bewegung von in ruhenden Flüssigkeiten suspendierten Teilchen“ (Ann. Physik 17, 549–560). Ein-

stein leitet hier experimentell prüfbare Aussagen für die mittlere Verschiebung bei Brownscher Bewegung und die Avogadro-Zahl ab. Diese Arbeit bedeutete den endgültiger Sieg des Atomismus, ihr schärfster Gegner Ostwald resigniert.

3. Zur speziellen Relativitätstheorie: „Zur Elektrodynamik bewegter Körper“, Ann. Physik 17, 891–921. In dieser Arbeit entwickelt er neue Vorstellungen zu Raum und Zeit sowie zum Zusammenhang von Masse und Energie.

Weiterhin reicht Einstein im “Wunderjahr 1905“ (am 30. Juni 1905) an der Universität Zürich seine Dissertation „Eine neue Bestimmung der Molekûldimensionen“ ein, sie hängt eng mit seiner Theorie der Brwonschen Bewegung zusammen.

In der vorliegenden Studie wollen wir nur die weitere Entwickung der Untersuchungen zur Brownschen Bewegung verfolgen. Sofort eingeleitete experimentelle Untersuchungen u.a. von Svedberg, Siedentopf, Gouy zeigen: Die neue Theorie von Einstein beschreibt quantitativ die Brownsche Bewegung. Dem französischen Forscher Perrin verdanken wir systematische, quantitative, experimentelle Analysen. Perrin misst auch die Avogadro-Loschmidt Zahl und Plancks Konstante mit neuer Präzision. Perrins Arbeiten werden viel zitiert und er erhält dafür den Nobelpreis. Die Weiterentwicklung der Theorie wird durch Smoluchowski und Langevin vorangetrieben.

Smoluchowski entwickelt eine neue partielle Differentialgleichung für die Verteilungsfunktionen. Wie er (zu Recht) behauptet, ist seine Methode in mancher Hinsicht direkter und einfacher als die von Einstein. Das trifft auch zu für die neue Methode von Langevin, der stochastische Differentialgleichungen mit Rauschquellen verwendet.

Von Fokker wird in einer Schweizer Dissertation und einer Kurzpublikation eine neue partielle Differentialgleichung für Verteilungsfunktionen im Phasen-Raum abgeleitet. Von Planck stammt eine genauere Ableitung und Verallgemeinerung. Klein und Kramers formulieren die allgemeine Theorie dieser „Fokker-Planck-Gleichung“ für die Brownsche Bewegung. Die Forscher Ornstein, Uhlenbeck, Debye (AM), Onsager und Falkenhagen (AM) behandeln in der Folgezeit spezielle stochastische Prozesse mit großem Erfolg und leiten neue experimentell prüfbare Aussagen ab (Ebeling und Sokolov, 2005).

4. Einstein und die Akademie der Wissenschaften

Im Jahre 1913 gelang es der Akademie auf Betreiben besonders von Planck und Nernst, Einstein nach Berlin zu holen. Wir zitieren aus der Begründung für die Aufnahme als Mitglied, die von Planck stammt und das Datum 12. Juni 1913 trägt: "Die unterzeichneten Mitglieder beehren sich, ... Dr. Albert Einstein, zum OAM, mit einem besonderen persönlichen Gehalt von 12000 M., zu beantragen. ... Am weitesten ist sein Name bekannt geworden ... durch das Prinzip der Relativität ... er ist gelegentlich auch über das Ziel hinausgeschossen, wie z.B. in seiner Hypothese der Lichtquanten, ... er hat aus den Boltzmannschen Sätzen über die Schwankungen ... eine Anzahl Folgerungen gezogen, welche die experimentelle Forschung befruchtet haben, so die schönen Perrinschen Untersuchungen der Brownschen Molekularbewegung ..." (Unterschriften: Planck, Nernst, Rubens, E. Warburg).

Nach der Berufung an die Akademie hat Einstein folgende fundamentale Beiträge zur Physik geleistet:

- Entwicklung der allgemeine Relativitätstheorie,
- Beiträge zu einer allgemeinen Feldtheorie,
- Grundlagen der kinetischen Theorie der Strahlungsübergänge (Laser-Theorie),
- Begründung der Bose-Einstein-Statistik.

Alle diese Arbeiten wurden in Sitzungen der Akademie diskutiert. Wir möchten behaupten, dass neben Einsteins Arbeit am Berner Patentamt, die Tätigkeit an der Akademie die fruchtbarste Periode seines Schaffens war. Die kritischen Diskussionen in der Akademie, besonders mit Planck, Nernst und Schwarzschild haben Einstein zu immer neuen theoretischen Ansätzen getrieben.

Neben seiner Tätigkeit in der Akademie war Einstein sehr aktiv in der Physikalischen Gesellschaft und an der Universität tätig. Insbesondere nahm er regelmäßig am Physikalischen Kolloquium teil. Wir zitieren dazu Kurt Mendelssohn: „Das Berliner Kolloquium, wie dieses (von Magnus gegründete) wöchentliche Treffen genannt wurde, war kein Ort für müßiges Gerede und höfliche Umschreibungen ... Neben Nernst waren da Einstein, Planck, von Laue, Schrödinger, Hertz, Hahn und Meitner. Das einzige, was für sie zählte war Physik, und es ging dabei hart her bei dieser Diskussion um Physik." (Mendelssohn, 1976).

Weitere Aktivitäten von Einstein in Berlin sind vielfach dargestellt worden, wir müssen hier darauf verzichten.

5. Zusammenfassung

Einsteins Arbeiten zur Brownschen Bewegung bilden den Ausgangspunkt und ein Kernstück seines Lebenswerkes.

Diese Forschungen stehen in der Tradition der Arbeiten von Helmholtz, Clausius, Planck, Nernst, Gibbs u.a. zur Begründung der Thermodynamik und statistischen Physik.

Einsteins Arbeiten zur Brownschen Bewegung gaben die korrekte Deutung eines gut beobachtbaren Effektes, bedeuteten – nach ihrer experimentellen Betätigung – den endgültigen Sieg der Atomistik.

Einsteins Voraussagen wurden vielfach experimentell überprüft, diese experimentellen Arbeiten bildeten den Ausgangspunkt für eine neue experimentelle Technik der Mikrountersuchungen, die Theorie bildete den Ausgangspunkt für die Entwicklung des großen Gebietes der physikalischen Stochastik.

6. Literatur

[1] K. Mendelssohn: Walter Nernst und seine Zeit. Physik Verlag, Weinheim 1976
[2] H. J. Treder: Große Physiker und ihre Probleme. Akademie-Verlag, Berlin 1983
[3] W. Ebeling, D. Hoffmann: Die Berliner Schule der Thermodynamik. Wiss. Z. Humboldt-Univ. Berlin 39 (1990) 264–276
[4] W. Ebeling, J. Orphal: Rudolf Clausius in Berlin. Wiss. Z. Humboldt-Univ. Berlin 39 (1990) 210–223
[5] W. Ebeling, D. Hoffmann: The Berlin school of thermodynamics founded by Helmholtz and Clausius, Eur. J. Phys. 12 (1991) 1–9
[6] W. Ebeling, I. Sokolov: Statistical thermodynamics and stochastic theory of nonequi-librium systems, World Scientific 2005

Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät *78/79(2005), 33–54*

Karl Lanius

Kosmologie im Wandel

Im Jahre 1913 wurde Albert Einstein zum Ordentlichen Mitglied der Preußischen Akademie der Wissenschaften gewählt. Im darauf folgenden Jahr erfolgte seine Übersiedlung nach Berlin. Im November 1915 legte er der physikalisch-mathematischen Klasse der Akademie die Feldgleichungen der allgemeinen Relativitätstheorie vor, einer Verknüpfung von Raum und Zeit mit dem Gravitationsfeld. Sie beruht auf der Forderung nach Invarianz der Naturgesetze gegenüber beliebigen Transformationen. Die Struktur der Raum-Zeit ist nicht mehr ein fest vorgegebener Bezugsrahmen. Sie wird durch die vorhandenen Massen und Energien bestimmt. Die allgemeine Relativitätstheorie ist eine Theorie der vierdimensionalen raum-zeitlichen Welt, in der Massenkonzentrationen eine Krümmung der Raum-Zeit hervorrufen. Die Geometrie des dreidimensionalen Raumes ist nicht mehr euklidisch und die Zeit verläuft in verschiedenen Raumpunkten unterschiedlich. Ein Beobachter nimmt die Bewegung von Objekten als Bewegung auf gekrümmten Bahnen im dreidimensionalen Raum mit variierenden Geschwindigkeiten wahr.

Bereits im Februar 1917 trug Einstein in der physikalisch-mathematischen Klasse seine „Kosmologischen Betrachtungen zur allgemeinen Relativitätstheorie“ vor, eine Arbeit, die das Akademiemitglied Otto Heckmann auf der Festveranstaltung der Akademie zum 100. Geburtstag Einsteins im März 1979 als „die Quelle aller späteren Entwicklungen bezeichnete“.

Um die Arbeit Einsteins würdigen zu können, möchte ich an den Stand der astronomischen Beobachtungen und Messungen zu Beginn des 20. Jahrhunderts erinnern. Lassen wir zwei vormalige Akademiemitglieder zu Wort kommen. 1904 schrieb Hugo von Seeliger, Direktor der Münchener Sternwarte an Hermann Carl Vogel, Direktor des Astrophysikalischen Observatoriums in Potsdam zur Frage, ob Nebelflecke Teil der Milchstraße oder Welteninseln ähnlich der unseren seien: „... bisher ist keine Tatsache bemerkt worden, die dazu zwänge, in einigen der genannten Gebilde etwa Weltensysteme zu erblicken, die als unserem Sternsystem koordiniert angesehen werden müssen.“

Obwohl es abweichende Meinungen gab, und einige Astronomen in den am Himmel sichtbaren Spiralnebeln ferne Milchstraßensysteme vermuteten, stellte sich Vogel auf den Standpunkt des beobachtenden Astronomen. Er bemerkte: „Es läßt sich aber noch nicht sagen, ob diese Vermutung richtig ist, da über die Verteilung der Spiralnebel am Himmel aus Mangel an Material noch keine Untersuchungen haben angestellt werden können."

Aus dem Studium der Entfernungen und Verteilungen von Sternhaufen schloß Harlow Shapley 1917, daß diese ein sphärisches System bilden. Noch in den zwanziger Jahren vertrat Shapley die Vorstellung von einem riesigen Milchstraßen-Universum. Die Kontroverse um die Größe des Milchstraßen-Universums fand erst nach umfangreichen Messungen der Entfernungen von Galaxien durch Edwin Hubble zum Beginn der dreißiger Jahre ihren Abschluß. In seinem Buch „The Realm of Nebula" aus dem Jahre 1936 schrieb Hubble: „Die Nebel sind große Leuchtfeuer, die über die Tiefen des Raumes zerstreut sind ... Beobachtungen ergeben nicht den geringsten Hinweis auf ein Super-Nebelsystem. Deshalb dürfen wir für Zwecke der Spekulation den Grundsatz der Einheitlichkeit der Natur übernehmen und vermuten, daß jeder andere gleiche Teil des Universums, zufällig ausgewählt, dieselben allgemeinen Charakteristika aufweisen wird. Als eine Arbeitshypothese, die dienlich ist, bis sie zu Widersprüchen führt, können wir die Annahme wagen, daß der Bereich der Nebel das Universum ist – daß die von uns beobachtbare Region ein repräsentatives Stichprobenmuster ist und daß die Natur des Universums aus den beobachteten Charakteristika des Musters gefolgert werden kann."

Durch Messungen Walter Baades während der Jahre des Zweiten Weltkriegs mit dem 100-inch-Teleskop auf dem Mount Wilson wurde die Ausdehnung des Universums verdoppelt und die anscheinend auffällige Größe unserer Galaxis schwand. Sie wurde eine unter vielen.

Wenn wir das Universum als das nicht erweiterbare Größte, d.h. als einen Grenzbegriff verstehen, so stellt die Kosmologie eine im Laufe der Zeit dem jeweiligen Erkenntnisstand entsprechende Beschreibung eines einmaligen Systems dar.

Jahrzehnte vor den erwähnten Entdeckungen wagte Einstein den Versuch eines kosmologischen Modells, das heute, stärker noch als vor wenigen Jahren, das Denken der Kosmologen prägt. Für Einsteins Arbeit gilt in vollem Umfang eine Anmerkung Henri Poincarés aus dem Jahre 1913: „Es ist unmöglich, das Schauspiel des gestirnten Universums zu betrachten, ohne sich zu fragen, wie es gebildet wurde: Vielleicht sollten wir warten und erst dann nach einer Lösung Ausschau halten, wenn wir die Elemente geduldig zusam-

men haben ... Wenn wir aber vernünftig wären, wenn wir ohne Ungeduld neugierig wären, hätten wir wahrscheinlich niemals die Naturwissenschaft erschaffen, und wir wären immer noch mit einer trivialen Existenz zufrieden. Der Geist hat aber gebieterisch die Lösung verlangt, lange bevor sie reif war, sogar als sie erst in schwachen Umrissen deutlich wurde – wobei wir lieber eine Lösung erraten, als sie abzuwarten."

Das Einstein-Universum

Das Einstein-Universum enthält eine gleichförmig verteilte Materie in einem gleichmäßig gekrümmten Raum. Einstein ging davon aus, daß das Universum statisch sei, sich also in einem Zustand des Gleichgewichts befinde und verbleibe. Um diesem Modellrahmen zu genügen, führte er in die Feldgleichungen ein zusätzliches Glied ein – die kosmologische Konstante Λ – zu der er sagte: „Ich komme nämlich zu der Meinung, daß die von mir bisher vertretenen Feldgleichungen der Gravitation noch einer kleinen Modifikation bedürfen". Die kosmologische Konstante ist äquivalent einer abstoßenden Kraft, die der Schwerkraft entgegenwirkt.

Zum Schluß seiner Arbeit bemerkt Einstein. „Die theoretische Auffassung der tatsächlichen Welt wäre also, falls dieselbe unserer Betrachtung entspricht, die folgende. Der Krümmungscharakter des Raumes ist nach Maßgabe der Verteilung der Materie zeitlich und örtlich variabel, läßt sich aber im großen durch einen sphärischen Raum approximieren. Jedenfalls ist diese Auffassung logisch widerspruchsfrei und vom Standpunkte der allgemeinen Relativitätstheorie die naheliegendste; ob sie, vom Standpunkt des heutigen astronomischen Wissens aus betrachtet, haltbar ist, soll hier nicht untersucht werden. Um zu dieser widerspruchsfreien Auffassung zu gelangen, mußten wir allerdings eine neue, durch unser tatsächliches Wissen von der Gravitation nicht gerechtfertigte Erweiterung der Feldgleichungen der Gravitation einführen."

In den Jahren 1922/24 veröffentlichte Alexander Friedman seine Modellvorstellungen. In den Arbeiten wird die Annahme eines statischen Universums aufgegeben. Damit wird es möglich die Λ-Kraft zu ignorieren.

1921 hielt Einstein in Princeton vier Vorlesungen über die Relativitätstheorie, die 1922 veröffentlicht wurden. In der Auflage von 1946 fügte er dem Text einen Anhang zur Kosmologie an. Darin ging er ausführlich auf das „kosmologische Problem" ein: „Wir sind auf Grund der Beobachtungen am Fixstern-Himmel hinreichend davon überzeugt, daß das System der Fixsterne nicht im wesentlichen einer Insel gleicht, die in einem unendlichen leeren

Raum schwebt, daß es also nicht so etwas gibt wie einen Schwerpunkt der ganzen in der Welt befindlichen Masse materieller Substanz. Wir fühlen uns vielmehr zu der Überzeugung gedrängt, daß es, abgesehen von den lokalen Verdichtungen in Einzelsterne und Sternensysteme, eine mittlere Dichte der Materie im Raum gibt, die überall größer als null ist. Es entsteht also die Frage: läßt sich diese von der Erfahrung nahegelegte Hypothese mit den Gleichungen der allgemeinen Relativitätstheorie in Einklang bringen?“

Das Bedenkliche an seinem Lösungsversuch aus dem Jahre 1917 sieht Einstein darin „daß man einen negativen Druck einführen muß, für welchen es keine physikalische Rechtfertigung gibt. Ursprünglich habe ich zur Ermöglichung jener Lösung statt des sogenannten Druckes ein neues Glied in die Gleichung eingeführt, welches vom Standpunkt des Relativitäts-Prinzips erlaubt ist. ...

Die Einfügung dieses Gliedes (mit der kosmologischen Konstanten Λ) ist eine Komplizierung der Theorie, welche deren logische Einfachheit bedenklich vermindert. Seine Einführung kann nur durch die Notlage entschuldigt werden, welche die kaum vermeidbare Einfügung einer endlichen durchschnittlichen Dichte der Materie mit sich bringt.

Aus diesem Dilemma hat der Mathematiker Friedmann einen Ausweg gefunden.[1] Sein Ergebnis hat dann durch Hubbles Entdeckung der Expansion des Fixstern-Systems (mit der Distanz gleichmäßig anwachsender Rotverschiebung der Spektrallinien) eine überraschende Bestätigung gefunden.“

Das Friedman-Universum

Grundlage des Friedman-Versuchs einer modellhaften Beschreibung des Universums sind die Hypothesen:

- In großen Maßstäben ist das Universum isotrop und homogen. Einstein faßte dieses kosmologische Prinzip 1931 in die Worte: „Alle Plätze im Universum sind gleich“.
- Die physikalischen Naturgesetze sind raumzeitlich invariant. Messungen bis in die Gegenwart belegen die Gültigkeit dieser Hypothese.

Die Annahme eines homogenen und isotropen Universums führt zu einer starken Vereinfachung der Feldgleichungen. Die Galaxien werden als Massenpunkte betrachtet. Sie sind in einem Koordinatensystem fixiert, das sich

1 Er hat gezeigt, daß es nach den Feldgleichungen möglich ist, eine endliche Dichte im ganzen Raume (dreidimensional aufgefaßt) zu haben, ohne die Feldgleichungen ad hoc zu erweitern. Zeitschr. f. Physik 10 (1922).

mit der Expansion bewegt. Die Änderungen ihres tatsächlichen gegenseitigen Abstands wird durch einen universellen, allein von der Zeit abhängigen Meßfaktor R(t) beschrieben. In einem homogenen und isotropen Universum hat er überall den gleichen, mit der Zeit wachsenden Wert. Die idealisierte, gleichmäßig verteilte Materie wird durch eine Dichte ρ(t) und einen Druck p(t) beschrieben.

Die Lösung der Friedman-Gleichungen für einen homogenen und isotropen Kosmos, in dem der Druck sich vernachlässigen läßt – eine Annahme, die für die Zeiten oberhalb von ca. 10^6 Jahre nach der Singularität bei t = 0, dem sogenannten Urknall zutrifft – läßt sich wie folgt angeben:

$$H^2 = \left(\frac{\dot{R}(t)}{R(t)} \right)^2 = \frac{8\pi G}{3} \rho(t) + \frac{\Lambda c^2}{3} - \frac{kc^2}{R^2(t)}$$

Darin sind: H(t) die Hubble-Zahl, G die Gravitationskonstante, ρ(t) die Dichte, also die Masse (bzw. Energie) pro Raumeinheit, Λ die kosmologische Konstante, c die Lichtgeschwindigkeit, k der Krümmungsparameter, der zwischen den Geometrien der Modelluniversa unterscheidet.

– Ist k = 0 so ist der expandierende Raum flach (euklidisch). Er ist unendlich und unbegrenzt.

– Für k = 1 hat das Universum einen sphärischen expandierenden Raum. Er ist endlich und unbegrenzt.

– Für k = –1 hat das Universum einen hyperbolischen expandierenden Raum. Er ist unendlich und unbegrenzt.

Dividieren wir beide Seiten der Friedman-Gleichung durch H^2 und bezeichnen die Gegenwart mit t_0, so wird mit $H_0(t_0)$ der Hubble-Konstanten:

$$1 = \frac{8\pi G}{3H_0^{\,2}} \rho_0(t_0) + \frac{\Lambda c^2}{3H_0^{\,2}} - \frac{kc^2}{R_0^{\,2}(t_0) H_0^{\,2}}$$

Bezeichnet man:

$3H_0^2/8\pi G = \rho_c$

als kritische Dichte und führt man folgende häufig benutzte Abkürzungen ein:

$$\Omega_m = \frac{\rho_0(t_0)}{\rho_c}; \quad \Omega_\lambda = \frac{\Lambda c^2}{3H_0^2}; \quad \Omega_k = -\frac{kc^2}{R_0^2(t) H_0^2}$$

erhält man folgende einfache, dimensionslose Form der Friedman-Gleichung:

$$1 = \Omega_m + \Omega_\lambda + \Omega_k$$

Friedman ignorierte die Λ-Kraft. Damit entfällt Ω_λ.

Je nach dem Wert der Krümmungskonstanten folgen daraus drei Typen des Modelluniversums:

- für $\Omega_m = 1$ d.h. $\rho_0 = \rho_c$ ist k = 0 (flacher Raum)
- für $\Omega_m > 1$ d.h. $\rho_0 > \rho_c$ ist k = +1 (sphärischer Raum)
- für $\Omega_m < 1$ d.h. $\rho_0 < \rho_c$ ist k = –1 (hyperbolischer Raum)

Die Größen H_0 und Ω_m sind Modellparameter, die Größe, Alter, Geometrie und Expansionsrate des Universums bestimmen. Diese Parameter sind jedoch nicht berechenbar, da wir die Anfangsbedingungen eines Universums für den Zeitpunkt t = 0, den sogenannten Urknall, nicht angeben können. Wenn wir uns dem Zeitpunkt t = 0 nähern, strebt der Meßfaktor R(t) gegen Null, während Hubble-Zahl und Dichte unendlich groß werden. Der Modellkosmos beginnt mit einer unendlich großen Dichte und Temperatur, einer Singularität, die wir aus den physikalischen Beobachtungen auszuschließen haben.

Da die Singularität bei t = 0 ausgeschlossen werden muß, sind wir nicht in der Lage Anfangsbedingungen anzugeben. Eine eindeutige Lösung der Feldgleichungen ist daher unmöglich und eine unendliche Zahl von Universen ist möglich. Welches Universum das zutreffende ist – wenn überhaupt eins – wissen wir nicht. Wir müssen auf Beobachtungen zurückgreifen. (In diesem Zusammenhang sei daran erinnert, daß bereits vor 75 Jahren Lemaître und Eddington kosmologische Modelle mit Λ-Term formulierten, die zu allen Zeiten singularitätsfrei sind.)

Die Expansion des Universums

Was wissen wir über die beiden Modellparameter? Hubble ermittelte einen einfachen Zusammenhang zwischen Galaxienbewegung und ihrer Entfernung: die Fluchtgeschwindigkeit *v*, mit der sich Galaxien von uns fortbewegen, ist proportional zu ihrer Entfernung *d*.

$$v = H \cdot d$$

Der Proportionalfaktor H, die Hubble-Zahl, gibt an, um welchen Betrag die Fluchtgeschwindigkeit wächst, gemessen in Kilometer pro Sekunde [kms^{-1}], bei einer Zunahme der Entfernung der beobachtete Galaxie um ein Megaparsec [Mpc], d.h. 3,26 Millionen Lichtjahre.

Die Werte der Radialgeschwindigkeit werden aus der Rotverschiebung der Spektrallinien in den Spektren der Galaxien bestimmt. Ein ruhendes Objekt emittiert eine Linie der Wellenlänge λ. Bewegt sich das Objekt vom Beobachter weg, beobachtet er eine Verschiebung zu einer längeren Wellenlänge $_{0.}$ Das Verhältnis

$$z = \frac{\lambda_0 - \lambda}{\lambda} = \frac{\lambda_0}{\lambda} - 1$$

bezeichnet man als Rotverschiebung.

Licht wurde mit einer Wellenlänge λ von einer weit entfernten Galaxie emittiert. Zum Zeitpunkt der Emission hatte das Universum den Meßfaktor R. Nachdem es unter Umständen Jahrmilliarden unterwegs war, wird es mit seiner rotverschobenen Wellenlänge λ_0 von einem irdischen Beobachter empfangen. Zu diesem Zeitpunkt hat das Universum den Meßfaktor R_0. Die Wellenlänge wuchs während der Zeit, die das Licht von der Quelle bis zum Empfänger brauchte, im gleichen Verhältnis wie der Meßfaktor:

$$\frac{\lambda_0}{\lambda} = \frac{R_0}{R}$$

Ersetzt man λ_0/λ durch z + 1, erhält man:

$$z = \frac{R_0}{R} - 1$$

Wenn also das Universum zwischen Emission und Absorption seine Ausdehnung verdoppelt, R_0/R also den Wert 2 hat, so zeigt das Licht aller Wellenlängen die Rotverschiebung z = 1.

Jede Messung der Rotverschiebung einer entfernten Galaxie gestattet uns unmittelbar festzustellen, um das Wievielfache das Universum zwischen Emission und Absorption expandierte. Um aus einer Messung der Rotverschiebung die Entfernung einer Galaxie zu bestimmen, müssen wir die zeitliche Variation von H bzw. die Wachstumsgeschwindigkeit des Meßfaktors kennen.[2] Wir müssen daher theoretische Annahmen über die Geometrie des Universums machen, um aus den gemessenen Rotverschiebungen auf solche Größen wie Entfernungen, Fluchtgeschwindigkeiten oder das Alter des Universums zu schließen.

---

2 Bisher haben wir die Frage der zeitlichen Konstanz der Hubble-Zahl nicht berührt. Falls es in der Vergangenheit Perioden gab, in denen die Expansion schneller (langsamer) erfolgte, so war die Hubble-Zahl größer (kleiner) als heute. Sollte H einer zeitlichen Veränderung unterliegen, müßten sich mit wachsender Entfernung der Galaxien Abweichungen im linearen Zusammenhang des Hubble-Gesetzes zeigen.

Was Hubble fand, war ein linearer Zusammenhang zwischen der Rotverschiebung und der Entfernung der Galaxie:

$$z = \frac{H \cdot d}{c}$$

Das eigentliche Problem bei der Messung von *H* ist nicht die Messung der Rotverschiebung, sondern die Entfernungsbestimmung der Galaxien. Dazu bedient man sich sogenannter Standardkerzen, wie Delta-Cephei-Sterne und Supernovae des Typs Ia.[3] Es sind Objekte, deren Leuchtkraft man genau kennt.

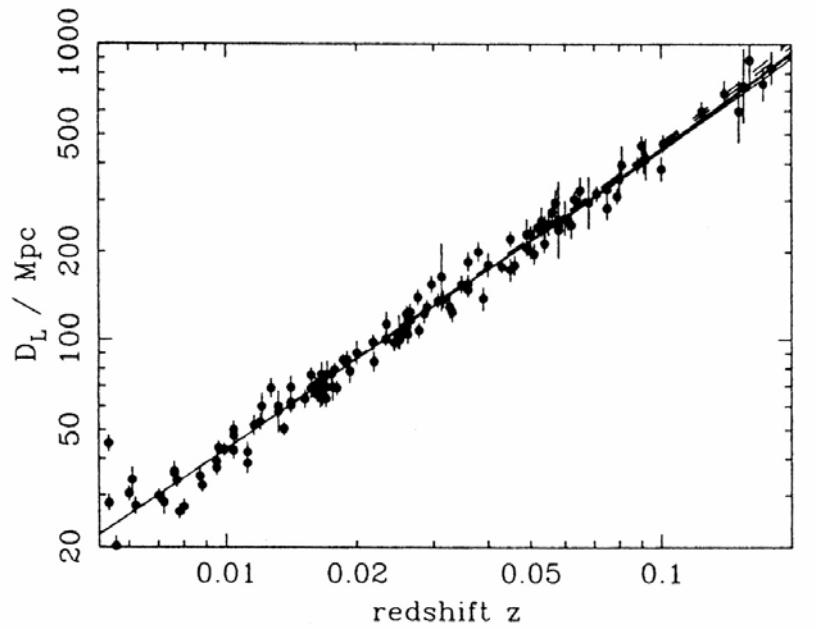


Abb. 1

3 Cepheiden verändern periodisch ihre Helligkeit. Zwischen der Periode und der Leuchtkraft besteht ein linearer Zusammenhang. Aus der Pulsationsperiode läßt sich die Leuchtkraft ableiten.
Supernovae des Typs Ia sind explodierende Weiße Zwerge in Doppelsystemen. Die Leuchtkraft des explodierenden Sterns wächst innerhalb kurzer Zeit auf ein Maximum, um dann wieder abzufallen. Da die freigesetzte Energie in Supernovae des Typs Ia nahezu gleich ist, zeigen sie annähernd die gleiche Variation ihrer Leuchtkraft.
Aus der scheinbaren Helligkeit der Standardkerzen kann man ihre Entfernung bestimmen, da die Helligkeit mit dem Quadrat der Entfernung abnimmt.

Die wechselvolle Geschichte der Entfernungsmessungen führte bis in die neunziger Jahre zu folgenden Grenzen für die Hubble-Konstante:

$$H_0 = (50 - 100)\, km\, s^{-1} Mpc^{-1}$$

Erst mit Hilfe des Hubble-Teleskops gelang in mehrjährigen Messungen die Bestimmung eines Mittelwertes:

$$H_0 = (72 \pm 8)\, km\, s^{-1} Mpc^{-1}$$

Abb. 1 zeigt das Resultat der Entfernungsmessungen.

Die Nukleonensynthese

Neben dem sicheren Nachweis der Expansion des Universums sind es zwei Beobachtungen, die die Kosmologen davon überzeugten, daß das Universum früher heißer und dichter war: die Nukleonensynthese und eine den Kosmos füllende thermische Strahlung, die 3K-Hintergrundstrahlung.

Betrachten wir zunächst die Nukleonensynthese. Beim Versuch, die Evolution des Universums zu erkennen und modellhaft abzubilden, müssen wir auf unser Wissen über den Mikrokosmos zurückgreifen. Die Nukleonensynthese ist bisher die zuverlässigste Probe des frühen Universums. Die ihr zugrunde liegenden Prozesse zwischen den Teichen sind bekannt. In den zurückliegenden Jahrzehnten entstand eine sich stetig verstärkende Verknüpfung zwischen der Physik des Mikrokosmos und der des Makrokosmos.

Etwa eine hundertstel Sekunde nach dem Urknall sollte nach dem Friedman-Modell das plasmaartige Teilchengemisch eine Temperatur von 10^{11} Kelvin entsprechend einer Teilchenenergie von 10 Millionen Elektronenvolt haben. Das Plasma bestand aus Photonen, Leptonen, wie Elektronen (e^-), Neutrinos (ν_e) und Antileptonen, wie Positronen (e^+) und Antineutrinos $(\overline{\nu}_e)$.[4] Dabei entfielen auf rund 10^9 Photonen nur ein Nukleon, d.h. ein Proton oder ein Neutron. Durch Stoßprozesse fand ein ständiger Austausch zwischen Protonen und Neutronen statt. Im thermischen Gleichgewicht entstanden und vergingen gleich viele Protonen und Neutronen. Eine Vereinigung beider, z.B. zu Deuteronen konnte nur außerordentlich kurzzeitig erfolgen. Jeder gebildete Atomkern wurde genauso schnell wieder zerstört, wie er entstanden war. Zwischen allen Teilchen herrschte thermisches Gleichgewicht.

Die Geschwindigkeit, mit der die Prozesse ablaufen, hängt sehr empfind-

4 Als Leptonen bezeichnet man alle Teilchen, die nur der schwachen Wechselwirkung unterliegen. Zu ihnen zählen die Elektronen, die Myonen, die τ-Leptonen, die entsprechenden Neutrinos und die zugehörigen Antiteilchen.

lich von der nach dem Standardmodell berechenbaren zeitlichen Änderung der Temperatur ab. Mit sinkender Temperatur verlangsamt sich drastisch der Ablauf aller Reaktionen. Unterschreitet die Reaktionsgeschwindigkeit einen Grenzwert, der durch die Expansionsgeschwindigkeit bestimmt wird, so verlieren die Reaktionen effektiv ihre Wirksamkeit. Nach etwa vier Minuten waren nur noch 12 Prozent aller Nukleonen Neutronen. Zu dieser Zeit ist die Temperatur auf $0{,}9 \cdot 10^9$ Kelvin gesunken. Damit war die mittlere Energie der Protonen so weit gefallen, daß sie nicht mehr ausreichte, um Deuteriumkerne wieder zu zertrümmern, die sich durch Verschmelzung von Neutronen und Protonen ständig bildeten. Nach Ablauf einer Folge von Fusionsprozessen (siehe Abb. 2) sind alle freien Neutronen verschwunden.

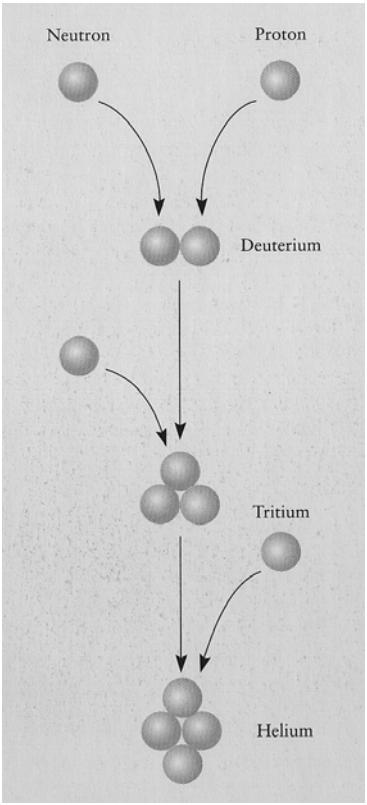


Abb. 2: Die Nukleonensynthese

Der Anteil der Neutronen zum Beginn der Synthese bestimmt den Anteil des Heliums. Die Vorhersage des Standardmodells für den Helium-Gewichtsanteil unter allen aus Nukleonen bestehenden Materieformen im Universum beträgt $(24{,}0 \pm 0{,}5)$ Prozent.

Neben dem dominierenden Protonenanteil und dem im ^{4}He gebundenen Nukleonen verbleibt auch ein vergleichsweise geringer Gewichtsanteil in Deuterium und ^{3}He-Kernen. Hinzu kommt ein sehr kleiner Anteil an Li-Kernen.

Vergleicht man die Vorhersagen des Standardmodells mit den im Universum gemessenen Gewichtsanteilen von Wasserstoff, Deuterium, den Heliumisotopen und Lithium, findet man eine erstaunlich gute Übereinstimmung.

Die Häufigkeit, mit der die leichten Elemente entstanden, hängt empfindlich von der Dichte der Protonen und Neutronen – der Baryonen – ab. Im Rahmen des Friedman-Modells läst sich ihr Wert zu $\Omega_b \approx 0{,}04$ bestimmen. Nur rund vier Prozent der kritischen Dichte ist aus Baryonen gebildet. Das schließt Sterne sowie sichtbare und unsichtbare Gase ein.

Die 3K-Hintergrundstrahlung

Die Vorstellung eines sich stetig abkühlenden expandierenden Universums wird durch die Beobachtung der 3K-Hintergrundstrahlung überzeugend gestützt.

Ist die sekundlich von der Flächeneinheit eines Körpers abgestrahlte Energie, seine Wärmestrahlung, gleich der vom Körper aufgenommenen Energie, befinden sich Körper und Umgebung im thermischen Gleichgewicht. Sie haben die gleiche Temperatur.

Für diesen Fall läßt sich die je Raumeinheit enthaltene Energie (bzw. die mittlere Photonenzahl) durch eine Formel beschreiben, in der nur die Temperatur T der Strahlung und ihre Wellenlänge λ als Veränderliche auftreten. Die Formulierung dieser Strahlungsformel gelang Max Planck im ersten Jahr des 20. Jahrhunderts. In ihr trat erstmals in der Geschichte der Physik das Plancksche Wirkungsquantum auf, eine den Mikrokosmos beherrschende fundamentale Konstante.

Bei einer Temperatur von 5 800 Kelvin, der Oberflächentemperatur der Sonne, liegt das Maximum der Strahlungsenergie bei einer Wellenlänge von $5 \cdot 10^{-5}$ Zentimetern. Sinkt die Temperatur auf –270 Grad Celsius = 3 Kelvin, liegt das Strahlungsmaximum gemäß der Planckschen Formel bei einer Wellenlänge von rund 2 Millimetern. 1964 entdeckten Robert Wilson und Arnold Penzias in New Jersey (USA) mit einer Hornantenne eine von der Beobachtungsrichtung im Raum unabhängige Mikrowellenstrahlung bei 7,35 Zentimetern. Sie müßte einer Äquivalenztemperatur von 3,5 Kelvin entsprechen, wenn es sich um einen Meßpunkt auf der Planckschen Strahlungskurve handeln sollte.

Die meisten Messungen der Folgejahre wurden auf der langwelligeren Seite der Strahlungskurve durchgeführt, da die Atmosphäre bei Wellenlängen unterhalb von 2 Millimeter immer undurchlässiger wird. Eine neue Qualität der Messung kosmischer Hintergrundstrahlung wurde mit dem Start des Cosmic Background Explorer (COBE)-Satelliten im November 1989 erreicht. Bereits nach kurzer Betriebsdauer erhielt man Daten, die mit beeindruckender Genauigkeit der Planckschen Strahlungsformel folgten (siehe Abb. 3). Die Äquivalenztemperatur ergibt sich zu 2,728 ± 0,002 Kelvin. Die Messungen bestätigen die Isotropie des Raumes mit Abweichungen von weniger als 0,03 Prozent.

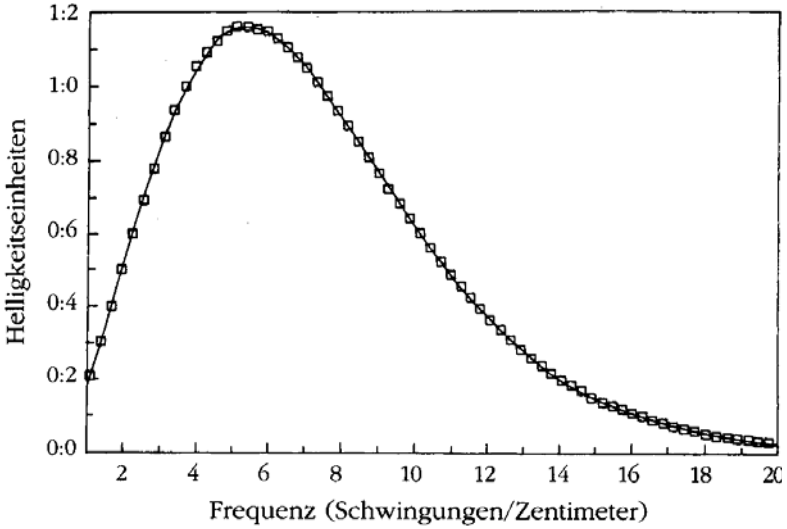


Abb. 3: Die ausgezogene Plancksche Strahlungskurve folgt mit beeindruckender Genauigkeit dem Verlauf der Meßpunkte.

Die Plancksche Strahlungsformel gilt unter Voraussetzung eines thermischen Gleichgewichts zwischen Strahlung und strahlendem Körper. Nur wenn zwischen den Photonen der Strahlung und den Körpern, z.B. den Atomen, sehr viele Wechselwirkungen stattfinden, haben Körper und Strahlung die gleiche Temperatur.

Es ist offensichtlich, daß in Gegenwart und „sichtbarer" Vergangenheit ein thermisches Gleichgewicht zwischen Körpern und Strahlung nicht besteht bzw. bestand. Selbst von kosmischen Quellen, die mehr als 10 Milliarden Lichtjahre entfernt sind, erreicht uns das Licht beinahe unbeeinflußt. Der Bereich des Universums, den die Photonen auf ihrem langen Weg von der Quelle zum Beobachter durcheilten, ist offensichtlich so durchlässig, daß sie weder gestreut noch absorbiert wurden.

Aus der Rotverschiebung schlossen wir auf die Expansion des Universums, einen Prozeß, der mit einer stetigen Reduzierung der Substanzdichte einherging. Also muß in der Vergangenheit das Universum dichter gewesen sein.

Die phänomenologische Thermodynamik lehrt uns, daß mit einer größeren Dichte auch stets eine höhere Temperatur verbunden ist. Im frühen Universum gab es eine Periode, in der Dichte und Temperatur sehr große Werte hatten. Zwischen Strahlung und substantiellen Materieformen, wie den Elektronen, bestand ein thermisches Gleichgewicht.

In dieser Phase gab es weder Sterne noch Galaxien. Selbst Elektronen und Atomkerne konnten sich nicht zu stabilen Atomen zusammenfügen. Die den Raum homogen erfüllenden, relativ energetischen Photonen zerschlugen sich bildende Atome sofort wieder. Wegen der riesigen Zahl der sekundlich ablaufenden Stoßprozesse zwischen Photonen und Elektronen bestand ein thermischer Gleichgewichtszustand. Mit fortschreitender Expansion nahmen Dichte und Temperatur und folglich die mittlere Energie der Photonen und der Elektronen allmählich ab. Als ca. 400 000 Jahre nach dem Urknall die Temperatur schließlich rund 3000 Kelvin erreichte, hatten selbst die wenigen Photonen am kurzwelligen Ende der Planckschen Strahlungskurve nur noch Energien von einigen Elektronenvolt. Sie reichten nicht mehr aus, um Elektronen aus sich bildenden Wasserstoff- und Heliumatomen herauszuschlagen, d.h. sie zu ionisieren. Selbst zur Anregung war diese Photonenenergie nicht mehr ausreichend. Zur Anregung eines Wasserstoffatoms aus dem Grundzustand sind mindestens 10 Elektronenvolt notwendig.

Unter der Wirkung der elektrischen Anziehung zwischen positiv geladenen Atomkernen und negativ geladenen Elektronen hatten sich in dieser Periode neutrale Atome, überwiegend Wasserstoff, gebildet. Daher waren keine freien Elektronen mehr vorhanden, an denen die Photonen gestreut werden konnten. Strahlung und Substanz hatten sich entkoppelt. Die Photonen konnten sich fortan wechselwirkungsfrei durch das expandierende Universum bewegen. So behielt ihre Intensitätsverteilung die Form der Planckschen Strahlungskurve.

Die Wirkung der Expansion des Universums auf die sich ausbreitenden elektromagnetischen Wellen besteht in einem linearen Anwachsen der Wellenlänge, in einer linearen Rotverschiebung. In der Planckschen Strahlungsformel sind Wellenlänge und Temperatur einander umgekehrt proportional.

$$\frac{\lambda_0}{\lambda} = \frac{T}{T_0}$$

wobei $T \approx 3000$ Kelvin die Temperatur und λ die Wellenlänge zum Zeitpunkt der Entkopplung und $T_0 = 2{,}73$ Kelvin bzw. λ_0 ihre gegenwärtigen Werte sind. Im Verhältnis $T/T_0 \approx 1000$ ändert sich auch die Rotverschiebung. Das früheste Relikt der Entwicklung des Universums, das Astrophysiker bisher entdeckt haben, ist demnach die kosmische Hintergrundstrahlung mit $z \approx 1000$.

Verbinden wir die Beobachtung der Galaxienflucht mit Homogenität und Isotropie des Universums, gesichert durch die Hintergrundstrahlung, werden

wir zur „Urknall“-Hypothese geführt. Am Anfang der Evolution fand eine Art Explosion statt, die den gesamten Raum erfaßte. Bei der Explosion drängten nicht sich verändernde Materieformen in einen leeren Raum vor, sondern der Raum mit den sich zeitlich wandelnden Materieformen expandierte.

Ein homogenes Universum, in dem alle Orte gleichwertig sind, muß in seiner Expansion dem Hubble-Gesetz folgen. Dabei ist zu beachten, daß diese Expansion nicht mehr mit einer Expansion der Galaxien selbst verbunden ist. Sie werden durch die Schwerkraft zusammengehalten. Gleiches gilt für unser Sonnensystem, aber auch für jedes durch elektromagnetische Wechselwirkung zusammengehaltene Atom.

Das Hubble-Gesetz besagt, daß das Licht entfernter Galaxien rot verschoben ist, und diese Rotverschiebung mit wachsendem Galaxienabstand linear wächst. Hubble interpretierte seine Beobachtungen als Doppler-Effekt. So eingängig das damit verbundene Bild von uns wegrasender Galaxien auch ist, es ist falsch. Die Rotverschiebung hat ihre Ursache in der Expansion des Raumes selbst.

Die Dunkelmaterie

Seit Jahrzehnten bemühen sich die Astronomen um die Messung der Massendichte ρ_0 im Universum. Aus dem Verhältnis zur kritischen Dichte ρ_c erhält man Aufschluß über seine Geometrie. Der Zahlenwert des Dichteparameters Ω_m bestimmt das Vorzeichen des Parameters k, der die Krümmung des Raumes charakterisiert.

Wie wir sahen, trägt baryonische Materie nur annähernd vier Prozent zum Wert der kritischen Dichte bei. Unterschiedliche Beobachtungen lassen es immer wahrscheinlicher werden, daß der weit überwiegende Teil der Materie im Universum uns, zumindest bisher, verborgen blieb. Die Astrophysiker sprechen von Dunkelmaterie. Unter dunkler Materie verstehen wir Materie, die weder leuchtet noch Strahlung absorbiert.

Eine Methode der Massenbestimmung ist die Untersuchung des Rotationsverhaltens von Spiralgalaxien. Die Rotationskurve einer Spiralgalaxie, d.h. die Variation der Rotationsgeschwindigkeit mit dem Radius erlaubt Rückschlüsse auf die Dichteverteilung der Materie. Mit hochauflösenden Teleskopen und leistungsfähigen Spektrographen wurden die Rotationsgeschwindigkeiten zahlreicher Spiralgalaxien durch Messung des Dopplereffekts ermittelt. Alle Messungen zeigen im Zentrum der Galaxie einen schnellen Anstieg der Rotationsgeschwindigkeit. Sie fällt jedoch außerhalb

des selbstleuchtenden Bereichs nicht ab, sondern verläuft annähernd horizontal weiter. Abbildung 4 zeigt als Beispiel die Rotationskurve der Zwerggalaxie M 33. Die Gültigkeit des Gravitationsgesetzes vorausgesetzt, folgt daraus ein lineares Anwachsen der Gesamtmasse einer Spiralgalaxie vom Zentrum zum sichtbaren Rand.

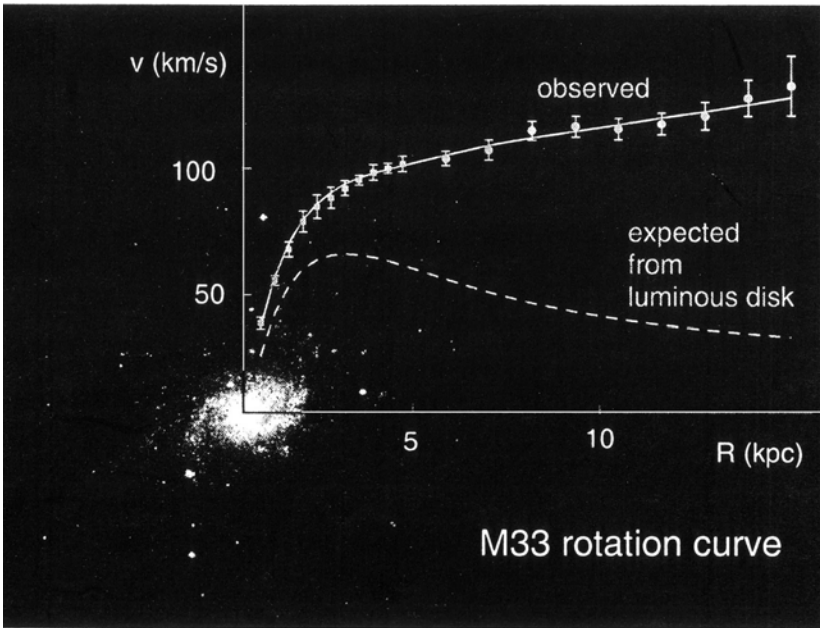


Abb. 4: Die Rotationskurve der Zwerggalaxie M33.

Betrachten wir ein zweites Beispiel zur Messung des Anteils der Dunkelmaterie: Sie beruht auf der Messung der Relativbewegungen einzelner Galaxien bzw. Galaxiengruppen in Haufen. Diese Art der Massenbestimmung setzt ein dynamisches Gleichgewicht zwischen den betrachteten Komponenten im Haufen sowie eine räumliche Verteilung der Dunkelmaterie ähnlich der des jeweils betrachteten Galaxienkomplexes voraus.

Abbildung 5 zeigt zwei Fotografien des Abell 2029-Haufens, eines in rund 1000 Millionen Lichtjahren von uns entfernter Haufens, der tausende Galaxien umfaßt. Während er auf der rechten Fotografie wie einer Ansammlung von Sternsystemen erscheint, zeigt eine Aufnahme des gleichen Gebiets mit einem Röntgensatelliten eine gewaltige kugelförmige Gaswolke, in die die Galaxien des Haufens eingebettet sind. Quelle der Röntgenstrahlung ist

ein dünnes, mehr als 10 Millionen Grad heißes Gas, das den Raum des Haufens erfüllt. Da die gemessene Temperatur ein Maß für die gravitative Anziehungskraft des Haufens ist, wenn sich dieser im Gleichgewichtszustand befindet, läßt sich daraus die Masse bestimmen.

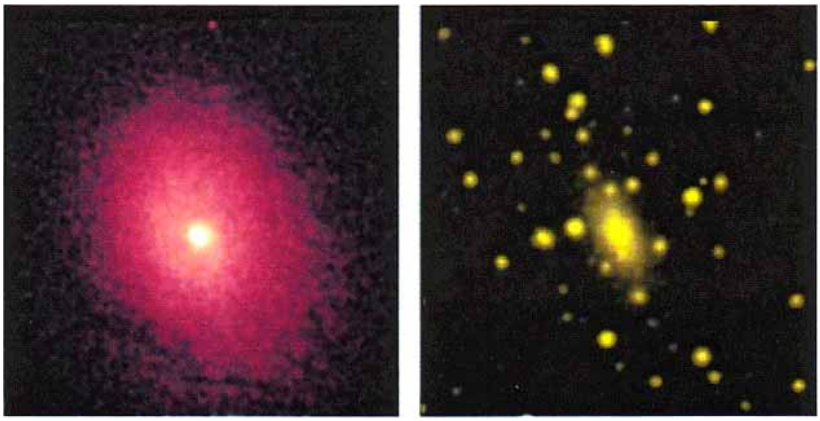


Abb. 5: Der Abell 2029-Haufen aufgenommen im Röntgenbereich und sichtbaren Licht.

Aus dem Rotationsverhalten von Spiralgalaxien, aus der Analyse von Galaxienhaufen und anderen Messungen ergaben sich einander ähnelnde Werte des Anteils an dunkler Materie. Sie entsprechen einem Dichteparameter von $\Omega_{dm} \approx 0{,}25$. Vergleicht man diesen Wert mit dem aus selbstleuchtenden Materieformen, überwiegt die Dunkelmaterie im Universum bei weitem.

Woraus diese dunkle Materie besteht, wissen wir nicht. Bisher konnten weder an Teilchenbeschleunigern noch in Detektoren der Astroteilchenphysiker Teilchen gefunden werden, wie sie beispielsweise supersymmetrische Modelle vorhersagen. Ein Kandidat dieser Modelle sind Neutralinos, nur schwach wechselwirkende Teilchen, deren Masse das tausendfache eines Wasserstoffatoms beträgt.

Kein bisheriger Versuch, einer großen einheitlichen Theorie der Elementarteilchen und ihrer Wechselwirkungen, erscheint überzeugend und, was schwerer wiegt, keine der in Verbindung damit vorhergesagten experimentell überprüfbaren Konsequenzen, wie beispielsweise die Instabilität des Protons, konnte nachgewiesen werden.

Die Expansionsbeschleunigung

Die US-Zeitschrift „Science“ erklärte im Dezember 1998 die Entdeckung der Expansionsbeschleunigung des Universums zum „Durchbruch des Jahres“.

Die neuen Beobachtungs- und Meßtechniken, die den Astronomen seit den neunziger Jahren zur Verfügung stehen, ermöglichten erstmals die Bestimmung der Leuchtkraft an geeigneten Objekten, deren Rotverschiebung zwischen z = 0,3 und 0,9 liegt. Als geeignete Standardkerzen, die in Entfernungen von vier bis neun Milliarden Lichtjahren nachweisbar sind, erwiesen sich Supernovae des Typs Ia.

1997 und 1998 suchten zwei Forschungsgruppen nach Ia-Supernovae mit Rotverschiebungen zwischen z = 0,3 und 0,9. Das „high-z-team“, das Brian P. Schmidt vom australischen Siding Spring Observatory gründete, und das „Supernova Cosmology Project“ unter der Leitung von Saul Perlmutter vom Lawrence Berkeley National Laboratory in Kalifornien. Die beiden unabhängig voneinander arbeitenden Gruppen beobachteten rund 50 weit entfernte Kernexplosionen des gesuchten Typs. Übereinstimmend war der überraschende Befund: Die Helligkeit der Ia-Supernovae lag im Mittel um 25 Prozent unter den erwarteten Werten. Ein Meßresultat, das das kosmologische Standardmodell in Frage stellt.

Bevor die beiden Gruppen dramatische Schlußfolgerungen zogen, überprüften sie andere einfachere Erklärungsmöglichkeiten, beispielsweise die Frage, ob Staub längs des Lichtweges die Strahlung geschwächt haben könnte. Diese und andere Erklärungsmöglichkeiten konnten ausgeschlossen werden.

Als Konsequenz der Beobachtungen bleibt, daß die Struktur des Universums, seine Raum-Zeit, die unerwartet geringe Helligkeit ferner Supernovae bewirkt. Dabei können zwei Eigenschaften von Raum und Zeit wirksam sein:

Erstens könnte der Raum hyperbolisch sein und damit der Krümmungsparameter $k = -1$ und der Dichteparameter $\Omega_m < 1$. Ein Lichtblitz aus der Frühzeit des Universums würde sich über eine größere Fläche verteilen als im Euklidschen Raum, uns also weniger hell erscheinen.

Zweitens könnte es aber auch sein, daß die Supernovae weiter von uns entfernt sind als es ihre Rotverschiebungen vermuten lassen. Das Licht mußte einen größeren Weg zurücklegen, um uns zu erreichen. Die Expansionsgeschwindigkeit in der Frühzeit des Universums war also kleiner als heute.

Die beste Übereinstimmung mit den Meßdaten zeigt eine Modellvariante mit den Parametern $\Omega_m = 0{,}3$, $\Omega_\lambda = 0{,}7$ und $\Omega_k = 0$. Sie läßt aber die Frage nach der Bedeutung von $W_l = 0{,}7$ offen, d.h. einer von Null verschiedenen

Einsteinschen kosmologischen Konstanten, die strukturlos ist und das Universum homogen erfüllt.

Im Universum müßte eine Energie wirken, die nicht an Massen gebunden ist und die Expansion des Universums im Laufe der Zeit beschleunigt, also eine das gesamte Universum erfüllende, zeitlich unveränderliche Vakuumenergie, eine Art Antigravitation.

Die Frage nach dieser Vakuumenergie geht zunächst an die Teilchenphysiker. Bisherige Berechnungen der Vakuumenergie mittels der Quantenfeldtheorie ergaben einen Wert, der 120 Größenordnungen über dem Wert liegt, den man bei $\Omega_\lambda = 0{,}7$ erwarten sollte.

In einem bemerkenswerten Denkansatz betrachten einige Theoretiker eine zeitlich veränderliche Form der Vakuumenergie. Diese dynamische Form einer inhomogenen Dunkelenergie trägt den bezeichnenden Namen „Quintessence“. Er erinnert uns an Aristoteles. In seiner Naturphilosophie erfüllten den irdischen Raum die vier Grundelemente Erde, Wasser, Luft und Feuer, während den himmlischen Raum ein fünftes Grundelement, der Äther, – die Quintessence erfüllte.

Wuchs nun die Expansionsgeschwindigkeit von Anbeginn, oder erst seit einigen Milliarden Jahren? Mit der Advanced Camera for Survey, die 2002 am Hubble-Teleskop installiert wurde, gelang der Nachweis einiger Supernovae, die mehr als sieben Milliarden Jahre ($z > 0{,}9$) von uns entfernt sind. Damals hatte das Universum weniger als die Hälfte seiner heutigen Ausdehnung. Supernovae in diesen Entfernungen erschienen wieder dunkler. Die Expansionsgeschwindigkeit hatte sich also zunächst verlangsamt. Der Übergang von einer Verlangsamung zu einer Beschleunigung der Expansion fand vor rund fünf Milliarden Jahren statt.

Die Anisotropie der Hintergrundstrahlung

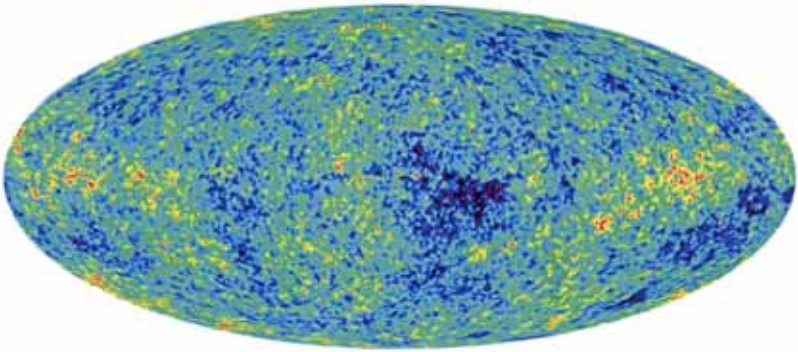


Abb. 6: Die von WMAP gemessene Mikrowellenkarte des Himmels zeigt Fluktuationen der Hintergrundstrahlung im Bereich von millionenstel Kelvin. Wärmere Regionen erscheinen hell, kältere dunkel.

Wie gezeigt, ist die Hintergrundstrahlung, die wir heute sehen, eine *fast* perfekte Schwarzkörperstrahlung einer Temperatur von 2,728 Kelvin. Genaueres Hinsehen, wie es insbesondere der WMAP-Satellit (Wilkinson Microwave Anisotropie Probe) ermöglicht, zeigt Temperaturfluktuationen in der Größenordnung von 10^{-5} Kelvin. In einem ersten, 12 Monate währenden Beobachtungszyklus, der im Juni 2001 begann, wurde der Himmel bei Wellenlängen der elektromagnetischen Strahlung zwischen 13 und 3 Millimetern vollständig erfaßt. Die in Abb. 6 gezeigten Messungen der Strahlungsschwankungen zeigen ein Muster wärmerer und kälterer Flecken.

Bereits Peebles und Yu (Princeton) bzw. Seldowitsch und Sinajew (Moskau) sagten in den 60er Jahren vorher, daß das stark gekoppelte System – ein Plasma aus Elektronen, Protonen und Photonen – sich wie ein einziges Gas verhalten wird. Ständig stattfindende Streuungen verursachen kleine Dichteschwankungen, eine Folge geringfügiger Verdichtungen und Verdünnungen, die sich als Schallwellen fortpflanzen. Die winzigen Variationen der Temperatur lassen sich mit zufälligen, einer Gaußverteilung folgenden Fluktuationen vergleichen.

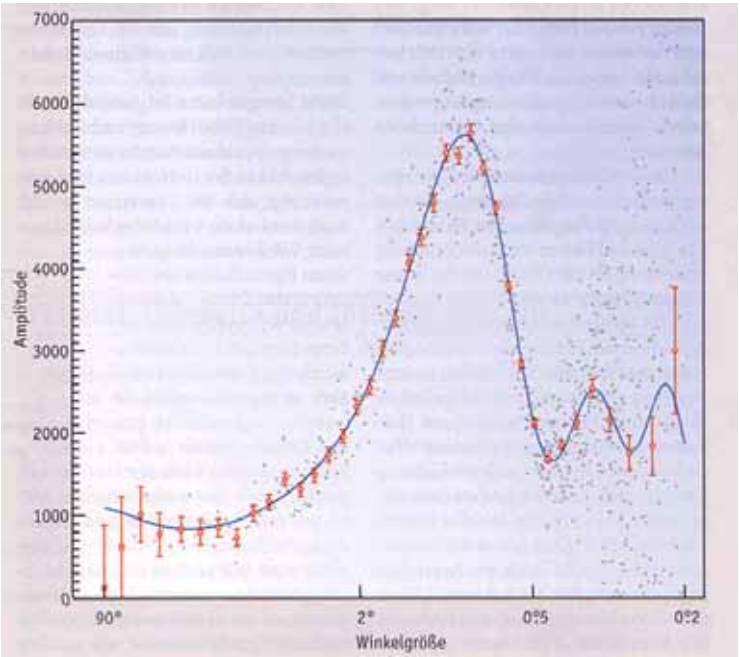


Abb. 7: Das Leistungsspektrum der Hintergrundstrahlung.

Mit der Entkopplung und der Bildung neutraler Atome wurde das Muster der Schallwellen im Strahlungshintergrund gleichsam eingefroren. Abb. 7 zeigt das mit WMAP gemessene Leistungsspektrum der Temperaturfluktuationen (ΔT^2) in Abhängigkeit vom Winkelintervall unter dem die Messung erfolgte. Punkte zeigen die Meßdaten, offene Kreise die abschnittsweise gemittelten Daten.

Die größte schwingende Plasmawolke wurde zum Zeitpunkt der Entkopplung von einer Schallwelle durchlaufen. Diese Grundwelle entspricht dem ausgeprägten Maximum unter rund einem Grad im Leistungsspektrum. Nachfolgende kleinere Maxima repräsentieren Obertöne, die sich Schwingungen kleinerer Plasmawolken zuordnen lassen.

Der Winkel, unter dem das Maximum der Temperaturschwankungen erscheint, wird durch die Geometrie des Universums beeinflußt. Der gemessene Wert entspricht k = 0. Die genaue Analyse ergibt $\Omega_{tot} = \Omega_m + \Omega_\lambda = 1{,}02 \pm 0{,}02$, d.h. das Universum ist räumlich flach.

Mit der Entkopplung schwand auch der Strahlungsdruck, der ein Fortschreiten der Verdichtungen und damit Zusammenballungen der Materie verhinderte. Erst danach konnten sich unter der Wirkung der Schwerkraft in den verdichteten Regionen, Sterne und Galaxien bilden. Die allein durch baryonische Materie ausgeübte Schwerkraft reichte jedoch nicht aus, um in der bisher verflossenen Zeit (z = 1100) die heute unser Universum dominierenden Strukturen zu bilden. Sie hätte lediglich zu Verdichtungen im Prozentbereich geführt. Der Kosmos wäre auch heute noch nahezu gleichförmig. Erst ein dominierender Anteil dunkler Materie, die an den Wechselwirkungen im Plasma unbeteiligt war, konnte zu klumpenden Zentren führen, in denen sich die sichtbaren Strukturen bildeten.

Das Friedmann-Modell des Kosmos erforderte zwei Parameter: den Dichteparameter Ω_m und die Hubble-Konstante H_0. Um jedoch die Meßdaten von WMAP durch ein kosmologisches Modell zu beschreiben, sind mindestens sechs Parameter erforderlich: H, Ω_b, Ω_{dm}, Ω_k, zwei Parameter zur Beschreibung der Amplitude der Fluktuationen und die sogenannte optische Tiefe, die ausdrückt, wann die Sternenstehung begann.

- Die Anpassung der Meßdaten erfolgt also durch ein kosmologisches Modell mit folgenden Eigenschaften:
- flach (k = 0)
- homogen und isotrop über große Distanzen
- erfüllt von Strahlung
- $\Omega_m > 0$ und $\Omega_\lambda > 0$
- Ursprung der Hintergrundstrahlung sind skalenvariante adiabatische Dichtefluktuation

$\Omega_b \approx 0{,}04$
$\Omega_{dm} \approx 0{,}26$
$\Omega_\lambda \approx 0{,}70$
$H_0 \approx 70\ km\ s^{-1}\ Mpc^{-1}$
$\Omega_k = 0$
$t_{alt} \approx 14 \cdot 10^9\ Jahre$

Dieses sogenannte ΛCDM-Modell wird heute von den meisten Kosmologen akzeptiert. Abbildung 8 zeigt eine Gegenüberstellung unterschiedlicher Meßdaten und die durch Anpassung an die Messungen gewonnenen Schlüsselparameter.

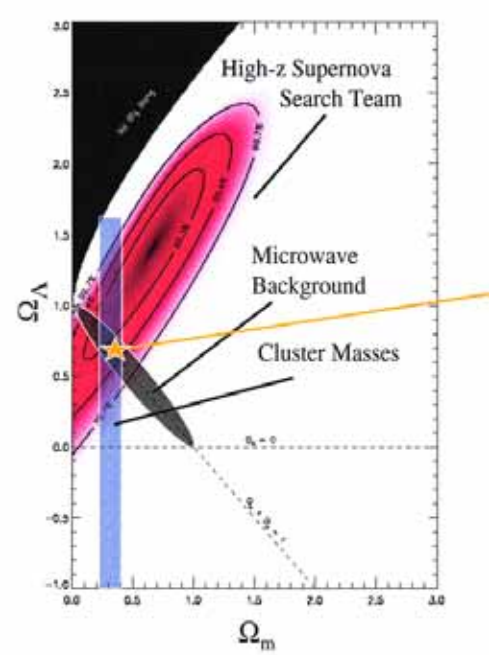


Abb. 8: Meßdaten und die daraus gewonnenen Parameter des ΛCDM-Modells.

Es sei jedoch betont: Diese Schlüsselparameter hängen von den Meßdaten *und* von der Parameterwahl ab. Denkbar wäre auch, daß fundamentale Naturkonstanten wie die Gravitationskonstante oder die Feinstrukturkonstante variieren.

Die Bilanz des erreichten Erkenntnisstandes überlasse ich zwei der prominentesten Kosmologen:

Die vorstehende Wertung in Tabellenform formulierte James Peebles, einer der Senioren der Kosmologie.[5]

Auf den letzten Punkt der Zensuren, den er mit mangelhaft bewertet, bin ich nicht eingegangen. In den inflationären Modellen wird eine exponentielle Expansion des Universums postuliert im Zeitintervall zwischen 10^{-35} und 10^{-33} Sekunden nach dem Urknall.

David Spergel leitet die Gruppe der Kosmologen, welche die Daten des Satelliten WMAP analisierte. In einem Interview sagte er:

„Was als Schwäche des Modells geradezu aufschreit, ist die Dunkle Energie und vielleicht auch die Dunkle Materie. Das Modell ist einfach, und es gibt die Beobachtungen gut wieder. Doch es enthält diese zwei Zutaten, die wir erfunden haben, genauso wie die Astronomen der Antike Epizyklen eingeführt haben, um die Planetenbewegung zu beschreiben. Dieser Teil des Modells wird scheitern.“[6]

Es vergingen mehr als 1000 Jahre bis die Epizyklen des Ptolemäus durch das heliozentrische Weltbild des Kopernikus ersetzt wurde. Vielleicht können wir, angesichts des gegenwärtigen Entwicklungstempos der Naturwissenschaften, eine Lösung der Probleme bis zum hundertsten Jahrestag des Einsteinschen Klassenvortrages (2017) erwarten.

5 Peebles, J. Spektrum der Wissenschaft 3 (2001) S. 40.
6 Spergel, D. Sterne und Weltraum, November 2004. S. 28.

Horst-Heino von Borzeszkowski

Einsteins Arbeiten zur unitären Feldtherie in der Berliner Zeit (Zusammenfasung)[1]

Über „Albert Einstein in Berlin“ sprechen kann wissenschaftlich gesehen nur heißen, vornehmlich die letzte Etappe der Begründung der Allgemeinen Relativitätstheorie und die ersten Versuche zu deren Weiterentwicklung zu diskutieren. Diese Diskussion zeigt, daß Einstein die von ihm am 25. November 1915 vorgelegte Allgemeine Relativitätstheorie, da er sie als Prinziptheorie, also als eine allgemeine physikalische Prinzipien setzende Theorie ansah, nicht für vollendet halten konnte. Nach Einsteins Ansicht mußte die Allgemeine Relativitätstheorie bei all ihrem physikalischen Erfolg und ihrer mathematischen Schönheit verallgemeinert werden. So entstanden in den Berliner Jahren nicht nur die wichtigsten Arbeiten zur Allgemeinen Relativitätstheorie, sondern auch die ersten Ansätze zur sogenannten unitären Feldtheorie, die Einstein dann, von den Nazis aus Deutschland vertrieben, im amerikanischen Exil weiter ausarbeitete.

Nach einigen Bemerkungen zur Allgemeinen Relativitätstheorie werden diese Ansätze besprochen. Dabei stütze ich mich auf zwei Arbeiten von Herrn Treder und mir. Die erste wurde aus Anlaß des 100. Geburtstages Albert Einsteins im Jahre 1979 verfaßt, die zweite erschien 2004 und ist das Resultat unserer aktuellen Untersuchungen zur relativistischen Gravitationstheorie.

---

1 Ein ausführlicher Beitrag des Autors zu dieser Thematik erscheint demnächst in den Sitzungsberichten der Leibniz-Sozietät.

Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät *78/79(2005), 63–67*

Dierck-E. Liebscher

Die Relativitätstheorie als Lösung des Fresnelschen Paradoxons

Es wird daran erinnert, dass der Michelson-Versuch erst nach der Konstruktion der Relativitätstheorie seine endgültige Deutung gefunden hat und dass zunächst ein fast vergessener Schluss gezogen wurde.

Wir sind uns alle einig, dass es die Leistung der Relativitätstheorie ist, das hypothetische Medium der Lichtausbreitung, den Äther, aus der Theorie eliminiert zu haben. Es bleibt aber im allgemeinen im Hintergrund, weshalb die Hypothese des Äthers überhaupt notwendig war. Dieser Grund war nicht eine einfach dem Zeitgeist oder dem eingeschränkten Anschauungsbereich geschuldete mechanistische Interpretation der Lichtwelle, sondern reflektiert die Notwendigkeit, die Aberration im Wellenbild zu erklären. Während Young ohne weiteres das Strömungsbild für die Welle im Teleskop unterstellte, sah Fresnel das Paradoxon: Die Wellennormalen zeigen bei Galilei-Transformationen keine Aberration, weil die Bestimmung der Normalen von einer Bewegung des Bestimmenden völlig unabhängig ist [1].

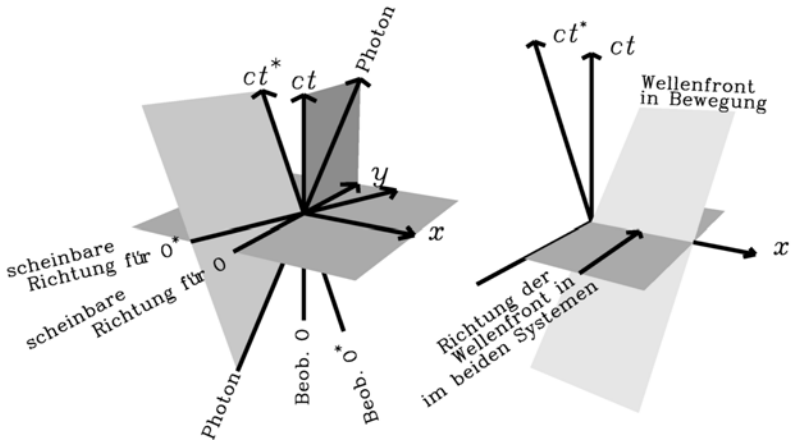


Abb. 1

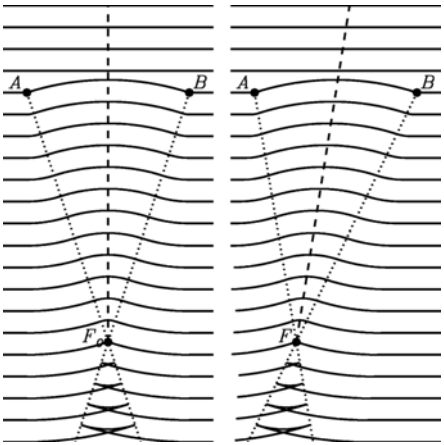


Abb. 2

Die Aberration war bereits sowohl als Nachweis der Bahnbewegung der Erde als auch als Nachweis der von Newton vermuteten Teilchennatur des Lichts gefeiert worden. Um so ärgerlicher war es, dass die Wellenfronten paradoxerweise keine Aberration zeigten (Abb. 1). Fresnel war gezwungen, ein Medium zu unterstellen, damit die Interferenzfigur des von der Aperturblende ausgeschnittenen Teils so verschoben werden kann, dass das im Teleskop entstehende Bild die bereits gefundene Aberration wirklich zeigt (Abb. 2). Dazu muss es nicht nur ein Medium geben, es muss auch nach Passieren der Wände des Teleskops sich wie außerhalb des Teleskops bewegen, die effektive Mitführung muss verschwinden. Das fand man zu Fresnels Zeiten schon schwer zu schlucken, aber es schien keinen anderen überzeugenden Ausweg zu geben. Es war Michelson mit der von ihm beherrschten Interferometrie, der als erster versuchen konnte, einen Effekt dieser freien Ätherströmung zu messen [4]. Er fand nichts zur Beruhigung aller, die eine Mitführung des Äthers ohnehin erwarteten, und zur Beunruhigung derer, die das Aberrationsparadoxon noch nicht vergessen hatten. Lorentz und Drude untersuchten wieder direkt die Frage der Aberration der Wellenfronten selbst. Sie kamen bereits zu dem Schluss, dass es eine (für sie fiktive und von ihnen lokal genannte) Zeit geben muss, die bei der Beobachtung von Wellenfronten eine Rolle spielen muss ([2], [3]). Diese fiktive Zeit ist eine Funktion des Ortes und kann so die Richtungsänderung einer Wellenfront darstellen. Diese fiktive Zeit war aber eine ebenso merkwürdige Konstruktion wie der Äther selbst.

Einstein wurde vermutlich nicht von dieser Diskussion angeregt, sondern von der schlichten Vorstellung, dass man Licht nicht sollte abbremsen können, dass am bewegten Spiegel die Differenz der Geschwindigkeiten von Spiegel und Licht keine Rolle spielt [5]. Ausgehend von der Konstanz (d.h. der Unveränderlichkeit bei Zusammensetzungen mit anderen Geschwindigkeiten, nicht etwa der Unveränderlichkeit in Zeit und Raum) erhält man geometrische Verhältnisse in der Raum-Zeit, die von den in der klassischen Mechanik entsprechend unseren wohlbegründeten Vorurteilen abweichen. Die Relativitätstheorie übertrug die dadurch festgelegte Bewegungsgruppe auf die Mechanik. Sie löste damit auch das Fresnelsche Paxadoxon. Die von Lorentz und Drude gefundene formale Zeit wurde nun zur einzigen erfahrbaren und realen Zeit. Das Merkwürdige ist, dass diese Relativität der Gleichzeitigkeit notwendig aus der Forderung folgt, dass Wellenfronten die gleiche Aberration zeigen wie ein Teilchenstrom (Abb. 3), wenn verwendet werden kann, dass die Substitutionen der Inertialsysteme eine Gruppe bilden. In dem Maße wie nun die Aberration eines Photonenstroms mit der einer Wellenfront übereinstimmt, wird die Fresnelsche Ausrede eines Mediums, das von Materie nicht gebremst und mitgenommen wird, überflüssig. Die Relativität der Gleichzeitigkeit wird in der Folge zur Grundlage aller kinematischen Merkwürdigkeiten, die die alltägliche Erfahrung so sehr herausfordern.

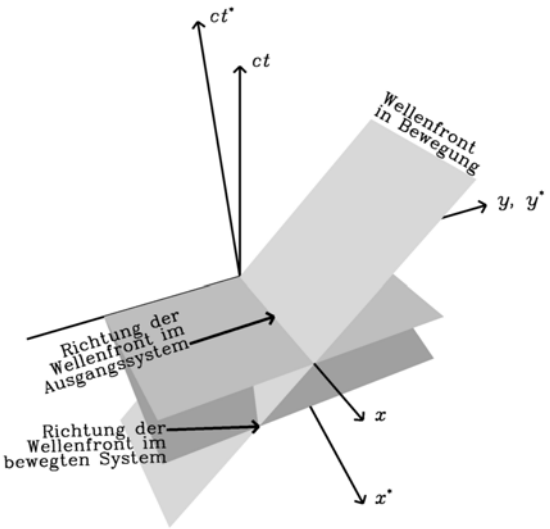


Abb. 3

Die Aberration, so prinzipiell geometrisch ihre Fragestellung auch ist, spielt in der praktischen Physik nur eine untergeordnete Rolle. Dessen ungeachtet oder vielleicht gerade deswegen halten sich noch heute viele Missverständnisse auch in der referierten Literatur. Der Hauptpunkt ist immer das Argument, es gebe keine Abhängigkeit der Aberration von der Geschwindigkeit der Lichtquelle, obwohl doch „alles nur von der Relativgeschwindigkeit abhängen“ dürfe. Die Antwort ist einfach: Aberration ist ein Effekt zwischen zwei gegeneinander bewegten Beobachtern (Inertialsystemen), und nur von deren Relativgeschwindigkeit hängt der Effekt ab. Beobachtet wird das Ereignis, zu dem die Weltlinie der Lichtquelle den Vorkegel des Beobachters durchsucht (Abb. 4).

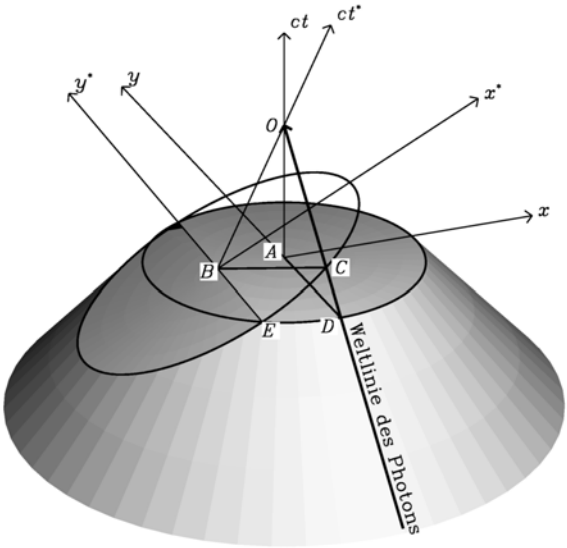


Abb. 4

Literatur

[l] Fresnel, A.: Lettre a son frere Leonor, 4. Juillet 1814. Oeuvres completes 2 (1814), 820-824. Paris, Imprimerie imperiale 1868. Ders.: Sur l’influence du mouvement de terre dans quelques phenomenes d’optique. Oeuvres completes 2 (1818), 627. Paris, Imprimerie imperiale 1868.

[2] Lorentz, H.A.: Simplified theory of electromagnetic and optic phenomena in moving systems. Proc. Kon. Ned. Akad. Weten. 1 (1899), 427.

[3] Drude, P.: Lehrbuch der Optik. Hirzel, Leipzig (1900).
[4] Michelson, A. A.: The relative motion of the earth and the luminiferous aether. Amer. J. Science (3) 22 (1881), 120–129. Michelson, A. A.; Morley, E. W.: Influence of motion of the medium on the velocity of light. Amer. J. Science (3) 31 (1886), 377–386.
[5] Einstein, A.: Zur Elektrodynamik bewegter Körper. Ann. d. Phys. (Leipzig) 17 (1905), 891-921. Ders.: Ist die Trägheit eines Körpers von seinem Energieinhalt abhängig? Ann. d. Phys. (Leipzig) 18 (1905), 639–641.
[6] Born, M.: Die Relativitätstheorie Einsteins. 4. Aufl., Springer, Berlin (1964).
[7] Liebscher, D.-E.: Einsteins Relativitätstheorie und die Geometrien der Ebene. Teubner, Leipzig (1999). Ders.: La geometria del tempo. Bibliopolis, Napoli (2001). Ders.: The Geometry of Time. Wiley-VCH, Berlin (2005).

Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät *78/79(2005), 69–79*

Heinz Kautzleben

Die Geophysik und Albert Einstein[1]

Die relativistische Theorie von Raum, Zeit und Bewegung, die Albert Einstein 1905 in Bern begründet [1] und in den Grundlagen 1916 in Berlin vollendet [2] hat, steht im Ruf, verglichen mit der klassischen Theorie außerordentlich abstrakt zu sein und der Intuition zu widersprechen. Tatsächlich ist der erforderliche mathematische Apparat recht kompliziert; zudem sind die Effekte, die von der Einsteinschen Theorie beschrieben werden, zumeist sehr klein. In der Geophysik müssen relativistische Effekte in einigen Meßverfahren bei hohen Anforderungen an die Meßgenauigkeit beachtet werden, aber auch bei der Betrachtung von Veränderungen über sehr große Zeiträume. In der operativen globalen Ortsbestimmung und im globalen Uhrenvergleich unter Nutzung von künstlichen Erdsatelliten können die geforderten Genauigkeiten ohne relativistische Betrachtung nicht erreicht werden, obwohl die Bedingungen nicht extrem sind. Dieses Verfahren ist in Form des „Global Positioning System" (GPS) heute über die wissenschaftliche Forschung hinaus im Alltagsleben eminent wichtig geworden. Es ist eines der wenigen praktischen Beispiele, bei denen man die Einsteinsche Theorie veranschaulichen und ohne Verwendung von Spekulationen vorstellen kann.[2]

Eine allgemein verwendete Definition besagt, daß die Physik sich mit den Erscheinungen in der objektiven Natur befaßt, die experimentell erfaßt und mathematisch beschrieben werden können, und daß sie den Anspruch erhebt, universell gültig zu sein. Die Physik strebt danach, ein einheitliches, in sich geschlossenes und in sich widerspruchsfreies System zu bilden. Die Ergebnisse der Physik sind Artefakten, die funktionieren. Sie spiegeln die objektive

1 Vollständige Fassung des Vortrages zum Einstein-Kolloquium am 17. März 2005. Dem interdisziplinären Charakter dieser Veranstaltung entsprechend wird auf die Verwendung von mathematischen Formeln (bis auf eine) verzichtet.

2 Im vorliegenden Band wird ein Bericht von Prof. Dr. Horst Montag speziell zu den relativistischen Effekten in der Satelliten- bzw. Raumgeodäsie abgedruckt, der nach dem Einstein-Kolloquium der Leibniz-Sozietät eingereicht wurde.

Natur bis auf Abweichungen wider, die im Rahmen der Physik als vernachlässigbar betrachtet werden.

Die Geophysik ist keine einfache Anwendung der Physik. Im allgemeinsten Sinne verstanden, verfolgt die Geophysik (einschließlich der Geodäsie) das Ziel, durch die Anwendung physikalischer Methoden geowissenschaftliche Fragestellungen zu lösen. Diese sind dadurch charakterisiert, daß sie durch die sinnlichen Wahrnehmungen des Menschen ausgelöst und bestimmt werden. Die Ergebnisse der wissenschaftlichen Untersuchungen müssen folglich auch in den aus dem Alltag gewohnten Begriffen dargestellt werden. Die Erkenntnisse des Menschen über seine Umwelt sind einfacher als die Natur. Das gilt besonders für die Erkenntnisse, die mit physikalischen Methoden gewonnen werden. Die Geophysik liefert physikalische Modelle für die Natur. Diese sagen etwas über das Wesen der Natur aus, stellen aber die Natur nicht vollständig dar. Die Modelle könnte man als Skelett der Naturerscheinung auffassen. In der Geophysik hat es sich bewährt zu unterscheiden zwischen den Modellen, mit denen die interessierende Erscheinung erklärt werden soll, und den Modellen, die für die Messungen benötigt werden. Man spricht dann von der „Interpretationstheorie“ bzw. der „Beobachtungstheorie“. Die Ergebnisse dieser beiden Modellbetrachtungen müssen aufeinander abgestimmt werden, was nicht selten Kompromisse zwischen den speziellen Voraussetzungen für die Modellbildung erfordert. Die Einsteinsche Theorie wird vor allem in der Beobachtungstheorie benötigt. Wie alle physikalischen Modelle müssen auch die geophysikalischen Modelle in sich widerspruchsfrei sein. Sie müssen den modernsten Erkenntnissen der Physik genügen. Die Geophysik versteht sich jedoch auch als Testgebiet für die Entwicklung der Physik.

Die Geophysik befaßt sich mit einem konkreten Naturobjekt: der Erde als dem Lebensraum der Menschheit. Sein Kennzeichen ist die hohe Komplexität, die nur durch permanente Beobachtung annähernd erfaßt werden kann. Vom Standpunkt der Physik aus betrachtet, ist die Erde der Ausschnitt aus dem Kosmos, der dem Menschen am nächsten ist, also dimensionsmäßig ein Mesokosmos. Er kann als relativ selbständig gegenüber dem Makro- und dem Mikrokosmos betrachtet werden. Es gibt (unendlich) viele Mesokosmen, aber nur eine Erde. Bei den geophysikalischen Untersuchungen werden auch die Einflüsse aus dem Makro- bzw. dem Mikrokosmos berücksichtigt, soweit sie für das Verständnis des Mesokosmos wesentlich sind. In der klassischen Newtonschen Theorie wird der Einfluß der Massen im Kosmos insgesamt auf die Bewegung materieller Körper im Mesokosmos mit dem Begriff Trägheit

auf eine sehr elegante und praktikable Weise beschrieben. Die Einsteinsche Theorie leistet einiges mehr, ist aber auch wesentlich komplizierter.

Eine der größten Leistungen Albert Einsteins aus der Sicht des Geophysikers ist, daß er die Einheit von Newtonscher Mechanik und Maxwellscher Elektrodynamik herstellen konnte. Der Grundwiderspruch zwischen diesen beiden klassischen Gebieten der Physik, die beide durch die Alltagserfahrung vollauf bestätigt sind, besteht darin, daß es in der Maxwellschen Theorie eine universell gültige Maximalgeschwindigkeit gibt: die Lichtgeschwindigkeit, während in der Newtonschen Mechanik zugelassen wird, daß sich Wirkungen und Informationen unendlich schnell ausbreiten. Einstein konnte den Widerspruch dadurch auflösen, daß er konsequent das „Relativitätsprinzip" anwendete, wonach die Physik nicht vom Bezugssystem, in dem die physikalischen Phänomene beschrieben werden, abhängig sein darf. Er folgerte daraus: Wenn die physikalischen Gesetze universell gelten sollen, können die Parameter, die in diesen Gesetzen die Abhängigkeit von Raum und Zeit beschreiben, nicht a priori gegeben und voneinander unabhängig sein, wie es die Alltagserfahrung nahelegt. Die Folgerungen würden sich allerdings erst bei sehr genauen Betrachtungen und/oder unter extremen physikalischen Bedingungen bemerkbar machen.

Die Verbindung von Mechanik und Elektrodynamik gelang Einstein vom physikalischen Ansatz her bereits 1905 mit der Formulierung seiner speziellen Relativitätstheorie (SRT). Sie ergibt sich aus der Forderung, daß die Lichtgeschwindigkeit in der gesamten Physik die universelle maximale Geschwindigkeit ist. (Es versteht sich von selbst, daß vor der Verbindung der beiden Gebiete die physikalischen Begriffe und die mathematischen Apparate vergleichbar zu machen waren. Das betrifft vor allem die Newtonsche Mechanik, sie muß als Feldtheorie geschrieben werden.) Die SRT eröffnete ein neues Verständnis für die Begriffe der klassischen Physik, zeigte unerwartete Beziehungen zwischen ihnen und zeigte den Weg zur Ausarbeitung des mathematischen Apparates für die konkrete Anwendung der Theorie. Die SRT ist im Grunde genommen in die gesamte moderne Physik eingedrungen, die Schlußfolgerungen aus ihr sind allseitig durch die Erfahrung bestätigt worden.

Als Beispiel für die Anwendung der SRT bei der Ausarbeitung der geophysikalischen Interpretationstheorien sei hier erwähnt, daß die SRT die theoretisch einwandfreie Begründung der kosmischen Elektrodynamik ermöglicht. Aus dieser ergibt sich als Näherungstheorie die Magnetohydrodynamik, durch deren Anwendung die Entstehung des Erdmagnetfeldes und noch vieles andere gedeutet werden kann.

Die Einbeziehung der Gravitation in die relativistische Theorie gelang Einstein 1916 mit der Formulierung der allgemeinen Relativitätstheorie (ART). Ihre Hauptideen kann man nicht anzweifeln: die Abhängigkeit zwischen den geometrischen Eigenschaften von Raum und Zeit einerseits und der Verteilung und Bewegung der Massen andererseits – auch nicht, daß sich daraus eine vollständigere, allerdings geometrische Beschreibung der Gravitationserscheinungen ergibt. Vom mathematischen Standpunkt aus ist die ART eine umfassende Verallgemeinerung der SRT. Die ART von 1916 beginnt mit schwachen Gravitationsfeldern. Das globale Gravitationsfeld mit deutlich inhomogenen Bereichen wird als kontinuierliche Aneinanderreihung von lokalen Gravitationsfeldern betrachtet, die jeweils so schwach sind, daß in ihnen die SRT in guter Näherung noch angewendet werden kann. Die Ableitung der allgemeinen Theorie und mehr noch ihre Erweiterung erfordern Annahmen, die nur gerechtfertigt sind, wenn die Schlußfolgerungen aus der Theorie durch Experimente bestätigt werden. Bisher sind nur wenige Möglichkeiten dafür bekannt.

Der Einstieg in die Einsteinsche Theorie erfordert, daß die Alltagsbegriffe Raum und Zeit mathematisch exakt definiert werden: „Raum“ als dreidimensionale Mannigfaltigkeit der Ortskoordinaten, „Zeit“ als eindimensionale Mannigfaltigkeit der Zeitangaben. Die Verbindung zur „Raum-Zeit“ oder „Welt“ ist dann eine vierdimensionale Mannigfaltigkeit. Die Metrik der Mannigfaltigkeit bestimmt die Transformationsbeziehungen zwischen den Bezugssystemen für die anwendungsbezogene Darstellung der physikalischen Gesetze. Die mathematische Ausarbeitung der Einsteinschen Ideen erfordert den Einsatz der Tensoranalysis auf der vierdimensionalen Raum-Zeit. Durch die Verwendung von Tensoren können die physikalischen Gesetze in eine mathematische Form gebracht werden, die vom vierdimensionalen Bezugssystem unabhängig ist. Aus den Transformationseigenschaften der Tensoren ergeben sich dann die gewünschten Aussagen zur Metrik.

Die üblichen Bezeichnungen „spezielle und allgemeine Relativitätstheorie“ erschweren das Verständnis dessen, was Einstein erreicht hat, und die weitere Anwendung der Theorie. Um an Hand einer modernen Darstellung ein tiefergehendes Verständnis zu erreichen, sind z.B. die „Reflections on Relativity“ empfehlenswert, die im Internet frei zugänglich eingesehen werden können [3]. Als Einführung in die Relativitätstheorie mit Betonung der Anwendungen kann die Vorlesungsreihe „Applied Relativity“ von Richard J. Jacob empfohlen werden, die im Internet ebenfalls frei zugänglich zu finden ist [4]. Eine sehr schöne Darstellung der Einsteinschen Theorie aus der Sicht

des Geodäten haben 1993 Helmut Moritz und Bernhard Hofmann-Wellenhof mit ihrem Buch „Geometry, Relativity, Geodesy“ publiziert [5]. Für die Anwendung der relativistischen Betrachtung in der Geophysik ist es zumeist ausreichend, die Grundgedanken der Theorie verstanden zu haben.

Worauf es bei der Anwendung der Relativitätstheorie in der Geophysik ankommt, kann man schnell am Prinzip des Verfahrens zur globalen operativen Ortsbestimmung und Zeitübertragung vorstellen, das seit einigen Jahren von den Militärs der USA in ihrem „Global Positioning System“ (GPS) praktisch realisiert worden ist. Ausführliche Darstellungen zu diesem Verfahren haben in letzter Zeit im Internet Neil Ashby [6] und Mikkjal Gulklett [7] publiziert. Ashby war maßgeblich an der Entwicklung des GPS beteiligt. Die Darstellung von Gulklett ist eine Dissertation, in der über das GPS hinaus auch die relativistischen Effekte bei der Verwendung von niedrig fliegenden Erdsatelliten untersucht werden. Ein ähnliches System wie das GPS wurde auch in der ehemaligen Sowjetunion mit der Bezeichnung „Glonass“ entwickelt. In der Europäischen Union wird seit kurzem ein gleichartiges System mit dem Namen „Galileo“ entwickelt.

Das Global Positioning System (GPS) ermöglicht einem Nutzer an einem beliebigen Punkt der Erdoberfläche (im folgenden „Nutzerort“ genannt), die drei Ortskoordinaten in bezug auf ein global definiertes erdzentriertes und erdfestes Bezugssystem operativ zu bestimmen. Operativ heißt hier: es sind keine Anschlußmessungen zu benachbarten Bezugspunkten, deren Koordinaten im genannten globalen System bekannt sind, erforderlich. Das Bezugssystem wird durch die Umlaufbahnen von im Schwerefeld der Erde frei fliegenden künstlichen Erdsatelliten (im folgenden kurz „Satellit“) realisiert. Die Umlaufbahnen der Satelliten werden vom Betreiber des Systems mit Hilfe der Himmelsmechanik berechnet; die Bahndaten („Ephemeriden“) sind dem Nutzer jederzeit verfügbar. Alle Satelliten des Systems tragen Cäsium-Uhren und senden laufend Zeitsignale aus, d.h. elektromagnetische Wellen, denen die Sendezeit aufgeprägt ist. Wenn der Nutzer zeitgleich die Signale von (zumindest) vier Satelliten empfangen kann, hat er alle Daten zusammen, um die Koordinaten $\mathbf{r}$ des Nutzerortes im globalen System und zugleich den Wert t der global gültigen Zeit zu berechnen.

Zur Berechnung wird entsprechend der Einsteinschen Theorie vorausgesetzt, daß sich die Zeitsignale von allen Satelliten aus mit einer Geschwindigkeit c ausbreiten, die unabhängig von der Lage und Bewegung der Satelliten und des Nutzerortes auf der Erdoberfläche und jeweils in allen Richtungen gleich ist. Die Laufzeit $t_i - t$ des Zeitsignals, das vom i-ten Satelliten zum

Zeitpunkt t_i ausgesandt wird, wenn er sich auf seiner Umlaufbahn am Ort $\mathbf{r}_i$ befindet, entspricht dann dem Abstand $/\mathbf{r}_i - \mathbf{r}/$ zwischen diesem Satelliten und dem Beobachterort. Zu lösen sind die vier Gleichungen:

$$c^2 (t_i - t)^2 = /\mathbf{r}_i - \mathbf{r}/^2 \quad (i = 1, 2, 3, 4) \tag{1}$$

für die vier unbekannten Größen $\mathbf{r}$ und t.

Das Verfahren arbeitet im Genauigkeitsbereich von Nanosekunden. Die Gangstabilität der verwendeten Cäsium-Uhren beträgt etwa $5 \cdot 10^{-14}$ pro Tag, d.h. also etwa 5 ns pro Tag. Einem Fehler in der Zeitbestimmung von 1 ns entspricht ein Fehler in der Bestimmung des Abstandes von 30 cm.

Die Nutzer des GPS erwarten, daß die Ergebnisse des Verfahrens mit den gewohnten Vorstellungen vom Bezugssystem für die Ortskoordinaten und von den Zeitangaben korrespondieren, und akzeptieren lediglich, daß durch das Verfahren die Genauigkeit der gewohnten Angaben erhöht wird. Das Verfahren funktioniert bereits in der Newtonschen Näherung, wenn auch die Ergebnisse deutlich weniger genau sind. Um die physikalisch korrekten Ergebnisse des Verfahrens in Daten der gewohnten Form zu transformieren, werden geeignete Reduktionen angebracht. Ein solches Vorgehen ist möglich, weil man in der relativistischen Betrachtung des Problems Lösungen für Konfigurationen verwenden kann, die der praktischen Situation sehr nahe sind.

Die zentrale Frage ist, was die einzelnen Uhren im System anzeigen und wie man diese Angaben korrekt miteinander in Verbindung bringt. Alle Uhren im System sollen in technischer Hinsicht völlig gleichartig sein, am selben Aufstellungsort gleich gehen und dieselbe Zeit anzeigen; sie können als ideale Uhren angesehen werden. Im Rahmen eines nicht-relativistischen Modells wird die Zeitablesung auf allen Uhren als absolute Zeit aufgefaßt, d.h. es wird angenommen, daß die Uhren unabhängig von ihrem Aufstellungsort und dessen Bewegung gleich gehen. Diese Annahme wird im Rahmen eines relativistischen Modells aufgegeben. Um dann die gewohnten geometrischen Informationen aus dem Uhrenvergleich ableiten zu können, müssen die Uhrenanzeigen auf eine übergeordnete Zeitskala transformiert werden. Die übergeordnete Zeitskala wird als Koordinatenzeit bezeichnet, die Zeitanzeige jeder idealen Uhr als Eigenzeit. Offensichtlich ist, daß sich die an der Aufgabe beteiligten fünf Uhren – im Beobachterort und in den vier Satelliten – in fünf verschiedenen Bezugssystemen befinden, die sich gegenüber einem Inertialsystem mit raumfesten Achsen und relativ zu einander beschleunigt bewegen. Die Beschleunigungen werden durch das Schwerefeld der Erde und durch die Rotation der Erde um ihre eigene Achse bedingt.

Zur Beschreibung der geometrischen und physikalischen Verhältnisse müssen die folgenden Aufgaben gelöst werden: Wir brauchen eine Beschreibung für das Schwerefeld, das von der Erde erzeugt wird, im Außenraum der Erde, müssen die Bewegungen der Satelliten, die als punktförmige Massen aufgefaßt werden, in diesem Schwerefeld bestimmen, den Einfluß des Schwerefeldes auf die Anzeigen der Uhren im Satelliten bzw. im Beobachterort erfassen, und schließlich müssen wir bestimmen, wie die Anzeigen aller einzubeziehenden Uhren vom Nutzer aus gesehen werden.

Im Rahmen der klassischen Theorie können wir diese Aufgaben, soweit sie überhaupt relevant sind, nacheinander behandeln. Die Beschreibung des Schwerefeldes im dreidimensionalen Euklidischen Raum erhalten wir als Lösung der Poissonschen Differentialgleichung für das Gravitationspotential in Form eines funktionalen Zusammenhanges zwischen dem Gravitationspotential und der Massendichte des gravitierenden Körpers (der Erde). Anschließend bestimmen wir die Bahnen der Satelliten als Lösung der Newtonschen Bewegungsgleichung für einen frei fliegenden Testkörper im Schwerefeld der Erde. Im Rahmen der allgemeinen Relativitätstheorie sind die oben genannten Aufgaben derart eng miteinander verknüpft, daß man sie „in einem Guß“ behandeln muß.

Die relativistische Theorie setzt die klassische Theorie keineswegs außer Kraft – im Gegenteil, wir können sie als deren Ergänzung und Verallgemeinerung für die Beschreibung der physikalischen Verhältnisse in der vierdimensionalen Raum-Zeit auffassen. Die relativistische Theorie beschreibt die Auswirkungen des Schwerefeldes der Erde auf die Metrik der Raum-Zeit außerhalb der Erde und weiter die Auswirkungen der veränderten Metrik auf die Bewegung von Testkörpern, die Ausbreitung des Lichtes sowie den Gang der Uhren. Man kann das Schwerefeld als Wirkung der Erdmasse auf klassische Weise mit hoher Genauigkeit berechnen. Gesucht werden dem Problem angepaßte Lösungen der Einsteinschen Gleichungen für den Metrik-Tensor der vierdimensionalen Raum-Zeit. Der Vergleich mit der Newtonschen Theorie zeigt, daß man die Einsteinschen Gleichungen als Verallgemeinerung der Poissonschen Gleichung auffassen kann. An die Stelle des Gravitationsfeldes tritt der Metrik-Tensor der Raum-Zeit. Mit der Massendichte als Quelle des Gravitationsfeldes korrespondiert der Energie-Impuls-Tensor (zu dem sämtliche Energieformen) beitragen können. Als Verallgemeinerung der Newtonschen Bewegungsgleichung kann man die Differentialgleichung einer geodätischen Linie in der Raum-Zeit auffassen. Die Einsteinschen Gleichungen stellen ein nichtlineares, gekoppeltes System partieller Differentialglei-

chungen dar. Die Feldgleichungen sind nicht unabhängig voneinander, so daß die Struktur der Raum-Zeit-Metrik nicht eindeutig bestimmt werden kann. Es verbleiben noch vier Freiheitsgrade, über die mit Hilfe geeigneter Bestimmungsgleichungen für die Koordinaten verfügt werden kann. Für astronomische und geophysikalische Anwendungen ist die sogenannte isotrope Eichung der räumlichen Koordinaten angebracht.

Für die Einsteinschen Gleichungen existiert nur in Ausnahmefällen eine exakte Lösung. Als erster hat Schwarzschild 1916 eine solche gefunden, und zwar für ein zeitunabhängiges zentralsymmetrisches Gravitationsfeld, das von einer kugelsymmetrischen Massenverteilung innerhalb einer Kugel mit dem Radius r_0 erzeugt wird, mit wachsender Entfernung von dieser Kugel zunehmend schwächer wird und in unendlicher Entfernung verschwindet. Die Lösung hat als Orientierung und auch darüber hinaus größte Bedeutung für viele astronomische Fragestellungen (die Vorgänge im Gravitationsfeld einzelner Sterne weitab von den übrigen) und ebenso für das hier behandelte geodätisch-geophysikalische Problem der globalen Orts- und Zeitbestimmung. Die Schwarzschildsche Lösung wird in allen Lehrbüchern der allgemeinen Relativitätstheorie behandelt. Sie bestätigt in mathematisch exakter Form die von Einstein auf Grund von Näherungsrechnungen vorausgesagten Abweichungen von der Newtonschen Theorie: die Ablenkung der Lichtstrahlen im Gravitationsfeld, die Periheldrehung der Umlaufbahn eines Massenpunktes um den gravitierenden Körper und der Einfluß des Gravitationspotentials auf die Frequenz eines periodischen Vorganges (kurz: Uhr).

In den meisten Fällen müssen Näherungslösungen gefunden und verwendet werden, die dem jeweiligen physikalischen Problem angepaßt sind. In der Näherungstheorie wird die Größenordnung der Beiträge, bezogen auf die Lichtgeschwindigkeit, den Termen der Newtonschen Raum-Zeit gegenübergestellt. Die Koordinatengeschwindigkeiten der betrachteten Testkörper und der Quellen des Gravitationsfeldes werden als kleine Größen gegenüber der Lichtgeschwindigkeit angenommen. Ebenso werden schwache Gravitationsfelder vorausgesetzt. Die „nullte“ Näherung ist dann der Newtonsche Grenzfall. In vielen Anwendungen, die eine relativistische Betrachtung erfordern, reicht die sog. erste post-Newtonsche Näherung aus. Sie kann nicht zur Modellierung der Ausbreitung der elektromagnetischen Signale angewendet werden. Dazu müssen die Gesetze der allgemein-relativistischen Elektrodynamik für den Fall der minimalen Kopplung von Gravitation und Elektromagnetismus betrachtet werden.

Im Fall des GPS-Verfahren wäre es mathematisch am einfachsten, wenn man die Betrachtungen auf ein Inertialsystem mit raumfesten Achsenrichtungen beziehen könnte. Als ein solches käme das Äquatorsystem in Frage, dessen Ursprung im Massenmittelpunkt der Erde liegt und dessen z-Achse mit der Rotationsachse der Erde übereinstimmt. Gegenüber diesem System rotiert die Erde mit nahezu konstanter Drehgeschwindigkeit, während die Bahnebenen der frei fliegenden künstlichen Erdsatelliten sich in Ruhe befinden. Die gesuchten Koordinaten des Nutzerortes auf der Erdoberfläche beziehen sich aber auf ein erdfestes Koordinatensystem, das gegenüber diesem Inertialsystem rotiert, wobei sein Koordinatenursprung und seine z-Achse mit den entsprechenden Größen im Inertialsystem übereinstimmen.

Aus geophysikalischer Sicht ist das Modell, das für die Untersuchung der relativistischen Effekte verwendet wird, sehr einfach: die Erde wird als starrer Körper betrachtet, dessen Rotation um eine raumfeste Achse konstant ist. Die Massenverteilung im Erdmodell entspricht dem eines abgeplattenen Rotationsellipsoides. Die gravitativen Einflüsse aller anderen kosmischen Objekte auf die Erde (Bahnbewegung um die Sonne, Gezeitenkräfte usw.) werden vernachlässigt. Es werden also sehr viele Phänomene nicht berücksichtigt, die den Geophysiker interessieren und mit den Mittel der klassischen Physik sehr gut erfaßt und beschrieben werden können.

Die oben genannten Beobachtungsgleichungen (1) sind dann gültig, wenn die Uhren in den Satelliten und im Nutzerort sich in Inertialsystemen befinden. Diese Annahme ist aber nicht erfüllt, da sich diese Uhren im Schwerefeld der Erde in verschiedenen Höhen befinden und die Erde um ihre eigene Achse rotiert. Die Angaben der Satellitenuhren erfahren auch eine Zeitdilatation infolge ihrer Bewegung relativ zueinander und gegenüber dem Nutzerort. Da die Zeitsignale technisch als Modulationen auf zirkular polarisierten Funkwellen (mit einer Trägerfrequenz von etwa 1,5 Ghz) übertragen werden, muß man bei der Dekodierung die klassische Dopplerverschiebung und die relativistische Zeitdilatation berücksichtigen. Die detaillierte Analyse wird u.a. in der Dissertation von Gulklett [7] vorgeführt.

Insgesamt müssen neun relativistische Effekte als Reduktionen berücksichtigt werden. Man kann sie sowohl als Zeitreduktion (für die Umrechnung von der Eigenzeit auf die Koordinatenzeit) wie auch als äquivalente Reduktion des Abstandes Satellit-Nutzerort angeben. Die folgende Tabelle wurde aus der zitierten Vorlesung von Jacob [4] übernommen.

Effekt	Betrag	Δ/r/
1. Masse der Erde (auf die Nutzeruhr)	$-6{,}95\cdot10^{-10}$	18 km
2. Abplattung der Erde	$-3{,}76\cdot10^{-13}$	9,7 m
3. Höhe der Nutzeruhr	$+1{,}08\cdot10^{-12}$	28 m
4. Rotation der Erde (am Äquator)	$-1{,}20\cdot10^{-12}$	31 m
5. Geschwindigkeit der Nutzeruhr am Boden	$\approx 4{,}00\cdot10^{-13}$	13 m
6. Sagnac-Effekt auf die Nutzeruhr	$\pm 207 \sin\theta$ ns	62 m
7. Masse der Erde auf die Satellitenuhr	$-1{,}67\cdot10^{-1}$	4,3 km
8. Bahnbewegung des Satelliten	$-8{,}35\cdot10^{-11}$	2,2 km
9. Sagnac-Effekt auf die Signalausbreitung	bis zu 137 ns	≤ 41 m

Die verschiedenen Effekte wirken zum Teil gemeinsam. Eine wichtige Schlußfolgerung ist, daß alle Nutzeruhren, die auf der Oberfläche der rotierenden Erde ruhen, gleich ticken. Die Erdoberfläche ist eine Äquipotentialfläche des Schwerefeldes im rotierenden Bezugssystem. Das Zurückbleiben der Uhr infolge des höheren Gravitationspotentials wird durch den geringeren Abstand zur Rotationsachse ausgeglichen.

Wie schon oben gesagt wurde, ist das Verfahren zur globalen Ortsbestimmung und Zeitübertragung mathematisch-physikalisch völlig korrekt. Es erfüllt alle Ansprüche, die in der Geophysik an eine Beobachtungstheorie zur Begründung eines Meßverfahrens gestellt werden. Jedoch darf keinesfalls übersehen werden, daß die Ergebnisse des Verfahrens von weiteren Effekten überlagert werden, die im angewandten Beobachtungsmodell nicht berücksichtigt wurden.

Viel schwieriger erweist sich die Einbeziehung relativistischer Betrachtungen bei der Interpretation von geowissenschaftlichen Beobachtungen, selbst wenn diese mit geophysikalischen Methoden gewonnen wurden. In diesem Vortrag kann lediglich auf zwei Beispiele hingewiesen werden, wozu es eine umfangreiche Literatur gibt. Das erste Beispiel ist die theoretisch denkbare Abnahme der Newtonschen Gravitationskonstanten und deren Verwendung in den Hypothesen über eine Expansion der Erde in geologischen Zeiträumen. Diese Problematik wird umfassend vom australischen Geologen S. Warren Carey behandelt [8]. Als zweites sei auf den hypothetischen Zusammenhang zwischen Gravitationswellen, die im Kosmos ausgelöst werden, und Schwingungen des Erdkörpers hingewiesen. In jüngster Zeit hat dazu der aserbaidshanische Geophysiker Elchin Nursat Khalilov ein Buch veröffentlicht [9].

Literatur

[1] Einstein, A.: Zur Elektrodynamik bewegter Körper. Annalen der Physik 17 (1905), 891
[2] Einstein, A.: Die Grundlage der allgemeinen Relativitätstheorie. Annalen der Physik 49 (1916), 769
[3] o.A.: Reflections on Relativity. http://www.mathpages. com/rr/rrtoc.htm
[4] Jacob, R. J.: PHY-494 Applied Relativity. www.public.asu.edu/~rjjacob/phy494_syl.html
[5] Moritz, H., Hofmann-Wellenhof, B.: Geometry, Relativity, Geodesy. Wichmann, Karlsruhe, 1993
[6] Ashby, N.: Relativity in the Global Positioning System. Living Reviews in Relativity. http://relativity.livingreviews.org/Articles/Volume6/2003-1ashby/
[7] Gulklett, M.: Relativistic Effects in GPS and LEO. www.ccr.jussieu.fr/tarantola/Files/Professional/Teaching/Seminar/Texts/Gulklett.pdf
[8] Carey, S. W.: Theories of the Earth and the Universe. Stanford University Press, Stanford, California, 1988
[9] Khalilov, E. N.: Gravitational Waves and Geodynamics. (in Russisch mit Zusammenfassung in Englisch). ELM-ICSD/IAS, Baku-Berlin-Moskau, 2004

Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät *78/79(2005), 81–95*

Karl-Heinz Bernhardt

Teetassen-Zyklonen und Flußmäander – Einstein klassisch

1. Einleitung

Unter dem 7. Januar 1926 verzeichnete die Sitzung der physikalisch-mathematischen Klasse der Preußischen Akademie der Wissenschaften unter dem „Vorsitzenden Sekretar i. V. Hr. Penck“ an erster Stelle zwei Vorträge von A. Einstein: „1. Über die Ursache des ‚Mäander'-Phänomens bei Flussläufen ..., 2. Über die Anwendung einer von Rainich gefundenen Spaltung des Riemannschen Krümmungstensors in der Theorie des Gravitationsfeldes...“.[1]

Während der zweite der genannten Beiträge in Einsteins jahrzehntelange Bemühungen um eine einheitliche Feldtheorie einzuordnen ist,[2] verrät der erste Beitrag bereits durch einen Klammerzusatz im Titel seinen wesentlichen Inhalt. „(Beeinflussung des mittleren Geschwindigkeitsgefälles am Ufer durch eine von der örtlich verschiedenen Zentrifugalkraft verursachte Zirkulation)“[3]. Es handelt sich – in moderner Terminologie – um das Erscheinungsbild einer reibungsbedingten Sekundärzirkulation, die Albert Einstein einleitend am Beispiel der Teeblätter erläutert, die sich – scheinbar entgegen der Wirkung der Zentrifugalkraft – in der Mitte des flachen Bodens einer Tasse ansammeln, wenn die Flüssigkeit mit einem Löffel in Rotation versetzt wird.

Über Motiv oder Anlaß für Einstein, in einer Periode intensiven Ringens um die Weiterentwicklung der allgemeinen Relativitätstheorie auf einer Klassensitzung über ein Problem der klassischen Strömungsmechanik vorzutragen, soll hier nicht spekuliert werden – vielleicht ist diese Frage für die Psychologie wissenschaftlichen Schöpfertums nicht uninteressant. Fest steht jedenfalls, daß Einstein auch ein exzellenter Kenner der gesamten klassischen Physik war – nicht zuletzt aus seiner Tätigkeit am Berner Patentamt, für die

1 Sitz.-Ber. Preuß. Akad. Wiss. , phys.-math. Kl. 1926, S. 1.

2 Vgl. z. B. v. Borzeszkowski, H.-H., Treder, H.-J.: Unitary field theory and prospects of generalized general relativity theory. Max-Planck-Institut für Wissenschaftsgeschichte, Preprint 267, 2004, 17–39.

3 Vgl. Anm. 1.

er die Arbeit an der endgültigen Formulierung technischer Probleme „als wahren Segen“ für sich empfand, die „auch wichtige Anregungen für das physikalische Denken“ bot.[4] Aus dieser Zeit datiert auch ein Bericht von M. Solovine über gemeinsame Wanderungen, auf denen der Anblick der Alpenwelt anregte, „über ihre Formation und Struktur und auch über allgemeine Fragen der Geologie zu sprechen“.[5] Als Akademiemitglied hat Einstein in seiner Berliner Zeit mehrere Klassen- und Plenarvorträge von Albrecht Penck zu geomorphologischen Themen gehört.[6]

Einsteins Vortrag wurde in den Sitzungsberichten der Preußischen Akademie der Wissenschaften nicht veröffentlicht, wohl aber unter einem ganz ähnlichen Titel in Heft 11 der *Naturwissenschaften* vom 12. März 1926.[7] Der Verfasser hielt diesen Aufsatz für wert, als einer von insgesamt 15 wissenschaftlichen Beiträgen in sein „Weltbild“ aufgenommen zu werden,[8] und Erwin Schrödinger schrieb am Ende eines Briefes vom 23. April 1926 an Einstein: „Sehr unterhalten hat mich Ihre reizende Erklärung der Mäanderbildung. Über das ‚Theetassenphänomen’ hatte mich meine Frau zufällig wenige Tage vorher interpelliert, ich wußte aber keine vernünftige Erklärung. Sie sagt, sie wird jetzt nie wieder den Thee umrühren, ohne dabei an Sie zu denken.“[9]

Charney und Eliassen haben in einer ihrer Pionierarbeiten zur numerischen Wettervorhersage bei der Behandlung des abschwächenden Effektes der Bodenreibung auf die atmosphärischen Druckgebilde ausdrücklich auf die Einsteinsche Arbeit in einer früheren Auflage des „Weltbildes“ Bezug genommen und das Abklingverhalten der atmosphärischer Störungen als Folge einer reibungsbedingten Sekundärzirkulation (im Falle der „Teetassen-Zyklone“ an der Bewegung der Teeblätter ablesbar) mittels der vereinfachten Bewegungsgleichungen in Wirbelform (geostrophisch approximierte Vorticitygleichung für eine äquivalent-barotrope Atmosphäre) beschrieben.[10] Im

4 Aus der „Autobiographischen Skizze“ zitiert nach Kuznecov, B. G.: Einstein Leben –Tod – Unsterblichkeit. Berlin 1979, S. 36.

5 Albert Einstein, Briefe an Maurice Solovine. Berlin 1960, S. XXIV.

6 Vgl. Albert Einstein in Berlin 1913–1933, Teil II, Spezialinventar. Berlin 1979, S. 209 ff., insbesondere Dokumente Nr. 98, 128, 161, 212, 269, 329 u.a.

7 Einstein, A.: Die Ursache der Mäanderbildung der Flußläufe und des sogenannten Baerschen Gesetzes. Naturwiss. 14, 1926, 223–224.

8 Seelig, C. (Hrsg.): Albert Einstein, Mein Weltbild. Zürich, Stuttgart, Wien, 1953, 217–222.

9 Przibram, K. (Hrsg.): Schrödinger, Planck, Einstein, Lorentz. Briefe zur Wellenmechanik. Wien, 1963, 24–25.

10 Charney, J. G., Eliassen, A.: A numerical method for predicting the perturbations of the middle latitude westerlies. Tellus 1, 1949, 2, 38–54, insbesondere S. 45–47.

Anschluß an diese Betrachtungen sind Ausführungen über „spin down“ atmosphärischer Störungen als Effekt des „Ekman pumping“ in der atmosphärischen Grenzschicht (Ekman layer) zum festen Bestand von Lehrbüchern der dynamischen Meteorologie geworden.[11]

Wir werden im folgenden zweiten Abschnitt im Zusammenhang mit Einsteins Arbeit den Begriff der reibungsbedingten Sekundärzirkulation erläutern und ihre Rolle für die Geomorphologie von Flußläufen kurz diskutieren. Der dritte Abschnitt soll dann einer historischen Betrachtung von Ansätzen zur Beschreibung von Reibungseffekten auf atmosphärische Druckgebilde sowie einem Vorschlag zur Weiterentwicklung des spin down-Konzeptes gewidmet sein, der vierte Abschnitt ein kurzes Resümee bieten.

2. Reibungsbedingte Sekundärzirkulationen und die Gestalt der Flußufer

Sekundärzirkulationen sind größermaßstäblichen (größerscaligen) Zirkulationen überlagerte Bewegungen in Fluiden, die durch ein primäres Zirkulationssystem unterhalten werden. Ihr Antrieb kann, wie z. B. im Falle atmosphärischer Fronten und Konvektionssysteme, durch die (barokline) thermohydrodynamische Struktur des übergeordneten Stromfeldes oder aber durch dessen mechanische Beeinflussung an seinen Rändern erfolgen, wofür Hinderniswellen an Gebirgen ebenso als Beispiel dienen können wie Zirkulationen um Dünen oder Buhnen.[12]

Auch die von Einstein diskutierte reibungsbedingte Sekundärzirkulation in der Teetasse oder dem gekrümmten Flußlauf verdankt ihre Entstehung der Abbremsung der Strömung in einer Grenzschicht, die sich an ihrer Berandung, insbesondere am Boden der Tasse bzw. des Flußbettes ausbildet: In einer stationären, nicht reibungsbeeinflußten Strömung längs gekrümmter Stromlinien herrscht Kräftegleichgewicht zwischen auswärts gerichteter Zentrifugal- und der einwärts gerichteten Komponente der Druckgradientkraft, letztere bedingt durch einen Anstieg des Flüssigkeitsspiegels zur Außenseite der Strömung, im Falle einer als starrer Körper (d. h. mit ortsunabhängiger Winkelgeschwindigkeit) rotierenden Flüssigkeitsmasse bekanntlich in Ge-

11 Vgl. z. B. Holton, J. R.: An introduction to dynamic meteorology. New York, London, 1972, 88–94; Pichler, H.: Dynamik der Atmosphäre. Heidelberg, Berlin, Oxford. 3. Aufl., 1997, S. 488ff.; Lange, H.-J.: Die Physik des Wetters und des Klimas. Berlin, 2002, S. 342ff.

12 Zu unterschiedlichen Anwendungen des Begriffes der Sekundärzirkulation in der Meteorologie und insbesondere zum „Ekman pumping“ vgl. Glickman, T. (ed.): Glossary of Meteorology, 2nd ed., Boston, Mass., 2002, S. 670f. bzw. S. 257.

stalt eines Paraboloids. In der Nähe des Tasssen- bzw. Flußbodens ist die Geschwindigkeit der primären Strömung (Grundströmung) reibungsbedingt reduziert und damit die Balance zwischen Zentrifugal- und Druckgradientkraft gestört, was infolge der Dominanz der letzteren eine sekundäre bodennahe Strömung einwärts zur Folge hat, die die Teeblätter zur Mitte des Bodens befördert – die einfache Erklärung des Phänomens, die Schrödinger seiner Frau schuldig bleiben mußte!

Die quer zur Grundströmung gerichtete Flüssigkeitsbewegung in Bodennähe reicht im Falle des rotierenden Teeaufgusses bis in die Mitte der Tasse, im Falle des gekrümmten Flußlaufes bis zu seiner Innenseite – in beiden Fällen resultiert aus Kontinuitätsgründen eine Sekundärzirkulation mit auswärts gerichteter Bewegung in den oberen Schichten, also eine reibungsbedingte Radial- bzw. Querzirkulation mit entsprechenden Vertikalkomponenten (aufsteigende Bewegung in der Mitte der Tasse bzw. an der Innenseite der Flußkrümmung, absteigende Bewegung jeweils an den Außenseiten), wie in der Einsteinschen (übrigens formellosen) Veröffentlichung skizziert.

Bevor wir die Erklärung der Mäanderbildung und die Relevanz des sog. Baerschen Gesetzes etwas näher betrachten, sei nochmals auf die „Zyklone in der Teetasse“ zurückgekommen: Unter dieser Überschrift hatte Wladimir Köppen ein Jahrzehnt vor dem Vortrag und der Publikation Einsteins in einer kurzen Zeitschriftennotiz auf die Reibung an der Erdoberfläche als längst bekannte Ursache für die „einströmende Bewegung in der untersten Schicht der Zyklonen“ und als Analogie hierzu auf die „Ansammlung der Teeblättchen in einer Tasse Tee in der Mitte des Bodens, wenn man die Flüssigkeit mit dem Löffel in Bewegung versetzt,“ verwiesen.[13]

Bei Köppen findet sich darüber hinaus ein „Kontrollversuch“ beschrieben, der an den berühmten Eimerversuch Newtons erinnert, mit dem dieser den Gegensatz zwischen „absoluter“ und „relativer“ Bewegung erklären wollte:[14] Versetzt man nicht die Flüssigkeit in der feststehenden Tasse, sondern diese selbst in eine Drehbewegung, so teilt sich diese über die Bodenreibung zuerst der untersten Flüssigkeitsschicht mit, so daß hier zunächst eine auswärts gerichtete Bewegung mit Aufsteigen der Flüssigkeit am Rande und Absinken in der Mitte der Tasse einsetzt, die anfangs die Teeblätter nach außen trägt.

13 Köppen, W.: Die Zyklone in der Teetasse. Meteorol. Z. 33, 1916, 422.

14 Vgl. z. B. Sommerfeld, A.: Vorlesungen über theoretische Physik, Bd. I, Mechanik. 5. Aufl., Leipzig 1954, S. 9.

Über Versuche ähnlicher Art, ausgeführt mittels einer Schwungmaschine und unter Verwendung von Hektographentinte, hatte Wilhelm v. Bezold wiederum nahezu drei Jahrzehnte vorher vor der Preußischen Akademie der Wissenschaften berichtet[15] und dabei interessanterweise bemerkt, daß sich in seinen Experimenten mit rotierenden Flüssigkeiten deren Oberflächen im Falle von Verschmutzung ähnlich wie die Bodenschicht verhielten. Die Drehbewegung übertrug sich daher sowohl vom Boden wie von der Oberseite des in Rotation versetzten Gefäßes (und zusätzlich vom Rande) her in das Innere der Flüssigkeit. Nach Stillstand des Gefäßes aber zeigten sich bei noch fortdauernder Rotation der Flüssigkeit anstelle der von Köppen und Einstein beschriebenen einfachen „zyklonalen" Reibungszirkulation mehrere übereinander gelagerte Zirkulationszellen mit jeweils gegenläufigem Umlaufsinn bei einwärts gerichteter Radialkomponente der Strömung am Boden wie an der Oberfläche der Flüssigkeit.[16]

In der Tat kann man besonders in hohen Gefäßen beobachten, daß sich Teeblätter infolge des Umrührens der Flüssigkeit nicht nur am Boden, sondern gelegentlich auch an der Oberfläche der Flüssigkeitssäule in der Nähe der Rotationsachse ansammeln – die Strömungsverhältnisse gestalten sich unter dem Einfluß von Grenzflächen- und Turbulenzeffekten in Abhängigkeit von den Aspektverhältnissen im einzelnen offenbar komplizierter als im einfachen Modellbeispiel der Teetasse nach Einstein bzw. Köppen, was sinngemäß auch für die Flußmäanderbildung gelten dürfte.

Für die letztere wurde schon lange vor Einsteins Vortrag das „Pendeln des Stromstrichs" im Zusammenhang mit der Wirkung der Zentrifugalkraft in einem gekrümmten Flußlauf verantwortlich gemacht,[17] die zu einer Verschiebung des Stromstrichs – der Zone maximaler Strömungsgeschwindigkeit – zur Außenseite und dort zu verstärkter Seiten- und Tiefenerosion führen soll, womit eine einmal vorgebildete Ausbiegung des Flußlaufs ausgeweitet wird und der Prozeß zunehmender Mäandrierung durch eine Art positiver Rückkoppelung verursacht wird, die ihr Ende mit der durch die Mäander bedingten fraktalen Verlängerung des Wasserlaufes, damit abnehmendem Gefälle und

15 Bezold, W. v.: Experimentaluntersuchungen über rotirende Flüssigkeiten. Sitz. Ber. Preuß. Akad. Wiss. 1887, 261–273.

16 Ebenda, Tafel IV, insbesondere Abb. 9–11.

17 Man vergleiche z. B. die ausführliche Darstellung der Mäanderbildung und der Problematik des Baerschen Gesetzes im Lehrbuch von Penck, A.: Morphologie der Erdoberfläche, Bd. I. Stuttgart 1894, bes. S. 346–360.

demzufolge verminderter Strömungsgeschwindigkeit findet, mit der auch die sekundäre Querzirkulation an Erosions- und Transportvermögen verliert.

Der Mechanismus dieser reibungsbedingten Lateralzirkulation als Ursache für die Mäanderbildung selbst war bereits volle fünfzig Jahre vor dem Einsteinschen Vortrag, nämlich am 4. Mai 1876 in einer Mitteilung von J. Thomson an die Royal Society, vorgelegt von W. Thomson (Lord Kelvin), in aller Ausführlichkeit erläutert worden.[18] L. Prandtl verwies im Anschluß an die Einsteinsche Veröffentlichung in den *Naturwissenschaften* auf die Thomsonsche und auf weitere theoretische wie auch experimentelle Untersuchungen schon damals so genannter „Sekundärströmungen".[19]

Einsteins Mitteilung war also nicht von originärem Neuheitswert, und der Autor bezweifelte eingangs auch, „ob dem Fachmann irgend etwas, was ich darüber im folgenden sage, neu ist", freilich nicht ohne hinzuzufügen, er habe jedoch niemanden gefunden, „der die in Betracht kommenden ursächlichen Zusammenhänge vollständig gekannt hätte."[20] Tatsächlich ist die Erklärung für die Ausbildung des Prallhangs an der Außen- und des Gleithangs an der Innenseite gekrümmter Wasserläufe als Ausgangspunkt für die Entstehung sich spontan ausweitender und stromabwärts verlagernder Mäander auch in modernen Lehrbüchern und Nachschlagewerken der physischen Geographie häufig zumindest lückenhaft, wenn als Begründung für die verstärkte Seiten- und Tiefenerosion an der Außenseite lediglich auf die nicht näher erläuterte erhöhte Fließgeschwindigkeit bzw. die Wirkung der Fliehkraft verwiesen wird,[21] die ja ohne Beachtung der von Thomson und Einstein beschriebenen reibungsbedingten Querzirkulation im Flußbett lediglich zu einer Erhöhung des Wasserstandes am äußeren Ufer führen würde.[22]

18 Thomson, J.: On the origin of windings of rivers in alluvial plains, with remarks on the flow of water around bends in pipes. Proc. Roy. Soc. XXV, 1877, 5–8. Der Autor ließ ein Jahr darauf an gleicher Stelle noch eine Kurzmitteilung über Laboratoriumsexperimente zur Mäanderbildung folgen (Proc. Roy. Soc. XXVI, 1878, 356–357)

19 Prandtl, L.: Bemerkung zu dem Aufsatz von A. Einstein: Die Ursache der Mäanderbildung und das sogenannte Baersche Gesetz. Naturwiss. 14, 1926, 619–620. Der Meinung Prandtls, die Thomsonsche Arbeit sei in Deutschland „allerdings anscheinend nur wenig beachtet worden", steht zumindest deren Zitat im Lehrbuch von Penck (vgl. Anmerkung 17) entgegen.

20 Einstein, A., wie Anm. 7, a. a. O., S. 223.

21 Vgl. z. B. Neef, E. (Hrsg.): Das Gesicht der Erde. Taschenbuch der Physischen Geographie, 4. Aufl. Zürich und Frankfurt/Main, S. 711ff.; Louis, H., Fischer, K.: Allgemeine Geomorphologie. Lehrbuch der Allgemeinen Geographie, Bd. I, 4. Aufl. Berlin, New York, 1979, S. 218ff.; Goudie, A.: Physische Geographie. Heidelberg, Berlin, Oxford, 1995, S. 315ff.; Tietze, W. (Hrsg.): Lexikon der Geographie. Bd. III, 2. Aufl. Braunschweig, 1973, S. 167.

Auch eine Notiz von O. Baschin in den *Naturwissenschaften*, in der der Autor unter Bezug auf den Einsteinschen Beitrag eine andersartige Erklärung für die Mäanderbildung auf der Grundlage eines „Gleitflächengesetzes" präsentierte, zeigt, daß die genannte Problematik durchaus nicht trivial war.[23] Baschin konnte sich dabei immerhin auf F. M. Exner berufen, der die Mäanderbildung in Analogie zum Auftreten Helmholtzscher Wogen betrachtet bzw. das Pendeln des Stromstrichs als stehende Welle behandelt hatte und sowohl mit quantitativen Ansätzen, als auch mit Modellversuchen hervorgetreten war, ohne aber die Rolle der Querzirkulation zu erwähnen.[24]

Umstritten seit den ersten diesbezüglichen Arbeiten von M. Babinet[25] und K. E. v. Baer[26] in den Jahren 1859/60 war und ist bis in die Gegenwart der Einfluß der Coriolisbeschleunigung, die auf der Nord(Süd-)halbkugel zu einer verstärkten Erosion der rechten (linken) Flußufer („Baersches Gesetz") und auch zu einem bevorzugten Auftreten rechts(links-)seitiger Mäander führen soll – nach Einstein Folge einer reibungsbedingten Querzirkulation ganz analog zum Fliehkrafteffekt in gekrümmten Flußläufen. W. Schmidt beispielsweise hat im Jahr des Einsteinschen Klassenvortrages und seiner Publikation in den *Naturwissenschaften* vor der Wiener Akademie unter Berufung auf Modellversuche eine Wirkung der Erddrehung auf die Gestalt der Flußläufe ausdrücklich in Zweifel gezogen,[27] und auch neuere Nachschlagewerke beurteilen diesen Effekt eher skeptisch.[28]

Ohne zu dieser Diskussion hier im Detail Stellung zu nehmen, sei angemerkt, daß der Betrag des radialen Druckgradienten, der zugleich ein Maß für

22 Eine korrekte und umfassende Erklärung der Seitenerosion unter Hervorhebung der Querzirkulation bietet demgegenüber Weber, H.: Die Oberflächenformen des festen Landes. Leipzig, 1967, S. 73ff.

23 Baschin, O.: Gleitflächengesetz und Flußmäander. Naturwiss. 14, 1926, 391–392.

24 Vgl. z. B. : Exner, F. M.: Über oszillierende Strömungen in Luft und Wasser. Ann. Hydrogr. marit. Meteorol. 47, 1919, 155–168; Zur Theorie der Flumäander. Sitz. Ber. Akad. Wiss. Wien, Math.-nat. Kl. IIa, 128, 1919, 1453–1473; Über die Wechselwirkung zwischen Wasser und Geschiebe in Flüssen. Ebenda, 134, 1925, 165–203.

25 Babinet, J.: Influence du mouvement de rotation de la terre sur le course de rivières; remarques présentées à l'occasion de la communication précédente. Compt. Rend. de l'Académie des Sciences 49, 1859, 638–641. Vgl. dazu auch S. 658–660, 685–693, 769–780.

26 Baer, K. E. v.: Über ein allgemeines Gesetz in der Gestaltung der Flussbetten. Bull. de l'Académie des Sciences de St.-Pétersbourg, 1860, 2, 1–49, 218–250, 353–382.

27 Schmidt, W.: Modellversuche zur Wirkung der Erddrehung auf Flußläufe. Sitz. Ber. Akad. Wiss. Wien, Math.-nat. Kl. IIa, 135, 1926, 443–451. Soweit aus der Beschreibung der Versuchsanordnung ersichtlich, scheint der Autor allerdings ein anderes Phänomen – die Realisierung eines Trägheitskreises – beobachtet zu haben.

28 Vgl. z. B.: Tietze, W. (Hrsg.): Lexikon der Geographie. Bd. I, 2. Aufl. Braunschweig, 1972, S. 313.

die kinetische Energie der Querzirkulation und damit auch für deren Erosions- und Transportvermögen ist, in der stationären Strömung einer Flüssigkeit der Dichte ρ mit dem Krümmungsradius R und der Strömungsgeschwindigkeit U näherungsweise $\rho U^2/R$ kg m^{-2} s^{-2} ist, während der Corioliseffekt auf der Nord(Süd-)halbkugel einen strömungsquer nach rechts (links) gerichteten Druckgradienten von ca. $\rho|f|U$ kg m^{-2} s^{-2} bedingt, worin noch $f = 2\omega\sin\varphi$ den aus der Winkelgeschwindigkeit ω der Erdrotation und der geographischen Breite φ gebildeten Coriolisparameter bedeutet. Das Zahlenverhältnis von Krümmungs- und Corioliseffekt $U/R|f| = Ro$ entspricht damit der mit dem Krümmungsradius R des Flußlaufes gebildeten Rossby-Zahl Ro, die ihrerseits als Quotient aus dem Trägheitsradius $U/|f|$ und dem Krümmungsradius R aufgefaßt werden kann.[29]

Da Fließgeschwindigkeiten von 1 ... 10 m s^{-1} in mittleren und höheren geographischen Breiten wegen magn $f = 10^{-4}$ s^{-1} Trägheitsradien von 10 ... 100 km nach sich ziehen, fällt also der Krümmungseffekt mit Ausnahme sehr großer Krümmungsradien, die im Bereich der genannten Werte für den Trägheitsradius liegen, um Größenordnungen wirksamer aus als der Einfluß der Erdrotation, die nur für langsam und in weiten Windungen strömende Flüsse von vergleichbarer Rolle für die Ufergestaltung sein könnte wie die Krümmungen des Flußlaufes.

In anschaulicher und überprüfbarer Weise äußern sich Krümmungs- und Corioliseffekt in einer Neigung der Wasseroberfläche quer zur Fließrichtung, deren Betrag mit der Schwerebeschleunigung $g\ U^2/Rg$ bzw. $U|f|/g$ beträgt, wobei der letztere Ausdruck (Corioliseffekt) unter den obigen Annahmen von der Größenordnung 10^{-5} ... 10^{-4} ist, was im Falle eines 1 km breiten Stromes Unterschiede des Wasserstandes zwischen beiden Ufern von 1 ... 10 cm bedeutet.[30]

3. Reibungsbedingte Sekundärzirkulation in atmosphärischen

29 Der Trägheitsradius bezeichnet den Radius eines Kreises, der von einem Massenpunkt in der Horizontalebene im Gleichgewicht von Zentrifugal- und Coriolisbeschleunigung (unter Vernachlässigung der Ortsabhängigkeit des Coriolisparameters) durchlaufen wird.

30 Entsprechende Neigungen von Flußspiegeln wurden bereits gegen Ende des 19. Jahrhunderts gemessen und im Einklang mit den betreffenden Formeln befunden, wie man dem zitierten Lehrbuch von Penck, 1894, entnehmen kann, das auch den damaligen Stand der Diskussion über die Rolle des Corioliseffektes für die Verschiebung der Flüsse wiedergibt. Vgl. Anm. 17, ebenda, S. 351ff.

Wirbeln – Spin down und Fill in

Reibungsbedingte Sekundärzirkulationen in der Atmosphäre, durch die Köppen-Einsteinsche „Zyklone in der Teetasse" in einem Inertialsystem, d. h. ohne die für großräumige atmosphärische Bewegungen fundamentale Coriolisbeschleunigung veranschaulicht, waren bereits in der Meteorologie der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts Gegenstand des zunächst empirischen Studiums bodennaher Windfelder im Bereich der „Stürme". Den lebhaften Auseinandersetzungen zwischen den Vertretern der „centrifugal theory" (W. Redfield, W. Reid)) und der „centripetal theory" (H. W. Brandes, J. P. Espy, T. Reye), die ein Umströmen der Zyklone (auf der Nordhalbkugel gegen den Uhrzeigersinn) bzw. ein Einströmen in Richtung des radialen Druckgefälles postulierten, und der Synthese beider Auffassungen durch E. Loomis[31] folgten in der zweiten Hälfte des Jahrhunderts empirische Formulierung (C. H. D. Buys Ballot) und theoretische Begründung (Ferrel) des barischen Windgesetzes.[32]

Während großräumige, quasistationäre Horizontalbewegungen in der freien Atmosphäre im annähernden Gleichgewicht zwischen Druckgradient- und Corioliskraft quasigeostrophisch verlaufen und das zugehörige geostrophische Stromfeld divergenzfrei ist, bedingt dessen bodenreibungsbedingte Störung im Bereich der atmosphärischen Grenzschicht (planetary boundary layer, Ekman layer o. ä.) die bekannten reibungsbedingten Vertikalbewegungen im Bereich der atmosphärischen Druckgebilde. Diese Vertikalbewegungen, die als Bestandteil der reibungsbedingten Sekundärzirkulation auch den bereits genannten Spin-down-Mechanismus in Gang setzen, wurden unter stark vereinfachenden Annahmen zuerst von C. M. Guldberg und H. Mohn sowie von A. Oberbeck theoretisch behandelt[33] und bereits im ersten Lehrbuch der theoretischen Meteorologie, das im Jahre 1885 von A. Sprung verfaßt wurde, im Zusammenhang mit den damaligen Reibungsansätzen in den atmosphärischen Bewegungsgleichungen ausführlich behandelt.[34]

31 Vgl. die meteorologiehistorische Darstellung von G. Kutzbach: The thermal theory of cyclones. Lancaster, Pennsylvania, 1979.

32 Vgl. dazu die Monographie von G. Kutzbach (Anm. 31) sowie die zeitgenössischen Ausführungen von Hann, J.: Ueber die Priorität des Buys-Ballot'schen Gesetzes. Z. Österr. Ges. Meteorol. 20, 1885, 94–97. Ferrel, W.: Priorität des Buys-Ballot'schen Gesetzes. Ebenda, S. 187.

33 Guldberg, C. M., Mohn, H.: Die Bewegung der Luft in aufsteigenden Wirbeln (Cyklonen). Z. österr. Ges. Meteorol. 12, 1877, 257–268; Die Bewegung der Luft in herabsteigenden Wirbeln (Anticyklonen). Ebenda, S. 273–276. Oberbeck, A.: Ueber Bewegungen der Luft an der Erdoberfläche. Wied. Ann. Phys. Chem. 17, 1882, 126–148.

34 Sprung, A.: Lehrbuch der Meteorologie. Hamburg, 1885, 112 ff., 208 ff.

Der Spin-down-Effekt wird im Anschluß an die Ausführungen von Charney und Eliassen[35] unter weitgehenden Vereinfachungen und mit der Annahme begründet, daß der integralen reibungsbedingten Strömungskonvergenz in einer Grenzschicht der Höhe h aus Kontinuitätsgründen eine gleich große, bis zur Obergrenze der freien Atmosphäre integrierte Divergenz entspricht, die nach der Vorticitygleichung mit einem Abbau zyklonaler Wirbelgröße (sign ζ = sign f) entsprechend der Formel $d\zeta/dt \approx -(f + \zeta)w_h/H_h$ verbunden ist, worin wh die Vertikalgeschwindigkeit an der Obergrenze der Grenzschicht und H_h die Skalenhöhe $H_h = R_a T/g$ daselbst mit der Lufttemperatur T und der Gaskonstanten Ra der Luft bezeichnen. Für eine Antizyklone resultiert mit bodenreibungsbedingtem Ausströmen und Absinken $w_h < 0$ nach der gleichen Formel ein Abbau antizyklonaler Wirbelgröße (sign $\zeta \neq$ sign f).

Die reibungsbedingte Vertikalgeschwindigkeit ihrerseits ist gemäß $\rho w_h = f^{-1}\, \mathrm{rot}_z\, \tau$ eine Funktion der Vertikalkomponente des Rotors der Schubspannung $\tau = \rho\, v_*\, \mathbf{v}_*$ an der Erdoberfläche, wenn $\mathbf{v}_*$ den Vektor der Schubspannungsgeschwindigkeit bedeutet, der unter Einführung der geostrophischen Windgeschwindigkeit v_g, des geostrophischen Spannungskoeffizienten $c_g = v_*/v_g$ und des Winkels α zwischen der Richtung des wahren und der des geostrophischen Windes mit den natürlichen horizontalen Koordinaten (s, n) gemäß

$$\mathbf{v}_* = \mathbf{s}\, v_g c_g \cos\alpha + \mathbf{n}\, v_g c_g \sin\alpha$$

durch den Vektor des geostrophischen Windes $\mathbf{v_g}$ ausgedrückt werden kann. Damit resultiert nach Divergenzbildung und Integration von der Erdoberfläche bis zur Obergrenze der Grenzschicht mit $\tau_h = 0$ näherungsweise

$$w_h = v_g\, f^{-1} \left[(\mathrm{rot}_z\, \mathbf{v_g} - \partial v_g/\partial n) c_g^{\,2} \cos\alpha + (\partial v_g/\partial s) c_g^{\,2} \sin\alpha \right],$$

worin $\mathrm{rot}_z\, \mathbf{v_g} = \zeta_g$ die geostrophische Vorticity und $-\partial v_g/\partial n$ deren Scherungsanteil (geostrophische Scherungsvorticity), $\partial v_g/\partial s$ dagegen die Geschwindigkeitsdivergenz des geostrophischen Windes darstellen. In dieser vereinfachten Beziehung für die reibungsbedingte Vertikalgeschwindigkeit w_h wurden im Gegensatz zu der ausführlichen Ableitung und Diskussion eines entsprechenden Ausdruckes[36] der Unterschied der Luftdichte zwischen Erdoberfläche und Obergrenze der Grenzschicht sowie die Abhängigkeit der Parameter c_g und α von vg außer acht gelassen.

35 Vgl. Anmerkungen 10 und 11.

36 Bernhardt, K.: Der ageostrophische Massenfluß in der Bodenreibungsschicht bei beschleunigungsfreier Strömung. Z. Meteorol. 21, 1970, 259–279, bes. S. 270f.

In der angeführten Lehrbuchliteratur zur Beschreibung des Spin-down-Effektes nach dem Vorbild von Charney und Eliassen wird zur Bestimmung der reibungsbedingten Vertikalgeschwindigkeit auf die noch gröbere Annahme der bekannten Ekmanspirale zurückgegriffen, was auf einen Ausdruck der Gestalt

$$w_h = \left(f/|f|\right)\zeta_g\left(K/2|f|\right)^{1/2} = \left(f/|f|\right)\zeta_g\, h/2\pi$$

führt, in dem K den höhenkonstant angenommenen Turbulenzkoeffizienten für Impuls (eddy viscosity) bedeutet. Wird nun noch Barotropie, d. h. auch Unabhängigkeit der geostrophischen Vorticity von der Höhe vorausgesetzt, erhält man für den Spin-down-Effekt aus der vereinfachten Vorticitygleichung ($|\zeta_g| << |f|$) schließlich

$$\zeta_g^{-1} d\zeta_g/dt \approx -f\, w_h/\, \zeta_g\, H_h = -\left(K|f|/2\right)^{1/2}/H_h = -\,|f|\, h/2\pi H_h.$$

Die reibungsbedingte Sekundärzirkulation führt damit in der freien Atmosphäre zu einem exponentiellen Abklingen der geostrophisch approximierten Vorticity gemäß

$$\zeta_g(t) = \zeta_g(0)e^{-at},$$

wobei das Ekman-Modell mit $a = (K|f|/2)^{1/2}/H_h = |f|h/2\pi H_h$, $H_h \approx 8000$ m für mittlere und höhere geographische Breiten ($f \approx 10^{-4}\ s^{-1}$) unter den plausiblen Annahmen $K \approx 1...10\ m^2 s^{-1}$ bzw. $h \approx 500$ ... 1500 m Werte für die Zeitkonstante a im Bereich $(1 ... 3)10^{-6}\ s^{-1}$ liefert, was einem Rückgang des Betrages der Wirbelgröße auf das 1/e-fache ihres Ausgangswertes binnen etwa 4 bis 12 Tagen entspräche.

Die weiter oben angeführte allgemeinere Formel für w_h würde bei Vernachlässigung der gesondert erscheinenden Scherungsvorticity- und Geschwindigkeitsdivergenzterme $-\partial v_g/\partial n$ bzw. $\partial v_g/\partial s$ nach geostrophischer Approximation eine Zeitkonstante $a = v_g(c_g^2 \cos\alpha)/H_h$ ergeben, die mit $v_g \approx 10\ m\ s^{-1}$ und $c_g^2 \approx 10^{-3}$ ebenfalls von der Größenordnung $10^{-6}\ s^{-1}$ wäre, angesichts der großen Schwankungsbreite des Parameters $c_g^2 \cos\alpha$ in Abhängigkeit von geostrophischer Windgeschwindigkeit, Rauhigkeit der Unterlage und thermischer Schichtung der Grenzschicht aber auch eine Zehnerpotenz kleiner oder größer ausfallen könnte.[37]

Die destruktive Wirkung der Bodenreibung auf die atmosphärischen Druckgebilde – insbesondere auf die Tiefdruckgebiete – wurde allerdings be-

37 Diagramme zur Bestimmung der entsprechenden Parameter in den Formeln zur Berechnung der reibungsbedingten Vertikalbewegungen über Land und Meer sind bei Bernhardt, a.a.O., S. 268f. wiedergegeben.

reits vor der Betrachtung ihrer Wirbelgrößenbilanz erkannt, und zwar als Folge der „ausfüllenden Bewegungen“, d. h. des schon am Anfang dieses Abschnittes erwähnten bodennahen Einströmens der Luft in das Tiefdruckgebiet, das im Verein mit dem Ausströmen aus dem Hochdruckgebiet zu einem Abbau der Luftdruckunterschiede in der Nähe der Erdoberfläche führt, die somit als „Ausgleichsniveau der Atmosphäre“ agiert.[38]

Man kann diesen Mechanismus analog zum „Spin down“ als „Fill in“ bezeichnen.[39] Zu seiner Abschätzung sei im Gegensatz zum „Spin down“ angenommen, daß die gesamte, in die Zyklone bodennah einströmende Luftmasse in ihr verbleibt bzw. die bodennah aus der Antizyklone ausströmende Luft nicht durch einen Zustrom in der Höhe ersetzt wird (Divergenzfreiheit in der freien Atmosphäre). Eine elementare Betrachtung unter Verwendung von Kontinuitäts- und statischer Grundgleichung zeigt, daß in einem stationären Druckgebilde damit eine Luftdruckänderung am Boden bzw. an der Obergrenze der Grenzschicht vom Betrag

$$\partial p_0/\partial t \approx \partial p_h/\partial t = g\rho_h w_h$$

einhergeht. Ein Vergleich des Spin-down- mit dem historisch älteren Fill-in-Konzept ergibt

$$p_h^{-1}\partial p_h/\partial t = a\zeta_g/f \approx - f^{-1}d\zeta_g/dt$$

mit der Zeitkonstanten a wie oben (man beachte, daß auf beiden Halbkugeln sign ζ_g = sign f einem zyklonalen Wirbel [Tiefdruckgebiet], sign $\zeta_g \neq$ sign f dagegen einem antizyklonalen Wirbel [Hochdruckgebiet] entspricht und f selbst positiv auf der Nord-, negativ auf der Südhalbkugel ist).

Da nun aber die Druckstörungen in der unteren Atmosphäre mit p' ≈ 10...50 hPa von der (relativen) Größenordnung $|p'/p| \approx 0{,}01...0{,}05$ sind, während die Beträge der relativen Vorticity mit $|\zeta_g| \approx (1...5)10^{-5}\,s^{-1}$ $|\zeta_g/f| \approx 0{,}1...0{,}5$ liefern, würde sich die Druckstörung nach unserer Abschätzung in einer um etwa eine Größenordnung kürzeren Zeit abbauen als der zugehörige Wirbel. Diese Diskrepanz erklärt sich daraus, daß das Spin-down-Konzept allein die Wirbel-, das Fill-in-Konzept allein die Massenbilanz der Druckgebilde ohne Berücksichtigung der Koppelung zwischen Massen- und Bewegungsfeld erfaßt.

---

38 Vgl. z. B. Exner, F. M.: Dynamische Meteorologie. Leipzig, Berlin, 1917, S. 113f., 223f.; Schmidt, W.: Ausfüllende, im Sinne des Druckgefälles verlaufende Luftströmungen unter verschiedenen Breiten. Ann. Hydrogr. marit. Meteorol. 46, 1918, 130–132.

39 Bernhardt, K.: „Spin down“ versus „Fill in“ – zur Abschätzung des Effektes reibungsbedingter Sekundärzirkulationen. Ann. Meteorol. 37, Bd. 2, 1998, 401–402.

Diese Koppelung kann für die hier zur Debatte stehende Abschätzung mittels der barotropen Vorticitygleichung erfolgen, indem man, wie auch schon von Charney und Eliassen praktiziert,[40] die quasigeostrophisch approximierte reibungsfreie Vorticitygleichung für das Geopotential Φ einer Druckfläche im Niveau h der Grenzschichtobergrenze durch einen reibungsbedingten Vertikalbewegungsterm ergänzt, so daß ohne Berücksichtigung der Vorticityadvektion

$$(\partial\Phi/\partial t)_h = g w_h + f^{-2} RT\, \Delta(\partial\Phi/\partial t)_h$$

wird.

Mit dem Rossbyschen Deformationsradius L_R entsprechend $L_R^2 = RT/f^2 = gH/f^2$ und dem charakteristischen horizontalen Längenmaßstab L_h für den geostrophisch approximierten Wirbel (relative Vorticity) ζ_g bzw. die zugeordnete Geopotential/Druckfeldstörung Φ', p' und daher $\zeta_g = \Delta\Phi/f \sim -\Phi'/ L_h^2$ folgen mit $\lambda = L_h/L_R$

$$(\partial\Phi'/\partial t)_h \approx g w_h/(1 + \lambda^{-2}), \quad f^{-1}\partial\zeta_g/\partial t \approx -w_h/H_h(1 + \lambda^2)$$

bzw.

$$\Phi'^{-1}(\partial\Phi'/\partial t)_h \approx \zeta_g^{-1}\partial\zeta_g/\partial t \approx -f w_h/\zeta_g H_h(1 + \lambda^2).$$

Dank der quasigeostrophischen Approximation beschreiben die vorstehend abgeleiteten Formeln das durch die reibungsbedingten Vertikalbewegungen verursachte Abklingen stationärer barotroper Wirbel und Druckfeldstörungen in einheitlicher Weise, so daß die oben vermerkte Diskrepanz zwischen den von Spin-down- und Fill-in-Ansatz gelieferten Abklingzeiten beseitigt ist. Die in beiden Konzepten willkürlich vorgegebene Strömungsdivergenz in der freien Atmosphäre wird in der hier skizzierten Ableitung implizit durch die Divergenz der isallobarischen ageostrophischen Windkomponente ausgedrückt, die mit der Druckfeldänderung selbst verknüpft ist.

Im Zusammenhang damit ist das Abklingverhalten nach den neuen Formeln über die Maßzahl λ im Gegensatz zu den herkömmlichen Lehrbuchansätzen scaleabhängig. Dabei kann die Länge L_R als Radius eines Trägheitskreises interpretiert werden, der mit dem $2^{-1/2}$-, d. h. dem ca. 0,707-fachen der Geschwindigkeit des freien Falles aus der Skalenhöhe H ≈ 8 km durchlaufen wird, wobei in mittleren und höheren Breiten $L_R = (RT/f^2)^{1/2} = (gH/f^2)^{1/2} \approx 3000$ km ist.

40 Vgl. Charney, Eliassen, Anm. 10, a.a.O., S. 41f.

Wird die im Rahmen der reibungsbedingten Sekundärzirkulation an der Obergrenze der Grenzschicht auftretende Vertikalgeschwindigkeit wieder nach unserer zu

$$w_h = v_g \zeta_g (c_g^2 \cos\alpha)/f$$

vereinfachten allgemeineren Formel[41] ausgedrückt und wird wiederum im Sinne einer Scale-Betrachtung $v_g \sim |\Phi'/ f\, Lh|$ gesetzt, so resultieren

$$(|\zeta_g|\zeta_g)^{-1} \partial\zeta_g/\partial t \approx -g\,(c_g^2 \cos\alpha)/f^2\, L_h\,(1 + \lambda^{-2})$$

und nach Integration von $t = t_0$ ($v_g(t_0) = v_{g0}$, $\zeta_g(t_0) = \zeta_{g0}$) bis t schließlich ein hyperbolisches Abklingverhalten des Betrages der relativen Vorticity (und analog der Druckfeld/Geopotentialstörung) ohne Vorzeichenwechsel entsprechend dem Ausdruck

$$|1/\zeta_g(t) - 1/\zeta_g(t_0)| \approx (t - t_0) g (c_g^2 \cos\alpha)/f^2\, L_h\,(1 + \lambda^{-2}).$$

Wie nach weiteren Umformungen ersichtlich, wäre unter den getroffenen Voraussetzungen und Vereinfachungen nach Ablauf der Zeit

$$t_n - t_0 = (n - 1)(1 + \lambda^2) H_h/v_{g0} c_g^2 \cos\alpha$$

der Betrag der relativen Vorticity auf den n-ten Teil ihres Ausgangswertes ζ_{g0} zurückgegangen.

Während die Größenordnung von $H_h/v_{g0}c_g^2\cos\alpha \approx 10^6$ s (10^5 ... 10^7 s) etwa mit den traditionellen Abschätzungen übereinstimmt, ist die vorstehend skizzierte Ableitung gegenüber den einschlägigen Lehrbuchdarstellungen insofern realistischer, als eine Parametrisierung des für die Reibung verantwortlichen turbulenten Impulsaustauschs (eddy viscosity) über die beobachtbzw. meßbaren Größen v_g, c_g und α erfolgt, womit die Abnahme des Impulsaustauschs mit sinkender geostrophischer Windgeschwindigkeit in der abklingenden Störung berücksichtigt wird (daher kein exponentielles Abklingen!) und eine bessere Anpassung der Formeln an unterschiedliche Unterlagen (Meeres- oder Landoberflächen mit verschiedener Rauhigkeit) sowie thermische Schichtungsverhältnisse möglich ist. Realistisch ist ferner die gefundene Abhängigkeit der Abklingzeit von der horizontalen Ausdehnung der Störung, wie sie auch Gill[42] abgeleitet hat.

---

41 Vgl. Bernhardt, Anm. 36, a. a O.

42 Gill, A. E.: Atmospheric-Ocean Dynamics. Internat. Geophys. Ser. 30, 1982. San Diego etc., S. 353 ff.

4.

Zu Einsteins Klassenvortrag und der anschließenden Veröffentlichung bleibt abschließend festzustellen, daß seine Ausführungen zur Flußmäanderbildung und zur Begründung des Baerschen Gesetzes wohl hauptsächlich der Selbstverständigung über einen Baustein seines physikalischen Weltbildes gedient haben dürften. Hervorgegangen aus Diskussionen, in denen er bei seinen Gesprächspartnern offenbar eine vollständige Kenntnis der ursächlichen Zusammenhänge vermißte, waren seine Darlegungen zwar präzise und klärend, aber ohne grundsätzlichen Neuheitswert. Sie betrafen, wie unsere Literaturangaben ausweisen, immerhin einen Gegenstand, der bereits über fünf Jahrzehnte in den Bulletins der Wissenschaftsakademien zu London, Paris, St. Petersburg, Berlin und Wien seine Spuren hinterlassen hatte und in der Fachliteratur auch in der Folgezeit noch weiter behandelt wurde.

Ganz im Gegensatz zu seiner ebenfalls im Rahmen der klassischen Physik begründeten Theorie der Brownschen Bewegung[43] blieb Einsteins Exkurs in die Geomorphologie weitgehend folgenlos – die entsprechenden Lehrbuchwerke nehmen von seiner Arbeit in der Regel keine Kenntnis, obgleich dies angesichts der Klarheit der Einsteinschen Darstellung durchaus wünschenswert wäre. Ebenfalls wünschenswert und denkbar wäre eine quantitative Weiterentwicklung der Einsteinschen Darlegungen im Rahmen einer theoretischen Geomorphologie, zu der H. Ertel in den sechziger Jahren des 20. Jahrhunderts auf dem Gebiet der Potamologie mit theoretischen Ansätzen zur Beschreibung der fluvialen Erosion und Akkumulation Beiträge geleistet hat.[44]

Eine mathematische Modellierung der Mäanderbildung und des Einflusses von Krümmungs- und Corioliseffekten auf die Gestalt der Flußufer könnte über die Erklärung rezenter geomorpholgischer Formbildungen hinaus auch die Grundlage für die Lösung einer inversen Aufgabe abgeben – die Ableitung von Aussagen über das Abflußregime fossiler Flußläufe aus Vermessungen ihrer heutigen geometrischen Parameter. Anwendungen auf die

43 Die diesbezüglichen Untersuchungen Einsteins über die Theorie der Brownschen Bewegung aus dem „annus mirabilis“ 1905 sind z. B. zusammengestellt in: Fürth, R. (Hrsg.): Ostwalds Klassiker der exakten Wissenschaften, Bd. 199, Reprint der Einzelbände 199 und 207. 3. Aufl., Leipzig 1997, S. 1–53.

44 Ertel, H.: Fluviale Erosion und Akkumulation. Monatsber. d. DAW 5, 1963, 515–518; Flußbett-Deformation durch Akkumulation und Deformation. Ebenda, S. 682–683; Die Veränderung der Flußquerschnitte durch Erosion und Akkumulation. Acta Hydrophys. 8, 1964, 141–145.

irdische Klimageschichte wären ebenso denkbar wie auf die Geschichte eines vermuteten früheren hydrologischen Regimes auf dem Mars oder auf die fremdartige Welt der vielleicht von flüssigem Methan erfüllten Rinnen auf der Oberfläche des Saturnmondes Titan.

Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät *78/79(2005), 97–103*

Hans-Jürgen Treder[1]

Einstein und Planck

Das Verhältnis von Max Planck und Albert Einstein kann man durch zwei Sätze charakterisieren, die Planck und Einstein wohl gemeinsam geteilt haben: Der erste Satz, viel nach Einstein zitiert – man könnte ihn auch mit etwas anderen Worten nach Planck zitieren – lautet: Gott würfelt nicht. Der zweite Satz, den man nach Einstein und nach Planck zitieren kann, besagt, dass jede physikalische Aussage nur in bezug auf eine Theorie einen Sinn bekommt. Nur die Theorie entscheidet, meint Planck, was man misst und ob man etwas Sinnvolles misst. Planck sagte auch, je abstrakter eine Theorie ist, umso größer ist ihre Möglichkeit, Wahrheit zu enthalten. Und jeder Fortschritt der Ansichten in der theoretischen Physik ist ein Fortschritt in der Mathematisierung dieser theoretischen Physik.

Alles andere, was nicht mathematisch fassbar ist, muss sich auf Redewendungen stützen, die missverständlich sein können und die vor allem auch nicht die Garantie geben, dass man sich nicht selbst widerspricht. Die mathematische Theorie aber schließt den Selbstwiderspruch aus – den würde man sehr schnell finden.

Die Begegnung zwischen Einstein und Planck war die Begegnung zwischen zwei Generationen – Planck im Jahre 1858, Einstein 1879 geboren. Planck kam aus einem großbürgerlichen Haus. Er wollte, wie wir wissen, ursprünglich Musiker werden. Sein Vater war Gerichtspräsident und führte ihn zu dem damaligen großen Konzertmeister und Geiger, dem Direktor der Berliner Hochschule für Musik, Joachim. Er stellte ihm den Jungen vor und fragte, ob Joachim zustimmen könne, dass er Musiker wird. Der fragte, was wollen Sie denn spielen – eine Geige, ein Orchesterinstrument? Planck antwortete, ich möchte gern Klavier spielen. Dann spielen Sie mir etwas vor! Aber dann sagte er: Herr Planck, es ist ein schlechter Beruf, wenn man Kla-

1 Vortrag auf dem wissenschaftlichen Kolloquium „Albert Einstein in Berlin“ am 17. März 2005. Nach einem Tonbandmitschnitt bearbeitet von Hannelore und Karl-Heinz Bernhardt, autorisiert von Hans-Jürgen Treder.

vierlehrer werden muss. Es gibt zu wenige Solisten, und zum Solisten reicht es bei Ihnen nicht. Können Sie nicht ein anderes Fach wählen?

Planck entschied sich dann zum Physikstudium in München und ging zu einem damals sehr bekannten Physiker, der ihm sagte: Herr Planck, was wollen Sie eigentlich? Mit der Entdekkung des Satzes von der Erhaltung der Energie ist die Physik doch im wesentlichen abgeschlossen. Die Physik wird überall gebraucht, aber Neues werden Sie in der Physik nicht finden.

Wir wissen, dass sich Planck zuerst dem Gebiet der Physik zuwandte, das noch neu dastand bzw. im Entstehen war – der Thermodynamik. Über ein etwas trauriges Erlebnis berichtet Planck: Als er, schon als Dozent, seine Arbeiten zum zweiten Hauptsatz an Clausius geschickt hatte, wollte er ihn sprechen, ging zur Wohnung, gab seine Karte ab und bat um einen Termin. Die Wirtschafterin kam zurück und sagte, der Herr Geheimrat ist leider nicht anwesend. Aber als Planck dann wegging, zeigte sich Clausius am Fenster. Also er hatte kein Interesse an einer Diskussion.

Planck hat sehr bedauert, dass er in seiner Berliner Zeit nicht alles hören konnte, was er hören wollte, weil weder Helmholtz noch Kirchhoff damals über Thermodynamik lasen. Bei Helmholtz hatte er den Eindruck, dass dieser keine große Lust hatte zu lesen und sich ärgerte, dass nicht allzu viele Studenten da waren. Bei Kirchhoff war es ganz anders – man hatte das Gefühl, dass ein Lehrbuch vorgetragen wurde. Planck hat von Helmholtz und von Kirchhoff genau wie von Clausius unendlich viel gelernt und unendlich viel übernommen.

Die Thermodynamik war das Gebiet, von dem Planck ausging und die das Gebiet der Physik darstellte, das er als das neue und keinesfalls ausgeschöpfte, keineswegs durchmathematisierte Gebiet der Physik ansah.

Ich komme jetzt schon zur Situation in der Theorie der Brownschen Bewegung. Die ist mit Recht von den Vortragenden hier schon ganz stark betont worden. Die Schwierigkeiten in der Theorie der Brownschen Bewegung lagen in den Schwierigkeiten der statistischen Physik, und wir wissen, dass Planck über Jahrzehnte ein großer Zweifler an der Boltzmannschen Form der statistischen Physik war. Planck als Chefredakteur der „Annalen der Physik“ war begeistert, als er Einsteins Arbeit sah, die ja eine Dissertation war, und erkannte, dass es hier gelang, unabhängig von allen ihm zweifelhaft erscheinenden Hypothesen der statistischen Physik durch die stochastischen Methoden von Einstein zu Ergebnissen zu gelangen, die unabhängig von der Gültigkeit der Boltzmannschen Stastistik, der Boltzmannschen Gastheorie usw. sind.

Eine ähnliche Entwicklung hat, vielleicht unter dem Einfluß der Arbeiten von Planck, bei Einstein während seiner Professur an der Universität Zürich stattgefunden. Hier las er auch über Thermodynamik, Statistik und kinetische Gastheorie. Dabei machte Einstein eine höchst interessante Entwicklung durch, von der er vielleicht nicht wusste, dass sie schon an anderer Stelle geschehen war. Er unterschied nämlich – in unserer jetzigen Sprache – zwischen den Ensembles der statistischen Physik und den Assembles der kinetischen Gastheorie. Bei der kinetischen Gastheorie ist Boltzmanns Methode außerordentlich hilfreich. Bei den Grundlagenfragen der Statistik führt sie dagegen zu Widersprüchen. Die richtige Methode, die Einstein kennenlernte und die später von Planck in Europa populär gemacht wurde, war natürlich die Gibbssche Statistik.

Das war also eine Begegnung auf einem Gebiet, auf dem beide, Planck und Einstein, aus dem Zweifel an der Reife einer Methode zu der Erkenntnis kamen, dass man diese Methode mathematisch schärfer fassen müsse, was zu dem Gibbsschen Ensemble der Assembles führte. Planck sah, dass auf dem Gebiet, auf dem er der große Kenner war, Einstein ihm Dinge nahebrachte, die er, Planck, noch gar nicht so gesehen hatte.

Die zweite große Leistung dann, die Planck sofort aufnahm und die mit Einsteins Doktorarbeit nichts zu tun hatte, war die Theorie der Relativität. Hier möchte ich auch nur Anekdoten erzählen. Man sagt, zwei große Theorien standen am Anfang des 20. Jahrhunderts – die Quantentheorie, angeregt von Planck, und die Relativitätstheorie, begründet von Einstein. Es ist recht interessant, aus dem Briefwechsel und aus den Notizen von Planck und Einstein zu sehen, dass diese Entwicklung ganz merkwürdig verlief – ohne Kritik am anderen, sondern einfach durch selbstverständliches Übernehmen der eigenen Denk- und Fragestellungen. Man kann sagen, bei Planck steht niemals eine Gleichung für $E = h\nu$. Es steht $\Delta E = h\Delta\nu$. Und in den ersten Arbeiten von Einstein über die Masse der Energie steht nicht etwa $E = mc^2$, sondern $\Delta mc^2 = \Delta E$: Also immer nur die Änderungen sind zueinander proportional, nicht die Größen selbst. Diese Frage ist für die spezielle Relativitätstheorie ohne jede Bedeutung. und von dem anderen jeweils richtig gestellt worden, ohne einen Anspruch zu erheben oder ohne Einspruch einzulegen. Zum ersten Mal steht tatsächlich $mc^2 = E$ in Plancks Arbeit „Zur Dynamik bewegter Systeme**“** (1908), die er 1907 in der Akademie vorzutragen begann. Und bei Einstein steht in der Arbeit „Zum gegenwärtigen Stand des Strahlungsproblems“ aus dem Jahre 1909 zum erstenmal die Aussage, dass $E = h\nu$ ist.

Ein Unterschied war, daß Planck keinerlei Bedenken gegen die spezielle Relativitätstheorie, wohl aber einige Bedenken gegen seine eigene Quantentheorie hatte. Die spezielle Relativitätstheorie erschien Planck als die logische Konsequenz der Tatsache, dass man eine Mechanik aufbauen sollte, die mit der Elektrodynamik kompatibel ist und die nicht zwei physikalische Dinge nebeneinander stellt, dass man auch nicht etwa der Anregung von Poincaré folgen sollte, die Elektrodynamik so lange abzuändern, bis sie in die normale Kinematik hineinpasst. Planck war der Ansicht, eine Theorie ist umso schöner, je einfacher sie ist, und umso tiefer, je umfassender die Denkmittel sind, die man einsetzen muss, um sie voll zu erfassen – umso reifer ist die Theorie und umso wichtiger wird sie.

Für Planck war klar, dass die spezielle Relativitätstheorie in Lagrangescher oder in Hamiltonscher Form geschrieben werden muss, und zweitens war ihm klar, dass Einstein dies sofort einsehen würde. Und er hat das auch sofort eingesehen. Er hat es auch gar nicht übelgenommen und gar nichts dazu gesagt, das war selbstverständlich so. Er hat einfach in Begeisterung für die Konsequenzen den letzten Formalismus nicht hingeschrieben.

Bei der Planckschen Strahlungstheorie war es etwas schwieriger. In seinem Wahlvorschlag für Einstein in die Akademie hatte Planck angemerkt, man dürfe es dem Kandidaten nicht allzu schwer anrechnen, dass er in seinen Spekulationen gelegentlich auch einmal über das Ziel hinausgeschossen sei, wie z. B. in seiner Hypothese der Lichtquanten**.** Planck hat also Einstein kritisiert, dass er die Quanten zu ernst nähme – dass sei eine Übertreibung, er sei nicht der Meinung, dass diese Quanten die letzte Lösung aller Probleme sein könnten. Einstein dagegen hat einmal zu Planck gesagt: Sie irren, Herr Planck, wenn Sie meinen, aus Hypothesen zu Atommodellen, wie dem von J. J. Thomson, kann man die Quantenstreuung des Lichtes ableiten. Den Aufbau der Atome müssen wir auf der Basis Ihrer Konstanten h verstehen. Der Atomaufbau wird durch die Existenz der Planckschen Konstanten reguliert. Ihre Konstante ist die Garantie für die Existenz und für den Aufbau der Atome.

Diese Ansicht wollte Planck nicht akzeptieren, hingegen akzeptierte er die einzelnen Beiträge von Einstein, aber erst relativ spät. Es gibt nun eine zweite Diskussion, die vielleicht noch charakteristischer ist. Einstein hatte ja zunächst, als er aus Zürich nach Berlin kam, bereits einige Ansätze zur allgemeinen Relativität im Kopf. Er hatte in der Schweiz einen Mathematiker kennen gelernt, Grossmann, der ein Spezialist in der darstellenden Geometrie war, ein offenbar etwas schwieriger Herr, ein Jahr älter als Einstein, der Einstein überzeugte, dass es unmöglich sei, eine kovariante Gravitationstheorie

aufzubauen. Die Bestimmung der Geometrie durch die Feldgleichungen würde ja bereits die Kovarianz ausschließen – so Grossmanns Argument. Dieses Vorurteil steht in der bekannten Arbeit von Einstein und Grossmann. Das brachte Einstein sehr schnell in eine etwas harte Diskussion mit Planck. Planck sagte etwa, Ihre neue Theorie, an die ich glaube und auf die ich hoffe, kann nicht weniger Symmetrieeigenschaften und nicht weniger algebraische Strukturen haben als die spezielle Relativitätstheorie. Ein Vorteil kann es nur dann sein, wenn es Ihnen möglich ist, an Stelle der Kinematik nunmehr die gesamte Newtonsche Gravitationsmechanik in einer Theorie zu erfassen, die alle Invarianzeigenschaften der speziellen Relativitätstheorie erfüllt und keinerlei Ausnahmen in der mathematischen Darstellung verlangt.

Die Situation war damals so, dass niemand von den Physikern und auch viele Mathematiker nicht die neue Entwicklung der Mathematik in Italien kannten, die durch Namen wie Ricci, Bianchi und später Levi-Civita – ein Zeitgenosse Einsteins – gekennzeichnet war. Einstein hat fast noch eineinhalb Jahre gebraucht, um vom Einstein-Grossmannschen Standpunkt, wonach es keine kovariante Gravitationstheorie gibt, zur kovarianten Gravitationstheorie vorzustoßen, und zwar über die Theorie von Nordström und Einstein-Fokker, in der zuerst einmal Räume, die konform zu Minkowski-Räumen sind, behandelt wurden, zur Theorie von 1915, die Einstein noch einmal kurz vor der Veröffentlichung mit den richtigen endgültigen Feldgleichungen ergänzt hat: $R_{ik} = -\kappa(T_{ik} - \frac{1}{2}g_{ik}T)$.

Diese Theorie hat Planck begeistert. Jahre später hielt Planck 1924 einen Vortrag „Vom Relativen zum Absoluten“. In diesem Vortrag erklärt Planck, dass es der Fortschritt der Physik sei, von relativen, nur unter bestimmten Bedingungen geltenden zu immer absoluteren Gesetzen vorzustoßen, die mathematisch ein viel größeres Gebiet viel abstrakter umfassen und die vorherigen Entwicklungen als Spezialfall enthalten, indem sie sagen, wenn dies und dies und dies gilt, dann kriegen wir diese Theorie heraus, eine allgemeine Theorie in der möglichen Verfolgung eines Hamiltonschen oder Lagrangeschen Formalismus. Eine solche Theorie ist der Zugang zur Wahrheit. Und als man ihn fragte, Herr Geheimrat, was sagen Sie da zur Relativitätstheorie, sagte er: Nein, das ist statistisch gerade der beste Beweis – sie ist die größte Absolutheitstheorie, die es gibt. Sie hat tatsächlich die gesamte Dynamik auf ein Niveau gebracht, das man von einer theoretischen Physik zu fordern hat.

Nun zu einer anderen Anekdote, die die Frage der kosmologischen Konstanten und anderer physikalischer Konstanten betrifft. In seiner Arbeit „Über irreversible Strahlungsvorgänge, 5. Mitteilung“ von 1899, in der Planck die

Entdeckung seines Strahlungsgesetzes vorbereitet hatte, taucht zum ersten Mal, mit etwas anderen Buchstaben geschrieben, Plancks Konstante h auf. Und bei der weiteren Entwicklung dieser Dinge ist Planck, seiner allgemeinen Absolutheitsvorstellung folgend, dazu gelangt zu sagen: Das ist doch wunderschön, wir haben die Gravitationskonstante G, die Lichtgeschwindigkeit c, die er beide für absolute Größen erklärte, und wenn wir jetzt h hinzunehmen, haben wir ein vollständiges System von physikalischen Größen, mit denen wir Länge, Zeit und Masse definieren können, darunter die Plancksche Elementarlänge von 10^{-33} cm und die Plancksche Masse von etwa 10^{-5} g. Die Elektrodynamik kann das nicht bringen, denn es fehlt ja dort die Gravitationskonstante. Albert Einstein nun stieß zu einer ähnlichen Längengröße vor, allerdings von ganz anderer Größenordnung: Statt 10^{-33} cm fand er etwas von 10^{27} cm – die kosmologische Konstante, die er 1917 in die Physik einführte und die, wie aus Diskussionen klar geworden ist, die fundamentale Konstante der heutigen Kosmologie darstellt.

Ich möchte mit einer Erinnerung schließen. 1965 war der 50. Jahrestag der allgemeinen Relativitätstheorie, und an der Deutschen Akademie der Wissenschaften in Berlin waren mehrere hundert Teilnehmer zum Einstein-Symposium erschienen, darunter viele Amerikaner, Engländer, Franzosen, aber auch Niederländer und Skandinavier. Und es gab zwei große Sensationen. Die eine wurde sogleich als Sensation empfunden, die andere stellte sich später als die viel größere heraus. Die erste war, dass der amerikanische Physiker Wheeler, bekannt durch das Kernmodell von Bohr, Wheeler usw., mitteilte, dass nun auch die amerikanischen Radioastronomen die bisher nur von den Engländern gefundene schwarze Hintergrundstrahlung, die 3 K-Strahlung gefunden haben. Damit sei endgültig klar, dass wir eine expandierende Welt haben und die allgemeine Relativitätstheorie grundsätzlich richtig ist. Das gab einigen großen Ärger unter den englischen Herren, die die Steady-State-Theorie und alle möglichen anderen neuerfundenen Kosmologien zur Hand hatten, die man nun alle weglegen konnte, denn es gab die 3 K-Strahlung und den expandierenden Kosmos. Das war nun klar, es war bewiesen.

Eine Sensation, die nur wenige empfanden, aber viele später als solche erkannten, war eine Mitteilung von Léon Rosenfeld, dem Schüler und Mitarbeiter von Nils Bohr. Rosenfeld trug über die Messbarkeit von kleinen Längen unter der Voraussetzung vor, dass sowohl die Quantentheorie als auch die Relativitätstheorie gültig sind. In Wirklichkeit brauchte er relativ wenig vorauszusetzen, nämlich nur, dass die Messungen akausal sind, dass die Heisenbergsche Unschärferelation gilt und dass die träge Masse eines Mess-

körpers gleich seiner schweren Masse ist. Unter diesen Voraussetzungen konnte Rosenfeld zeigen, dass es völlig unmöglich, grundsätzlich unmöglich ist, mit irgendeinem physikalischen Instrument Längen zu messen, die kleiner als 10^{-33} cm, also kleiner als die Plancksche Elementarlänge sind. Die Plancksche Elementarlänge wurde erst Wochen später herausgesucht, und es wurde gefunden, dass schon alles bei Planck steht. Wieso aber kannte man die Plancksche Elementarlänge nicht? Planck hat sie doch schon 1899 veröffentlicht und in seine ersten Bücher über die Theorie der Wärmestrahlung aufgenommen. In der 4. Auflage meinte Planck, wir haben so viel Stoff, da können wir solche überflüssigen Sachen wie Fundamentalgrößen weglassen. Diese weltweit verbreitete und mehrfach übersetzte Auflage wurde allgemein gelesen und kein Physiker hat gelesen, was in der alten Ausgabe stand. Auch die jungen deutschen Physiker, wie Heisenberg, hatten alle die letzte Ausgabe der Theorie der Wärmestrahlung von Planck zur Hand, und in der hat Planck die Elementarlänge gestrichen. 1938, zum 80. Geburtstag von Planck, wurde ein Heft der „Naturwissenschaften“ veröffentlicht, in dem u. a. auch Werner Heisenberg über eine Elementarlänge schrieb, vor allem über seine eigene wie auch über die von Fermi. Er hat die Plancksche Länge nicht gekannt, die Arbeit Planck gewidmet, der sich nicht beschwert hat und sie selbst wohl auch nicht mehr gekannt hat.

Einstein hat die kosmologische Konstante später eliminiert. Er hat gesagt, die kosmologische Konstante war eine große Dummheit, denn er ärgerte sich darüber, dass der statische Kosmos, den er haben wollte, nach dem Machschen Prinzip durch den de Sitterschen expandierenden Kosmos und vor allem dann durch den Friedmann-Lemaîtreschen Kosmos ausgeschlossen war. Es galt, mit und ohne kosmologischer Konstante, dass der Einsteinsche Kosmos nur ein ganz spezieller Fall ist, nur ein Kunstprodukt. Deswegen war Einstein mit dieser Konstanten nicht einverstanden.

Einstein hat dann in seinen Büchern nur noch geschimpft oder zumindest die Stirn gerunzelt, wenn jemand mit der kosmologischen Konstanten kam. Wir sind jetzt wohl der Ansicht, dass die Einsteinsche kosmologische Konstante die viel diskutierte Hintergrundmaterie, die sogenannte unsichtbare Materie ergibt und dass die Plancksche Universallänge, die kleinste Länge, der Maßstab ist, der hinter den ganzen Spekulationen um Strings, Quarks usw. stehen muss. Das zeigt dann doch die Überlegenheit der Theorie selbst vor den Gedanken der Theoretiker.

Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät *78/79(2005), 105–122*

Herbert Hörz

Das Geheimnisvolle als Grundgefühl wahrer Kunst und Wissenschaft. Zur Aktualität philosophischer Gedanken von Einstein

Problemstellung

In den Darlegungen zum Einfluss von Einsteins Werk auf unsere Welt schrieb der polnische Physiker Leopold Infeld, der mit Einstein die immer wieder faszinierende Evolution der Physik darstellte (Einstein, Infeld 1956), über den Physiker und Philosophen: „Einstein wirkt auf uns durch seine Lehre, durch seine Gedanken, durch das geschriebene Wort. Er ist seinem Wesen nach kein Mann der Tat. Doch bezweifle ich, daß es jemals in der Wissenschaft einen Mann gab, der so wie Einstein die Phantasie der Menschen auf der ganzen Welt angeregt hat." (Infeld, 1953, 162) Es ist deshalb bedenkenswert, zum Jubiläum physikalischer Großtaten, sich über die Aktualität seiner philosophischen Gedanken zu äußern. Als Motto dafür nehme ich Einsteins Feststellung: „Das Schönste, was wir erleben können, ist das Geheimnisvolle. Es ist das Grundgefühl, das an der Wiege von wahrer Kunst und Wissenschaft steht. Wer es nicht kennt und sich nicht mehr wundern, nicht mehr staunen kann, der ist sozusagen tot und sein Auge erloschen." (Einstein 1956, 9f.)

Es sind immer wieder geheimnisvolle Welträtsel, die uns bewegen, die wir teilweise lösen und dann wieder neu bestimmen. Sie umfassen den Kosmos und das irdische Dasein, die Wunder des Denkens und Fühlens, das Verständnis für unser eigenes Erkennen und Handeln. Die Rätsel regen unseren Geist an, beschäftigen unsere Phantasie und lehren uns die Furcht vor dem Ungewissen. So meint Einstein, das Erlebnis des Geheimnisvollen habe auch die Religion gezeugt. Doch einen Gott, der lohnt und straft, könne er sich nicht einbilden. „Mir genügt das Mysterium der Ewigkeit des Lebens und das Bewußtsein und die Ahnung von dem wunderbaren Bau des Seienden sowie das ergebene Streben nach dem Begreifen eines noch so winzigen Teiles der in der Natur sich manifestierenden Vernunft." (Einstein, 1956, 10) Den Schleier um das Geheimnisvolle ein wenig zu lüften, um besser zu erkennen,

was die Welt im Innersten zusammenhält, wollten und wollen Einstein und die großen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler, Künstlerinnen und Künstler der Vergangenheit und Gegenwart. Einigen der Gedanken von Einstein nachzuspüren und ihre Bedeutung für die Gegenwart zu erkennen, habe ich mir als Aufgabe gestellt.

Dabei geht es um drei Problemkreise, die in der aktuellen Diskussion sind. Zum Verständnis sind Einsteins Überlegungen als Denkhilfe zu nutzen. So möchte ich, im Zusammenhang mit den kontroversen Debatten um eine Bildungsreform, auf Einsteins Gedanken zur Kreativität eingehen. Erlebte Kriege, mit dem Kampf um Menschenrechte und gegen den Terrorismus begründet, fordern dazu heraus, Einsteins Ablehnung von Kriegen und Vaterländerei sowie seine Diskussion mit Sigmund Freud dazu zu bedenken. Direkt angesprochen mit dem Thema ist das Geheimnisvolle als Grundgefühl wahrer Kunst und Wissenschaft, was uns zu einer immer wieder interessanten Debatte über das Verhältnis beider führt.

Bevor ich darauf eingehe, will ich kurz meine Erfahrungen als Wissenschaftsphilosoph mit dem Werk Einsteins schildern, um dann Einsteins Weltsicht als Grundlage für Überlegungen zur Aktualität seiner Gedanken zu den genannten Themen zu charakterisieren.

Erfahrungen

Einsteins Überlegungen haben meine philosophische Arbeit immer begleitet. Schon als Student für Philosophie und Physik in Jena und Berlin hatte mich Infelds Bericht über das Werk von Einstein, aus dem Englischen von meinem späteren Freund Engelbert Broda übersetzt, beeindruckt, da er auch die Diskussion um verschiedene Interpretationen der Relativitätstheorie ansprach, die, mit für mich nicht einsichtigen Argumenten, von manchen sowjetischen Philosophen als idealistisch abgelehnt wurden. Bei meinen Recherchen zu Heisenberg schenkte mir ein westdeutscher Kommilitone, mit dem ich über philosophische Probleme der Physik auf unseren gemeinsamen gesamtdeutschen Tagungen in den fünfziger Jahren diskutierte, die Evolution der Physik. Obwohl mich das Determinismusproblem besonders interessierte, da ich den objektiven Zufall als konstituierend für alles Geschehen ansah, beschäftigte mich die Raum-Problematik, die Gegenstand meines Habilitationsvortrags an der Humboldt-Universität war und später durch meine Studien zur Zeit ergänzt wurde. In gemeinsamen Artikeln mit Hans-Jürgen Treder ging es um die weltanschauliche Bedeutung von Erkenntnissen zur Evolution des Kosmos (Hörz, Treder 1977) und um die Ehrung Einsteins. (Hörz, Treder 1979)

Zur Vorbereitung der Einstein-Hundertjahrfeier 1979 in Berlin und Potsdam führte ich im Auftrag des Präsidenten der Akademie der Wissenschaften der DDR und in Absprache mit Hans-Jürgen Treder Verhandlungen mit der UNESCO in Paris über die Beteiligung an den Ehrungen der DDR, die ein großer Erfolg wurden, da wir uns auf die wissenschaftlichen Aspekte des Werks von Einstein konzentrierten und politische Querelen, von denen es viele gab, diplomatisch umgingen. Als Akademievertreter nahm ich dann mit Vorträgen an den Feiern in Bern und Ulm teil. In einem Beitrag zu Einsteins philosophischen Auffassungen (Hörz 1979) griff ich verschiedene Komplexe heraus, die für Einsteins philosophisches Denken bezeichnend sind. So ging es um Schöpfertum und Erfahrung, um Einsteins Forderung nach einer vollständigen Beschreibung physikalischer Ereignisse, die nach seiner Meinung von der Quantentheorie nicht geliefert wurde und um Einsteins kosmische Religiosität. Seine Auffassungen und meine Argumente dazu sind immer noch bedenkenswert.

Einsteins Weltsicht

In seinen Überlegungen „Wie ich die Welt sehe“, die um 1930 entstanden, betont Einstein, man sei für andere Menschen da. „Jeden Tag denke ich unzählige Male daran, daß mein äußeres und inneres Leben auf der Arbeit der jetzigen und der schon verstorbenen Menschen beruht, daß ich mich anstrengen muß, um zu geben im gleichen Ausmaß, wie ich empfangen habe und noch empfange.“ (Einstein 1956, 7) Das bezog er vor allem auf die Wissenschaft. Glück empfand er, wenn er ein theoretisches Problem entdeckte, eine Lösung dafür in der Literatur fand oder selbst eine anbieten konnte. Sein persönliches Leben unterordnete er der Wissenschaft, doch suchte er sehr wohl Zerstreuung, Geselligkeit und schöne Frauen. Soziale Fragen beschäftigten ihn sehr stark. „Die sozialen Klassenunterschiede empfinde ich als nicht gerechtfertigt und letzten Endes als auf Gewalt beruhend.“ (Einstein 1956, 7) Zwar betrachtet er die Frage nach dem Zweck des eigenen Daseins als sinnlos, anerkennt jedoch Ideale, die für Streben und Urteilen richtunggebend sind. Dazu gehören Güte, Schönheit und Wahrheit, während Behagen und Glück kein Selbstzweck seien, denn das sei als ethische Basis das Ideal der Schweineherde. Er brauche das Gefühl von Übereinstimmung mit Gleichgesinnten, die Beschäftigung mit dem Objektiven, dem ewig Unerreichbaren auf dem Gebiet der Kunst und des wissenschaftlichen Forschens, sonst wäre ihm das Leben leer erschienen. Banale Ziele menschlichen Strebens, wie Besitz, äußerer Erfolg und Luxus, seien verächtlich. So erzählt man die Anekdote von seinem alten Regenmantel, den er trotz Hinweisen auf seine

exponierte Stellung in Princeton mit der Bemerkung trug, ihn kenne doch keiner. Als er ihn später dann auch nicht wegwarf, meinte er auf Vorhaltungen, ihn kenne doch jeder damit.

Einstein setzte sich für soziale Gerechtigkeit ein. Sein politisches Ideal war die Demokratie, in der jede Person respektiert und keine vergöttert sein solle. Autokratische Systeme lehnte er ab, da selbst geniale Tyrannen Schurken als Nachfolger haben. Das Militär war ihm als schlimmste Ausgeburt des Herdenwesens verhasst, denn der, der mit Vergnügen in Reih und Glied zur Musik marschieren könne, habe sein großes Gehirn nur aus Irrtum bekommen. „Diesen Schandfleck der Zivilisation sollte man so schnell wie möglich zum Verschwinden bringen. Heldentum auf Kommando, sinnlose Gewalttat und die leidige Vaterländerei, wie glühend hasse ich sie, wie gemein und verächtlich erscheint mir der Krieg; ich möchte mich lieber in Stücke schlagen lassen, als mich an einem so elenden Tun beteiligen! Ich denke immerhin so gut von der Menschheit, daß ich glaube, dieser Spuk wäre schon längst verschwunden, wenn der gesunde Sinn der Völker nicht von geschäftlichen und politischen Interessenten durch Schule und Presse systematisch korrumpiert würde.“ (Einstein 1956, 9)

Wie sah es mit Einsteins Lebensmaximen praktisch aus? Die Physik hat er entwickelt, die Philosophie bereichert, in politische Konflikte sich eingemischt, Demokratie und soziale Gerechtigkeit angemahnt, doch im persönlichen Leben klappte nicht alles so, wie es sollte. Er sieht sich als „Einspänner“, „der dem Staat, der Heimat, dem Freundeskreis, ja, selbst der engeren Familie nie mit ganzem Herzen angehört hat, sondern all diesen Bindungen gegenüber ein nie sich legendes Gefühl der Fremdheit und des Bedürfnisses nach Einsamkeit empfunden hat ...“ (Einstein 1956, 8) 1903 heiratete er Mileva Maric und bekam Kinder. Die Tochter lebte nach der Geburt bei den Eltern von Mileva. Zwei Söhne blieben in der Familie. Doch 1914 trennten sich Albert und Mileva in Berlin. Mileva ging mit den Söhnen nach Zürich zurück. Einstein meinte später, er habe aus „Pflichtgefühl“ geheiratet und dabei mit innerem Widerstreben etwas unternommen, was über seine Kräfte ging. Aus Erfahrung, er hatte ein Nichtjüdin geheiratet, was den jüdischen Eltern Probleme bereitete, beantwortete er in Princeton die Frage jüdischer Studenten, ob eine Ehe außerhalb der Tradition zulässig sei, mit der Bemerkung, das sei gefährlich, doch schließlich sei jede Ehe gefährlich. (Fölsing 1995, 127f.)

1919 von Mileva geschieden, heiratete er seine Cousine Elsa, die ihn bei schwerer Krankheit gepflegt hatte. Sie war von den Frauenbekanntschaften ihres Mannes nicht gerade angetan. Er erklärte ihr, dass er zum getreuen Ehe-

mann nicht tauge. Es kam zum Streit, wenn er mit anderen Frauen ausgehen wollte und Elsa ihm das Geld dafür verweigerte. Er meinte, nicht wenige Männer und Frauen seien von Natur nicht monogam veranlagt. So sei, wie er eine Frau zu trösten suchte, die unter der Untreue ihres Mannes litt, erzwungene Treue für alle Beteiligten eine bittere Frucht. Sie solle deshalb ihrem Mann nicht grollen, sondern ihn bedauern. (Fölsing 1995, 699) Die Rigorosität in theoretischen Fragen, die Einstein zum Nutzen der Wissenschaft auszeichnete, zeigte er auch bei der Durchsetzung seiner persönlichen Lebensmaximen, was Trauer bei den dadurch Zurückgesetzten auslöste.

Vor allem lebte Einstein für die Wissenschaft. In seinen Überlegungen zu den Prinzipien der Forschung, die er Max Planck zum 60. Geburtstag 1918 widmete, spricht er vom Tempel der Wissenschaft, in dem verschiedene Menschen wandeln, darunter die, die Wissenschaft zur Befriedigung ihres Ehrgeizes betreiben und diejenigen, die wegen utilitaristischer Ziele ihr Opfer an Gehirnschmalz bringen. Vertriebe ein Engel beide Gruppen aus dem Tempel, der ohne sie nicht entstehen könne, dann blieben Menschen, die aus dem Alltag fliehen und ein vereinfachtes übersichtliches Bild der Welt gestalten. Dazu gehörten dann die theoretischen Physiker, die nach höchster Reinheit, Klarheit und Sicherheit auf Kosten der Vollständigkeit streben. Sie suchen die allgemeinsten elementaren Gesetze, um ein Weltbild zu gewinnen, denn diese „erheben den Anspruch, für jedes Naturgeschehen gültig zu sein. Auf ihnen sollte sich auf dem Wege reiner gedanklicher Deduktion die Abbildung, d.h. die Theorie eines jeden Naturprozesses einschließlich der Lebensvorgänge finden lassen, wenn jener Prozeß der Deduktion nicht weit über die Leistungsfähigkeit menschlichen Denkens hinausginge. Der Verzicht des physikalischen Weltbilds auf Vollständigkeit ist also kein prinzipieller.“ (Einstein 1956, 109)

Einstein stellte die Frage, wie man zu diesen allgemeinen Gesetzen kommen könne, die das Weltbild konstituieren. Es geht um die kreativen Leistungen der Wissenschaftler, um das Schöpfertum, worauf nun einzugehen ist.

Begriffe als freie Schöpfungen des Denkens

Begriffe sind nach Einstein freie Schöpfungen des Denkens, denn zu den gesuchten elementaren Gesetzen führe „kein logischer Weg, sondern nur die auf Einfühlung in die Erfahrung sich stützende Intuition.“ Diese Unsicherheit in der Methodik mache, so könne man meinen, viele beliebige gleichberechtigte Systeme der theoretischen Physik möglich, doch die Entwicklung habe gezeigt, dass von den denkbaren Konstruktionen sich eine als den anderen

überlegen erweise. „Keiner, der sich in den Gegenstand wirklich vertieft hat, wird leugnen, daß die Welt der Wahrnehmungen das theoretische System praktisch eindeutig bestimmt, trotzdem kein logischer Weg von den Wahrnehmungen zu den Grundsätzen der Theorie führt." (Einstein 1956, 109) Das habe Leibniz als prästabilierte Harmonie bezeichnet. An anderer Stelle betont Einstein, „die in unserem Denken und in unseren sprachlichen Äußerungen auftretenden Begriffe sind alle – logisch betrachtet – freie Schöpfungen des Denkens und können nicht aus den Sinnen-Erlebnissen induktiv gewonnen werden." (Einstein 1956, 38) Wir müssten uns der logisch unüberbrückbaren Kluft bewusst werden, die die Welt der sinnlichen Erlebnisse von der Welt der Begriffe, der Aussagen, trenne.

Prinzipiensuche ist neben der Modellbildung ein wichtiger Erkenntnisweg, der, wie bei Einstein, durch seine Einsichten in die Molekularbewegung und die Relativität von Raum und Zeit, zu einer prinzipiellen Änderung des Leitbilds der Physik führte. Leitbilder sind die philosophischen Prinzipien der Forschung, die erkenntnistheoretischen Prämissen und methodologischen Grundsätze. Sie werden nicht immer explizit dargestellt und manifestieren sich in Weltbildern, ausgearbeiteten Forschungsprogrammen und den „Paradigmen der Wissenschaft". (Hörz 2000) Einstein bemerkte in seiner Antrittsrede vor der Akademie: „Die Methode des Theoretikers bringt es mit sich, daß er als Fundament allgemeine Voraussetzungen, sogenannte Prinzipe, benutzt, aus denen er Folgerungen deduzieren kann. Seine Tätigkeit zerfällt also in zwei Teile. Er hat erstens jene Prinzipe aufzusuchen, zweitens die aus den Prinzipen fließenden Folgerungen zu entwickeln." (Physiker über Physiker II, 245) Für die erste Aufgabe sieht er keine systematisch anwendbare Methode. „Der Forscher muß vielmehr der Natur jene allgemeinen Prinzipe gleichsam ablauschen, indem er an größeren Komplexen von Erfahrungstatsachen gewisse allgemeine Züge erschaut, die sich scharf formulieren lassen." (Physiker über Physiker II, 245) Planck sah darin die schöpferische und die deduktive Tätigkeit, die beide für die Wissenschaft unentbehrlich seien, auch wenn sich jeder Wissenschaftler mehr zu der einen oder mehr zu der anderen hingezogen fühle. Für Einstein meinte er, dass dessen „eigentliche Liebe derjenigen Arbeitsrichtung gehört, in welcher die Persönlichkeit sich am freiesten entfaltet, in der die Einbildungskraft ihr reichstes Spiel treibt und der Forscher sich am ersten dem behaglichen Gefühl hingeben kann, daß er nicht so leicht durch einen anderen zu ersetzen ist. Freilich droht ihm dabei auch am ehesten die Gefahr, sich gelegentlich in allzu dunkle Gebiete zu verlieren und plötzlich unversehens auf harten Widerstand zu stoßen, sei es von Seiten der

Theoretiker oder, was schlimmer ist, von Seiten der Experimentatoren." (Physiker über Physiker II, 247)

Es ist das von Einstein angesprochene Grundprinzip des Geheimnisvollen, das denkende Menschen anzieht, ihre Neugier zu befriedigen. Zwar ist jede schöpferische Leistung ein Unikat, doch gibt es Aspekte, die lehr- und lernbar sind (Hörz 1975): Erstens ist die durch Hinweise auf offene Probleme immer wieder zu weckende Neugier, verbunden mit dem Wundern über Widersprüche zwischen Theorie und Experiment oder zwischen verschiedenen Theorien, wichtig. Zweitens sind Methoden wissenschaftlicher Arbeit erlernbar. Sie gruppieren sich um die Eckpunkte der mathematisch-logischen, experimentellen und historischen Methode als den Grundaneignungsweisen rationalen Verständnisses der Wirklichkeit, denn Menschen suchen bei der rationalen Aneignung der Wirklichkeit nach logisch widerspruchsfreien Theorien, verändern materiell-gegenständlich ihre Umgebung und erforschen die historischen Wurzeln ihres Denkens und Handelns. Drittens geht es um die durch Vorbilder und Charakterbildung zu erziehende Hartnäckigkeit, an Forschungszielen und erreichten Erkenntnissen festzuhalten, doch nicht kritikimmun zu werden. Wichtig ist es, die Ideen Jüngerer ernst zu nehmen, die sich von Vorurteilen befreien wollen. Manchmal sind sie so „verrückt", dass sie ein altes Problem auf neue Weise lösen, wie es Einstein mit seinen Arbeiten von 1905 zur Quantenhypothese, zur Brownschen Bewegung und zur Speziellen Relativitätstheorie tat.

In der DDR formulierte ich den Widerspruch zwischen der Forderung nach Kreativität und der an interessante Überlegungen angelegten ideologischen Messlatte mit möglichen und realisierten politischen Restriktionen mit der Feststellung: „Wer Neugier überziehen will, braucht sich nicht zu wundern, wenn Kreativität fehlt." Ich forderte, mit dem Hinweis auf die Wissenschaftsgeschichte, dazu auf, sich gegen Widrigkeiten durchzusetzen. „Mancher Feuerkopf hat sich schon die Zunge verbrannt, aber der Sozialismus braucht zündende Ideen, ein Feuerwerk schöpferischer Gedanken, ob es manchem Gralshüter des Alten paßt oder nicht. Deshalb ziehe ich den Schluß: Will ein Ideenhecker nicht an der rauhen Wirklichkeit konservativen Denkens scheitern, dann muss er es rechtzeitig lernen, ohne Gängelei mit Schwierigkeiten fertig zu werden." (Hörz, 1986, 290)

Das Problem von Kreativitätshemmnissen ist nicht etwa DDR-spezifisch. Nur erfolgt die positive oder negative ideologische Beeinflussung nun nicht durch Hinweise auf marxistische Prinzipien oder Beschlüsse von Instanzen, da wir in einer pluralistischen Gesellschaft leben, in der jedoch die Medien

neue ideologische Messlatten an wissenschaftliche Verlautbarungen in der Öffentlichkeit anlegen. Konservativ geprägte ethische Maximen können, vor allem, wenn sie rechtlich fixiert sind, forschungshemmend wirken. Eine ideologiefreie Wissenschaft ist gegenwärtig nicht möglich. Nimmt man Ideologie nicht als diffamierendes Schimpfwort für falsches Bewusstsein und wissenschaftshemmende Restriktionen, sondern als motiv- und willensbildende Wertvorstellungen, wobei gesellschaftliche Werte Bedeutungsrelationen von Sachverhalten für die Menschen sind, die Nützlichkeit, Sittlichkeit und Ästhetik umfassen, dann ist Ideologisierung der Wissenschaft positiv die Aufgabe, die Be- und Verwertung von Erkenntnissen in die Arbeit einzubeziehen, um der Verantwortung zur Beförderung der Humanität gerecht zu werden, während negativ wissenschaftsfeindliche Strategien aufgebaut werden können. (Hörz 2005) Trotz der berechtigten Forderung nach Entideologisierung bei der Suche nach neuen Erkenntnissen bleibt die ideologische Aufgabe, sich mit den Werten auseinanderzusetzen, um Wissenschaftsentwicklung zu garantieren und Humanität zu wahren. Das ist auch im Sinne Einsteins.

Wie steht es nun heute mit der Förderung der Kreativität? Man kann die Frage auch so formulieren: Werden Einsteins Forderungen nach einer kreativen Atmosphäre in Schulen und Hochschulen berücksichtigt? Er betonte die Erziehung zum selbständigen Denken, wonach es nicht ausreiche, den Menschen ein Spezialfach zu lehren, denn so seien sie zwar eine Art benutzbarer Maschine, doch keine vollwertige Persönlichkeit. Diese brauche einen Sinn dafür, was schön und moralisch gut ist. Sonst gleiche sie mit der Spezialkenntnis mehr einem wohlabgerichteten Hund als einem harmonisch entwickelten Geschöpf, denn Auswahl und „frühzeitiges Spezialisieren unter dem Gesichtspunkt der Nützlichkeit töten den Geist, von dem alles kulturelle Leben und damit schließlich auch die Blüte der Spezialwissenschaften abhängig ist“. (Einstein 1956, 23)

Drei Aspekte aktueller Diskussion sind hier zu beachten.

Erstens kann Einsteins Forderung nicht in einer Lernschule erfüllt werden, in der es vor allem darum geht, vorgegebenes Wissen wiederzugeben. Davon haben Reformpädagogen früherer Zeiten schon abgeraten und gute Lehrerinnen und Lehrer sich nie daran gehalten. Wir brauchen die Denkschule, die nach abgestimmten Wissensstandards erforderliches Grundwissen vermittelt, um mit spezifischen Bildungsangeboten weitere Kompetenzen zu entwickeln, Talente zu fördern, kritisches Sozialbewusstsein anzustreben und die Neugier als Grundlage der Kreativität nicht zu unterdrücken. Doch bei

den großen Vorbehalten in Deutschland gegen eine umfassende Bildungsreform, die ja schon in Worten auf den Weg gebracht wurde, werden Einsteins Forderungen weiter als Mahnung vor uns stehen.

Zweitens sehen die auf föderale Strukturen setzenden Bildungspolitiker völlig ungenügend, dass Bildung internationalen Standards mit nationaler Spezifik genügen muss. Es wächst immer mehr die Komplexität von Aufgaben und Entscheidungssituationen, was zu einem anderen Verständnis von Nützlichkeit führen wird. Nicht das attestierte Spezialwissen fördert die flexible Einsetzbarkeit, sondern die mit ihm vermittelten umfassenden Kompetenzen. Für Einstein war es die kulturelle Komponente und die harmonische Entwicklung der Persönlichkeit, die es zu beachten gilt, doch heute taucht die Frage auf, was denn Gesellschaft, Wirtschaft und Politik nützt, der spezialisierte Mensch, dessen Kenntnisse schnell veralten oder die flexibel einsetzbare Persönlichkeit mit ihren umfassenden Kompetenzen. Zu berücksichtigen ist, dass die Ablehnung einer einseitigen, auf vorzeitige Spezialisierung orientierende Forderung nach Nützlichkeit auch dazu benutzt wird, praxisfernes Wissen zu vermitteln, da Lehrende an Hochschulen nicht immer ausreichende Kenntnis praktischer Probleme mit theoretischer Relevanz besitzen. Nützlich ist das, was Absolventen befähigt, mit Grundwissen und Grundfertigkeiten sich flexibel mit neuen Aufgaben auseinandersetzen zu können.

Drittens wird die von Einstein geforderte Fähigkeit zur interdisziplinären Arbeit in der Bildung unterschätzt. Es geht nicht mehr nur um die wissenschaftliche Lösung von Aufgaben, um deren technologische Realisierbarkeit und ökonomische Machbarkeit, sondern auch um die gesellschaftliche Dringlichkeit und Akzeptanz und damit darum, ob die angestrebten Lösungen human verträglich sind. Dafür brauchen Spezialwissenschaftler Kompetenzerweiterung, die ihnen das Arbeiten in inter-, multi- und transdisziplinären Kommunikationssträngen erleichtert.

Einstein ehren heißt, die Aktualität seiner Auffassungen zu prüfen und Forderungen dort, wo es wichtig ist, in die Praxis umzusetzen. Da scheint jedoch bei der Bildung die Ehrung vor der praktischen Verwertbarkeit und Umsetzung zu stehen, die eventuell nicht gewünscht wird.

Krieg, Vaterländerei und Psychologie

Einstein hasste, wie schon betont, die leidige Vaterländerei. Sie scheint manchen heute immer wieder zu beschäftigen, ohne sich darüber klar zu sein, dass patriotischer Zusammenschluss in einem Vaterland zugleich Ausschluss anderer aus anderen Vaterländern bedeuten kann. Der emeritierte Professor für

Philosophie an der Universität Paris VIII Jaques Rancière macht in seiner Philosophie der Politik als kritischer Gesellschaftsanalyse mit dem neuen Rassismus auf das „brutale Wiedererscheinen einer Andersartigkeit im Wirklichen“ in Frankreich aufmerksam. „Der ehemalige Arbeiter spaltet sich also in zwei Seiten: auf der einen Seite der Einwanderer, auf der anderen der neue Rassist ...“ (Rancière 128) Durch Gesetz solle der Rassismus entwaffnet werden, indem man gute von unerwünschten Ausländern trennt. „Das Problem ist, dass diese Unterscheidung selbst nur um den Preis gemacht werden kann, diesem unbestimmten Anderen, der die Gefühle der Angst und des Abstoßes hervorruft, eine Gestalt zu geben ... Es ist dieses Schema, das den unauffindbaren Gegenstand ‚Einwanderer’ errichtet, indem es die verschiedenartigen Fälle vom jungen Straffälligen maghrebinischen Ursprungs, vom srilankesischen Arbeiter ohne Papiere, vom polygamen Moslem und vom gewitzten Araber, der die Last seiner Familie der französischen Gemeinschaft aufbürdet, vereinigt.“ (Ranciére 130) Archaische Formen des Kampfes gegeneinander treten wieder in neuem Gewand auf.

Über Plato, Aristoteles, Hobbes und andere Denker verfolgt er die These vom Skandal der Politik, die Forderungen nach Gleichheit, Gerechtigkeit und Freiheit für die ganze Gesellschaft mit der Ungleichheit bestimmter Teile und der Ungerechtigkeit und Unfreiheit für sie verbindet, wie das etwa mit den „Einwanderern“ geschieht. Was als Politik bezeichnet wird, nämlich die Organisation der Mächte, die Verteilung der Plätze und Funktionen, sowie die Legitimierung dieser Vorgänge nennt Rancière Polizei, zu der als niedere Polizei auch die Gummiknüppelschläge der Ordnungskräfte und die Inquisition der Geheimpolizeien gehören. Es sei die Schwäche und nicht die Stärke eines Staates, die die niedere Polizei anschwellen lasse, bis alle Funktionen der Regierung und Technik des Zusammenlebens an sie übertragen werden. Politik sei dem Gemeinwillen verpflichtet, den sie jedoch aufgibt, wenn sie nur noch von Notwendigkeiten ausgeht, auf die zu reagieren ist. Die Verwaltung der Fülle werde nun zur Verwaltung der Krise mit ständiger Berufung auf den Rechts- und Gelehrtenstaat. Sie sei an Arbeit und Eigentum gebunden. „Dass die Regierungen schlichte Agenten der Geschäfte des internationalen Kapitals seien, diese damals skandalöse These von Marx, ist heute eine Evidenz, in der ‚Liberale’ und ‚Sozialisten’ übereinstimmen. Die absolute Gleichsetzung der Politik mit der Verwaltung des Kapitals ist nicht mehr das beschämende Geheimnis, das die ‚Formen’ der Demokratie maskieren würden, sie ist die erklärte Wahrheit, mit der sich unsere Regierungen legitimieren.“ (Ranciére 122f.) Politik, so Rancière verschwindet immer mehr und weicht der Po-

lizei. Ob es eine neue humane Politik geben werde, sei kaum vorhersehbar. Das Problem des neuen Rassismus sei nur schwer zu lösen.

Dient Patriotismus in einem Land der Besinnung auf die eigenen gesellschaftlichen Werte des Zusammenlebens, verbunden mit der Achtung anderer, dann könnte es einen Weg geben, der die partikularen Interessen mit den universellen Menschheitsinteressen verbindet. In dieser Richtung argumentierte Einstein, als er mit Sigmund Freud, angeregt vom Völkerbund, über Krieg und Psychologie diskutierte. Es ging ihm um die Frage, „die mir beim gegenwärtigen Stand der Dinge als die wichtigste der Zivilisation erscheint: Gibt es einen Weg, die Menschen von dem Verhängnis des Krieges zu befreien?“ (Einstein 1932, 83) Erfahrungen des ersten Weltkriegs waren für ihn noch wach. Er sah Anzeichen für eine neue Aufrüstung als Kriegsvorbereitung. Einstein hasste den Krieg und wollte alles tun, um ihn aus dem Leben der Menschen zu verbannen. Da ihm die Richtung seines gewohnten Denkens, wie er schrieb, keine Einblicke in die Tiefen des menschlichen Wollens und Fühlens liefere, wolle er die Fragestellung herausarbeiten und Lösungsversuche nennen. Das ist sein Weg, sich dem Geheimnisvollen zu nähern und dabei die Hilfe anderer zu suchen, die sich speziell mit bestimmten Problembereichen befassen.

Einstein betonte, wie schon an anderen Stellen, dass er ein von Affekten nationaler Natur freier Mensch sei, weshalb er keine Probleme dabei sehe, wenn sich die Staaten eine legislative und gerichtliche Behörde schaffen, um Konflikte zu schlichten. An sie wenden sich alle und beugen sich den beschlossenen Maßnahmen. Doch er sieht die Schwierigkeit, die darin besteht, dass dieses angestrebte Weltgericht eine menschliche Einrichtung ist, die sich von außerrechtlichen Einflüssen leiten lassen könnte, falls ihr wenig Macht zur Verfügung stehe. Einstein konstatiert die Verbindung von Macht und Recht, die das Recht den Machtinteressen einer Gemeinschaft unterordnet. Eine überstaatliche Organisation, die ihrem Gericht Autorität verleihe und die Beschlüsse durchsetzen könne, gebe es nicht. Mächtige psychologische Kräfte paralysierten alle Bestrebungen einer Einschränkung der Hoheitsrechte im Interesse der internationalen friedlichen Lösung von Konflikten. Das Machtbedürfnis werde materiell-ökonomisch genährt. „Ich denke hier vornehmlich an die innerhalb jedes Volkes vorhandene kleine, aber entschlossene, sozialen Erwägungen und Hemmungen unzugängliche Gruppe jener Menschen, denen Krieg, Waffenherstellung und -handel nichts als eine Gelegenheit sind, persönliche Vorteile zu ziehen, den persönlichen Machtbereich zu erweitern ... Die Minderheit der jeweils Herrschenden hat vor allem

die Schule, die Presse und meistens auch die religiösen Organisationen in ihrer Hand. Durch diese Mittel beherrscht und leitet sie die Gefühle der großen Masse und macht diese zu ihrem willenlosen Werkzeuge.“ (Einstein 1932, 83) Er fragte Freud, ob es möglich sei, die Menschen so zu leiten, dass sie den Psychosen des Hasses und des Vernichtens gegenüber widerstandsfähiger werden. Dabei unterliege die Intelligenz am ehesten der Massenpsychose, da sie nicht unmittelbar aus dem Erleben schöpfe, sondern sich vor allem über das bedruckte Papier informiere. Einstein verwies dann noch auf andere Formen der Aggressivität, wie Bürgerkriege aus religiösen oder sozialen Ursachen und die Verfolgung nationaler Minderheiten.

Freud nutzte Einsteins Gedanken, dass die Massen nicht kriegslüstern sind, solange sie nicht durch Propaganda vergiftet werden, und meinte: „Man müßte mehr Sorge als früher aufwenden, um eine Oberschicht selbständig denkender, der Einschüchterung unzugänglicher, nach Wahrheit ringender Menschen zu erziehen, denen die Lenkung der unselbständigen Massen zufallen würde. Daß die Übergriffe der Staatsgewalten und das Denkverbot der Kirche einer solchen Aufzucht nicht günstig sind, bedarf keines Beweises.“ (Einstein 1932, 82) Aufklärung Denkender soll, wie bei Kant formuliert, zur Revolution der Denkungsart führen, was dann der Masse der Menschen vermittelt wird.

Dazu sind Anmerkungen über die aktuelle Situation erforderlich:

Erstens diskutieren wir dieses Problem nicht mehr nur mit den grauenvollen Erfahrungen des zweiten Weltkriegs, des Holocaust und der Verfolgung von Regimegegnern in despotischen Regimes, sondern mit den unter Bruch des Völkerrechts erfolgenden Präventivkriegen unter der Losung des Kampfes gegen den Terrorismus und der Verteidigung von Menschenrechten und mit den Ergebnissen von Terroranschlägen, die unzählige unschuldige Opfer mit sich brachten. Einstein wäre sicher seiner pazifistischen Überzeugung treu geblieben und hätte sie nicht wieder, wie bei der Atombombe, für den Kampf gegen das Böse zurückgestellt. Der Atomangriff auf japanische Städte zeigte ihm, welche Verantwortung Wissenschaftler für die Be- und Verwertung ihrer Entdeckungen und Erfindungen übernehmen. Insofern meinte er damals warnend, der Krieg sei gewonnen, doch nicht der Friede. Er forderte „kühne Taten und einen radikalen Wandel unserer Mentalität“, sonst werde unsere Zivilisation dem Untergang geweiht sein. (Fölsing 1995, 811)

Zweitens kann der Hinweis von Freud auf die Aufklärung nicht befriedigen, da wir die Grenzen der klassischen Aufklärung aufzudecken haben und eine neue Aufklärung in der Neomoderne anstreben, die zwar die Einsichten

der Moderne und Postmoderne aufgreift, sich jedoch dem von Einstein angemahnten Mentalitätswandel verpflichtet fühlt. Klassische Aufklärer setzten mit Kant voraus, dass vernünftige Menschen aufgeklärt sein wollen. Sie hofften auf die Einsicht der Herrschenden, ein wissendes Volk besser regieren zu können. Außerdem vertraten sie einen christlichen Universalismus und Eurozentrismus, der andere Kulturen nicht einbezog. Hinzu kamen patriarchalische Auffassungen. Wir brauchen eine neue Aufklärung, die menschliche Individualität und Gruppeninteressen berücksichtigt, Multikulturalität beachtet und die Verantwortung der Wissenschaftler befördert. (Hörz 1999)

Drittens hat sich die Menschheit aus dem Sumpf ihrer Misere zu ziehen, indem sie sich von der Katastrophengemeinschaft zur Verantwortungsgemeinschaft über die UNO formiert und Elemente einer Weltkultur fördert, die eine durch wissenschaftlich-technische Entwicklung bestimmte Weltzivilisation ergänzen kann. Universale Interessen nach der Lebenserhaltung, nach Nachhaltigkeit, um zukünftigen Generationen die Erhöhung der Lebensqualität zu ermöglichen, nach Risikominimierung usw. sind stets an partikulare Interessen von soziokulturellen Identitäten, Macht-, Geld- und Geburtseliten, von Unterdrückten, Ausgebeuteten, Ausgegrenzten, Hilfsorganisationen, Wohlfahrtseinrichtungen usw. gekoppelt. Bestimmte Gruppen oder Sekten können den Weltuntergang, das Ende der Menschheit, wünschen oder darauf hinarbeiten, es kann zu terroristischen Aktionen unter dem Deckmantel der Verteidigung eigener Werte gegen die Überformung durch fremde kommen. Das sind Gegentendenzen zu den der Entwicklung der Menschheit dienenden und ihrer Gattungserhaltung förderlichen Wertvorstellungen. Es könnte sich nach und nach eine Interessenhierarchie herausbilden, die universelle Werte, wie die Erhaltung der Gattung und ihrer natürlichen Lebensbedingungen, die friedliche Lösung von Konflikten und das Streben nach erhöhter Lebensqualität für alle Menschen, unabhängig von Rasse, Geschlecht, Kultur und physich-psychischer Beschaffenheit anerkennt. Doch das ist ein weiter Weg.

Viertens könnte die durch Einstein geforderte Weltregierung mit Machtbefugnissen zwar entstehen, doch wäre zugleich die Weltzivilisation, um deren Erhaltung sich Einstein sorgte, durch eine Weltkultur zu ergänzen. (Hörz 2005) Die Universalität der wissenschaftlich-technischen Entwicklung widerspricht der Pluralität sozio-kultureller Identitäten. Es laufen gegenläufige Prozesse ab, wenn einerseits sich die wissenschaftlich-technische Entwicklung durchsetzt und andererseits soziokulturelle Einheiten nach ihrer Identität suchen. Das Streben nach einer Weltkultur könnte beides verbinden. Die durch Wissenschaft und Technik zu sichernde Erhöhung der Lebensqualität

wäre dazu mit dem kulturell geprägten Wertekanon unterschiedlicher Identitäten zu verbinden, der die spezifischen Werte durch universelle ergänzt. So könnte sich die angestrebte Weltkultur durch wenige Konsenspunkte auszeichnen, die mit den universellen Werten zur Erhaltung und Entwicklung der Menschheit, mit der Ächtung von Kriegen und dem Streben nach Freiheitsgewinn aller Glieder einer soziokulturellen Identität, gemessen an solchen aus dem Wesen der Menschen begründbaren Humankriterien, wie sinnvolle Beschäftigung, persönlichkeitsfördernde Kommunikation, Befriedigung materieller und kultureller Grundbedürfnisse, Förderung individueller Fähigkeiten und Integration sozial Schwacher und Behinderter, übereinstimmen. Wichtig ist die kulturelle Differenz, weshalb die Weltkultur als Ideal die kulturelle Vielfalt nicht nur toleriert, sondern dafür Entwicklungsbedingungen schaffen könnte.

Wissenschaft und Kunst

Das Geheimnisvolle steht für Einstein auch an der Wiege der wahren Kunst. In seinem Gruß an Georg Bernhard Shaw von 1930 hebt er hervor: „Selten schon finden sich Menschen, die selbständig genug sind, um die Schwächen und Torheiten ihrer Zeitgenossen zu sehen, und selbst unberührt davon zu bleiben. Aber diese Einsamen verlieren meist bald den Mut, im Sinne einer Gesundung zu wirken, wenn sie die Verstocktheit der Menschen kennengelernt haben. Nur ganz wenigen ist es gegeben, durch feinen Humor und Grazie die Generation zu faszinieren und ihr auf dem unpersönlichen Weg der Kunst den Spiegel vorzuhalten.“ (Einstein 1956, 34)

Es gibt Unterschiede zwischen der wissenschaftlich-rationalen und der künstlerisch-emotionalen Aneignung der Wirklichkeit. Wir haben es einerseits mit der induktiven Erkenntnis von Gesetzen, der logischen Konstruktion mathematischer Formen und der empirischen Überprüfung von Hypothesen zu tun, während andererseits die Intuition und Sinnlichkeit des Künstlers zu betonen ist, der das Wesen seiner Kunstobjekte anschaulich begreift. Wissenschaft generalisiert. Kunst nutzt die sinnliche Anschauung, um das darin erkannte Wesen zu individualisieren. Wissenschaft und Kunst gehen beide von der sinnlichen Anschauung aus, die Grundlage jeder Empirie ist, auch wenn Wissenschaft sie durch komplizierte Experimentalanordungen und feine Meßgeräte erweitert. Sie suchen darin das, was den Charakter der wissenschaftlich oder künstlerisch zu erfassenden Erscheinung ausmacht, eben das darin enthaltene Wesen. Wissenschaft nutzt es, um Gesetze zu erkennen, Regularitäten zu finden, um es kurz gesagt, auf den Begriff zu bringen. Kunst

veranschaulicht es durch Bilder, Töne, Symbole und erhält ihm dadurch oft das Geheimnisvolle, dessen Schleier die Wissenschaft lüften will. Deshalb haben beide bei der Erahnung dieses Wesens, beim Auffinden neuer Beziehungen, gemeinsame Erkenntnisgrundlagen, die verschieden weiter geführt werden.

Kunst erhält Anregungen aus den Wissenschaften und umgekehrt. Es gibt Gemeinsamkeiten schöpferischer Prozesse bei Künstlern und Wissenschaftlern im vorsprachlichen Bereich bei der Ideensuche, als auch Differenzen bei der Ausarbeitung von schöpferischen Ideen, die in der Wissenschaft zu begrifflicher Fassung und in der Kunst zu anschaulicher Darstellung führen. Wissenschaftlich-rationale und ästhetische Aneignung der Wirklichkeit repräsentieren so sich gegenseitig ergänzende Aspekte menschlichen Daseins, die in den Individuen als Vernunft-, Gestaltungs- und Genusswesen verbunden sind. Selbst wenn man als Extreme die Rolle der Wissenschaft als Wissensvermittlerin betont und die Kunst als Emotions- und Motivationsauslöserin sieht, können Wissenschaftler als Künstler und Künstler als Wissenschaftler tätig sein. Es gibt Übergänge zwischen Kunst und Wissenschaft, wie Computermalerei und Computermusik zeigen. Kunst kann Wissen vermitteln und Wissenschaft Motivationen befördern. Als gemeinsame Aufgabe erweist sich die humane Verantwortung für die Gestaltung der Zukunft. Diese Diskussionen, die Einstein mit dem Hinweis auf das Geheimnisvolle bewegten, sind weiter aktuell. Menschen sind Naturwesen, die sich die natürliche, gesellschaftliche und mentale Wirklichkeit rational (Wissenschaft) und ästhetisch (Kunst) aneignen. Naturgesetze, Regularitäten und wesentliche Kausalbeziehungen sind Grundlage und Rahmen der künstlerischen Aneignung als Schnittmengen zwischen Wissenschaft und Kunst. Kunst existierte vor der Wissenschaft. Diese geht nach dem Ahnen von Zusammenhängen auf die begriffliche Fassung, auf Mathematisierung. Kunst hilft dem Menschen die Wirklichkeit ästhetisch sich anzueignen, sich zu erfreuen oder zu leiden, Emotionen zu entwickeln und ergänzt so das begriffliche Verständnis durch Anschaulichkeit, die rationale Sicht durch Emotionen, die Wahrheit durch Werte.

Menschen sind Ensemble gesellschaftlicher Verhältnisse in individueller Ausprägung. Sie produzieren und rezipieren Kunst als Individuen auf spezifische Weise, mit mehr oder weniger Wissen, aus dem Bauch und aus dem Kopf. Kunst ist Geschmacksache. Doch sie unterliegt Moden, wie auch die Wissenschaft. Es ist problematisch und zerstörerisch, Kunst politisch zu reglementieren. Gesellschaftliche Pflicht ist die Förderung von Wissenschaft,

Bildung und Kunst durch finanzielle Unterstützung als humane Werte, die Menschen als ganzheitliche Wesen in der Einheit von Rationalität und Emotionalität auszeichnen.

Einstein hat das Problem gesehen, das sich Wissenschaft und Kunst dem Geheimnisvollen nähern, ohne es erschöpfen zu können. Damit sind Grenzen der Wissenschaft angesprochen. (Hörz 1988, 311ff.) Im Spannungsfeld von praktischer Gestaltung einer offenen Zukunft einerseits und rational begründeten, auf wissenschaftlichen unvollständigen Einsichten beruhenden Zielsetzungen andererseits, sind die praktischen Grenzen der Wissenschaft angesiedelt. Man kann sie als Individualität, Emotionalität, Spontaneität und Humanität charakterisieren. Jedes handelnde und kommunizierende Individuum stellt in der Struktur eines sozialen Systems ein Element dar, das selbständig und eigenwillig, auf Grund seiner sozialen Erfahrungen Zielsetzungen seines Handelns bestimmt und tätig wird. Keine wissenschaftlich begründete Entscheidungshilfe kann einen Algorithmus für die individuelle Entscheidung liefern, der einfach abzuarbeiten wäre. Deshalb gibt es stets Differenzen zwischen konkreten individuellen Entscheidungen, die sich aus dem Charakter und den Emotionen des Individuums ergeben und theoretischen Einsichten über die erforderlichen Entscheidungen. Statistik kann, da die Anzahl der möglichen wesentlichen Entscheidungen in konkreten Fällen überschaubar ist, helfen, eine Prognose aufzustellen, die, wenn sie sich nicht erfüllt, in ihren Ursachen für das Scheitern erklärt wird. Kunst überwindet solche Grenzen. Sie nutzt das Geheimnisvolle, um es emotional weiter auszubauen, damit Menschen Lust empfinden, Gefühle entwickeln, sich in die Welt der Bilder und Töne mit Genuss versetzen, Anregungen zum Nachdenken und Mitleiden erhalten und sich eine wunderbare oder grausame Zukunft virtuell vorstellen können.

Fazit

Das von Einstein betonte Geheimnisvolle, das an der Wiege von wahrer Kunst und Wissenschaft steht, hört nicht auf, zu existieren. Es motiviert uns stets von Neuem, unsere Neugier zu befriedigen. Welträtsel, teilweise gelöst, tauchen immer wieder vor uns auf. Dazu gehören kosmische Entwicklungen als Rahmenbedingungen unseres irdischen Daseins, die Entstehung und Entwicklung des Lebens, der sozialen Organisationsformen und der Lösung von Konflikten durch soziokulturelle Identitäten. Uns interessieren nicht mehr nur die Fragen Kants danach, was wir wissen können, hoffen dürfen und tun sollen, sondern mit seiner Frage nach dem, was den Menschen ausmacht, wollen wir auch wis-

sen, woher wir kommen und wohin wir gehen. Die Frage nach dem, was wir tun sollen, muss durch die komplexe Frage erweitert werden, ob unsere Erkenntnisse, nach der Umwandlung von wissenschaftlichen Entdeckungen in technische Erfindungen, gesellschaftlich wünschenswert und human vertretbar sind. Durchsetzbar ist nur das, was auch akzeptiert wird. Doch was ist akzeptabel? Das hängt von den gesellschaftlichen Werten und den darauf aufbauenden Normen als Wertmaßstab und Handlungsregulator ab.

Der Streit um die Rolle des Wissens in den modernen Gesellschaften hält an. Oft wird von der Wissensgesellschaft gesprochen, um die bestimmende Rolle der Wissenschaften zu betonen, obwohl Wissen nicht allein von ihnen kommt und Nichtwissen ebenfalls zu beachten ist. Es gibt Überbewertungen der Wissenskomponente und Unterschätzungen der Eigentums- und Machtverhältnisse. Mehr Bildung, Kreativität und Flexibilität werden zwar gefordert, doch kaum entsprechend staatlich gefördert. Neues Wissen und neue Technologien erzwingen gegenwärtig den Übergang vom Kapitalismus mit der Massenproduktion und der sozialen Förderung zum globalisierten Kapitalfluss unter reinen Marktbedingungen. Das sind neue Bedingungen, die Grundlage für neue Überlegungen zum Wissenserwerb sind. Einsteins Auffassungen regen uns an, den neuen Wein auch in neue Fässer zu füllen, ohne die früher gereiften und geernteten Reben und ihre Verarbeitung zu vergessen.

Es sind verschiedene Aspekte, über die diskutiert wird und die man mit folgenden Fragen erfassen kann: Gibt es eine Krise des Wissens? Der Anstieg pseudowissenschaftlicher Literatur könnte ein Indiz dafür sein. Wie kann Wissen als humane Macht dienen? Neue Erkenntnisse sind sowohl Herrschaftswissen zum Erhalt bestehender Machtverhältnisse, als auch Orientierungswissen für Reformen und radikale Änderungen. Ist Wissenserwerb zu begrenzen? Die Diskussionen über die Regulierung und Kontrolle des Wissens dauern an. Wird Bildung dem Anspruch gerecht, nützliches Wissen zu vermitteln? Es ist offensichtlich schwer, im föderalistischen Deutschland sich auf allgemeine Wissensanforderungen und spezifische Bildungsangebote zu einigen. Was hat Politik zu leisten? Dafür ist zu klären, was Politik kann und will.

Einstein gibt keine Antworten auf diese Fragen. Obwohl er sich zu politischen Problemen äußerte, scheute er das Eindringen in andere Gebiete, von denen er wenig verstand. Er argumentierte aus seinen Erfahrungen und seinem Wissensstand heraus. Wenn wir deshalb nicht einfach Einsteins Meinungen übernehmen können, sind sie doch Anregung, weiter über das nachzudenken, was Wissenschaft und Kunst beim Eindringen in das Geheimnisvolle leisten

können. Die Aktualität vieler seiner philosophischen Gedanken ist offensichtlich. Das versuchte ich zu zeigen.

Literatur

[1] Einstein, Albert (1932): Albert Einstein an Sigmund Freud. In: Historische Augenblicke. Das 20. Jahrhundert in Briefen. Hrsg. von Jürgen Moeller. München, Verlag C.H. Beck, 1999
[2] Einstein, Albert (1956): Mein Weltbild. Hrsg. von Carl Seelig. West-Berlin, Ullstein Taschenbuch-Verlag
[3] Einstein, Albert, Infeld, Leopold (1956): Die Evolution der Physik. Hamburg, Rowohlt
[4] Fölsing, Albrecht (1995): Albert Einstein. Eine Biographie. Frankfurt am Main, Suhrkamp
[5] Infeld, Leopold (1953): Albert Einstein. Sein Werk und sein Einfluß auf unsere Welt.Wien, Schönbrunn-Verlag
[6] Hörz, Herbert (1975): Erkenntnistheoretische Bedingungen und Implikationen des wissenschaftlichen Schöpfertums. In: Deutsche Zeitschrift für Philosophie 23 (1975), S. 365–381
[7] Hörz, Herbert (1979): Albert Einstein und die Philosophie. In: Deutsche Zeitschrift für Philosophie 27 (1979), S. 149–161
[8] Hörz, Herbert (1985): Kreativität und Dialektik. in: Die Weltbühne, 11. März 1986 (10), S. 289–291
[9] Hörz, Herbert (1988): Wissenschaft als Prozeß. Berlin, Akademie-Verlag
[10] Hörz, Herbert (1999): Wissenschaft als Aufklärung? Von der Postmoderne zur Neomoderne. Leibniz-Sozietät / Sitzungsberichte 1999, Bd. 28, H. 1
[11] Hörz, Herbert (2000): Leitbilder der Naturerkenntnis im Umbruch. Helmholtz, Planck, Einstein. In: Leibniz-Sozietät / Sitzungsberichte 2000, Bd. 38, H. 3, S. 46–70
[12] Hörz, Herbert (2005): Ist eine ideologiefreie Wissenschaft gegenwärtig möglich? In: Berichte der Internationalen Vereinigung für Weltwirtschaft und Weltpolitik e.V., Berlin, 15. Jg, Nr. 151, Februar 2005, S. 2–23
[13] Hörz, Herbert, Treder, Hans-Jürgen (1977): Neue naturwissenschaftliche Erkenntnisse über den Kosmos in weltanschaulicher Sicht. In: Einheit 32 (1977), S. 606–615
[14] Hörz, Herbert, Treder, Hans-Jürgen (1979): Albert Einstein – ein genialer Physiker und kämpferischer Humanist. In: Einheit 34 (1979) 2, S. 153–161
[15] Physiker über Physiker II (1979): Antrittsreden, Erwiderungen bei der Aufnahme von Physikern in die Berliner Akademie, Gedächtnisreden 1870 bis 1929, bearb. von Christa Kirsten und Hans Günther Körber. Berlin, Akademie-Verlag
[16] Rancière, Jacques (2002): Das Unvernehmen. Politik und Philosophie. suhrkamp taschenbuch wissenschaft 1588. Frankfurt am Main, Suhrkamp Verlag

Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät *78/79(2005), 123–124*

Rainer Schimming

Einstein als Wissenschaftsphilosoph (Zusammenfassung)

Albert Einstein revolutionierte die Physik, hinterließ aber auch deutliche Spuren in weiteren Wissensgebieten: Direkt durch eigene Beiträge, indirekt indem sein Werk andere Autoren anregte. Die Erkenntnis- und Wissenschaftsphilosophie hat er in besonderem Maße beeinflußt. Von seinen einschlägigen Vorträgen bzw. Artikeln seien hervorgehoben:
Geometrie und Erfahrung, 1921.
Zur Methodik der Theoretischen Physik, 1933.
Mein Weltbild, 1934.
Physik und Realität, 1936.

Einsteins philosophisches Schaffen wurde wiederum reflektiert; hier nennen wir:
P. A. Schilpp (Herausg.): Albert Einstein als Naturforscher und Philosoph, 1949.
H. Hörz: Albert Einstein und die Philosophie, DZfPh 1979.

Der vorliegende Beitrag ist Aspekten von Einsteins Erkenntnis- und Wissenschaftstheorie gewidmet. Wir vertreten die folgenden Thesen:

1. Obwohl Einsteins entsprechende Äußerungen nicht systematisch, sondern nur zu bestimmten Gelegenheiten erfolgten, kann er als bedeutender Wissenschaftsphilosoph bezeichnet werden.
2. Als solcher kann er einer bestimmten Richtung zugeordnet werden, nämlich dem von Karl Popper begründetem Kritischen Rationalismus.
3. Dabei befindet er sich keineswegs im Schlepptau von Popper oder einem anderen Philosophen. Unter Verarbeitung vielfältiger Einflüsse hat er seine philosophischen Ansichten unabhängig entwickelt.
4. Einstein hat Popper stark beeinflußt; dies wäre eine Detailuntersuchung wert. Einstein ist der von Popper am häufigsten zitierte Autor.
5. Einsteins Werdegang brachte es mit sich, daß er anfänglich vom Positivismus Machs und von verwandten Richtungen beeinflußt war. Davon hat er sich später gelöst.

6. Popper hat die Intuition – das plötzliche Auftreten einer neuen Idee bei einem Forscher – kaum untersucht, obwohl sie in seinem System eine wesentliche Rolle spielt. Einstein hat dazu substanzielle Beiträge geleistet; die bekannten Gedankenexperimente gehören dazu.
7. Einstein bewertet Theorien bzw. Theorie-Entwürfe anhand der allgemeinen Prinzipien Einfachheit, Einheitlichkeit, Eleganz und Anschaulichkeit. Dies kann man als einen in den philosophischen Realismus gewendeten Ausläufer des Kantschen Apriorismus ansehen. Die großen Prinzipien helfen auch der Intuition auf die Sprünge.

Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät *78/79(2005), 125–130*

Dieter B. Herrmann

Einstein, Archenhold und die Popularisierung der Naturwissenschaften

Als Albert Einstein hier in diesem Saal am 2. Juni 1915 auf Einladung von Friedrich Simon Archenhold seinen ersten öffentlichen Berliner Vortrag über die Relativitätstheorie gehalten hat [1], war dies nicht seine erste Aktivität, mit der er wissenschaftliche Ergebnisse vor einem breiten allgemein interessierten, aber fachlich unspezialisierten Publikum dargestellt hat. Schon 1911 hatte Einstein vor der Naturforschenden Gesellschaft in Zürich gesprochen – im selben Jahr auch in Prag und schließlich 1913 in Wien auf der Jahrestagung der Gesellschaft der Deutschen Naturforscher und Ärzte. Wenn auch die Zuhörer nicht durchweg Physiker waren, so hatte er es aber damals doch mit einem Publikum von Wissenschaftlern zu tun. Das war in Treptow anders. Hier sprach Einstein zu einem interessierten Laienpublikum.

Allerdings war schon zuvor, nämlich vier Wochen nach Einsteins Übersiedlung von Zürich in der deutschen Reichshauptstadt ein Beitrag aus der Feder des Physikers in der „Vossischen Zeitung“ erschienen [2], der natürlich ebenfalls für ein breites Publikum gedacht war. Dieser Aufsatz unter dem Titel „Vom Relativitäts-Prinzip“ mag Archenhold den Anstoß gegeben haben, Einstein zu einem öffentlichen Vortrag zu bitten, über den dann ebenfalls in der „Vossischen“ berichtet wurde [3].

Erstaunlich an diesen beiden Auftritten, in der Zeitung und am Rednerpult, ist die Tatsache, dass Einstein – anders als damals viele seiner berühmten Kollegen – überhaupt bereit war, vor Laien über seine Forschungen zu sprechen. Als ebenso bemerkenswert muss erwähnt werden, dass die Allgemeine Relativitätstheorie zu dieser Zeit noch gar nicht vollendet, geschweige denn publiziert gewesen ist. Das mag für Einstein Ansporn gewesen sein, die Probleme noch einmal so konsequent zu durchdenken, wie man es tun muss, wenn man sie Nichtfachleuten erklären will.

Die Aufgeschlossenheit Einsteins gegenüber populärwissenschaftlicher Darstellung hängt ohne Zweifel mit seinen eigenen Erfahrungen zusammen.

Einstein hatte allgemein verständlich geschriebener wissenschaftlicher Lektüre viel zu verdanken. Schon als 12-Jähriger hatte er nach eigenem Bekunden solche Bücher gelesen und später gern anerkannt, dass sie ihn stark geprägt haben. So besonders die „Naturwissenschaftlichen Volksbücher“ von Aaron Bernstein, aus denen man wesentliche Methoden und Ergebnisse der Naturwissenschaft in einer sich fast nur aufs Qualitative beschränkenden Darstellung habe erlernen können [4]. Auch Alexander von Humboldts „Kosmos“ soll Einstein in seiner Jugend begeistert haben.

Archenhold hatte sich mit der von ihm geschaffenen Treptower Sternwarte ganz und gar der Vermittlung naturwissenschaftlicher Kenntnisse verschrieben. Bei der Grundsteinlegung zum heutigen Bau hatte er erklärt, die Sternwarte möge ein Haus sein, „ von dem aus immer neues Licht hinausstrahlen und immer neue Erkenntnisse ihren Weg zu jedem Einzelnen im Volke finden mögen“ [5]. An seinem Lehrer Wilhelm Förster hatte Archenhold besonders geschätzt, dass dieser in seinen Vorträgen „fachmännisches Wissen mit allgemein ästhetischen und philosophischen Ansichten“ verflocht und so den Gesichtskreis seiner Hörer erweiterte [6]. Einsteins Ansichten waren ganz ähnlich gelagert. So schrieb er z.B. der Schule die Aufgabe zu, „die Entwicklung der allgemeinen Fähigkeiten zu selbständigem Denken und Urteilen sollte stets an erster Stelle stehen und nicht die Aneignung von Spezialkenntnissen“ [7].

Nach Einsteins Treptower Vortrag blieben die beiden Männer in engem Kontakt und Archenhold war oftmals Gast in Einsteins Wohnung, traf ihn aber auch bei den Sitzungen der Physikalischen Gesellschaft [8]. Ob dabei schon 1915 das Judentum der beiden eine Rolle gespielt hat, mag dahingestellt bleiben, jedenfalls fühlten sie sich aber sicher auch durch ein gemeinsames humanistisches und soziales Engagement verbunden.

Einstein hatte bekanntlich beim Ausbruch des I. Weltkrieges einen Aufruf unterzeichnet, in dem das friedliche Zusammenleben der Völker als Ziel deklariert wurde und findet sich dann auch unter den etwa 135 Mitgliedern des „Bundes Neues Vaterland“, der 1914 entstanden war. In den Satzungen lesen wir, man wolle alle Bestrebungen fördern, „die Politik ... der europäischen Staaten mit dem Gedanken des friedlichen Wettbewerbs ... zu erfüllen, um eine politische und wirtschaftliche Verständigung zwischen den Kulturvölkern herbeizuführen“ [9]. In einem Flugblatt des Bundes wird auch Archenhold als Sympathisant genannt [10].

Archenhold hatte auch der Popularisierung der Relativitätstheorie von Anfang an große Beachtung geschenkt. In der von ihm herausgegebenen Zeit-

schrift „Das Weltall“ finden wir ab 1905 immer wieder Hinweise und Beiträge auf Einsteins Arbeiten. Später, als in den 20er Jahren die berüchtigten antisemitischen Angriffe gegen Einstein und seine Theorie einsetzten, blieb Archenhold bei der sachlichen Darstellung der Arbeiten Einsteins. Archenhold schlug sich sogar persönlich mit Einsteins Gegnern herum, so z.B. in einer Hetzveranstaltung in der Berliner Philharmonie 1920, wo sich Archenhold mit dem Wortführer der Gegner Einsteins ein hitziges Wortgefecht lieferte [11]. Auch der Film „Die Grundlagen der Einsteinschen Relativitätstheorie“ wurde mehrfach mit einem begleitenden Vortrag in der Sternwarte öffentlich aufgeführt [12].

Später versuchte Archenhold, Einstein für etliche seiner Projekte zu gewinnen, so z.B. 1926 für eine Marsausstellung der Treptower Sternwarte. Einstein sollte möglichst im Ehrenkomitee der Ausstellung mit wirken. Doch Einstein erklärte, dass er zur beschreibenden Astronomie wenig Berührungspunkte habe und dann: „Können Sie begreifen, daß ich müde bin, überall als symbolischer Leithammel mit Heiligenschein zu figurieren? Also lassen Sie mich draußen!“ [13]. In demselben Brief bekräftigte er aber auch seine grundsätzliche Wertschätzung populärwissenschaftlichen Engagements, erklärte die Marsausstellung für einen guten Gedanken und machte Archenhold ein schönes Kompliment mit dem Satz: „Überhaupt sind Menschen von Ihrer Unermüdlichkeit erfreulich“.

Einstein blieb dem Gedanken der Wissenschaftspopularisierung lebenslang verbunden. Programmatisch ist seine Erklärung im Vorwort zu Lincoln Barnetts kleinem Einstein-Buch. Dort schreibt er: „Es ist von großer Bedeutung, daß die breite Öffentlichkeit Gelegenheit hat, sich über die Bestrebungen und Ergebnisse der wissenschaftlichen Forschung sachkundig und verständlich unterrichten zu können ... Die Beschränkung der wissenschaftlichen Erkenntnisse auf eine kleine Gruppe von Menschen schwächt den philosophischen Geist eines Volkes und führt zu dessen geistiger Verarmung“ [14].

Dieser Maxime entsprechend handelte er auch. Als Redner und als Schriftsteller. Auch für Zeitungen hat er weiter gelegentlich geschrieben. Zu Einsteins geradezu meisterhaften populärwissenschaftlichen Miniaturen rechne ich auch die kleine Ansprache, die er zur Eröffnung der Funkausstellung 1930 in Berlin gehalten hat. Dort gibt er nicht nur eine knappe Skizze der historischen Entwicklung der physikalischen und technischen Grundlagen des Rundfunks. Es fällt auch der berühmte bekennerische Satz, dass sich alle schämen sollten, die sich der Wunder der Technik bedienen, ohne davon geistig

mehr erfasst zu haben als die Kuh von der Botanik des Grases, das sie mit Wohlbehagen frisst.

Dabei war sich Einstein der Probleme sehr wohl bewusst, die mit der allgemein verständlichen Darstellung wissenschaftlicher Sachverhalte verbunden sind: „Wer es einmal unternommen hat, ein abstraktes, wissenschaftliches Thema allgemein verständlich darzustellen, kennt die großen Schwierigkeiten eines solchen Versuches. Häufig wird entweder der Kern des Problems nicht berührt und durch oberflächliche Darstellung ... leichte Verständlichkeit vorgetäuscht, oder es wird dem Leser ein fachmännischer Bericht geboten, dessen Schwierigkeiten unzugänglich bleiben und ihn entmutigen“ [15]. Beides wusste Einstein in einem kleinen Büchlein zu vermeiden, das 1917 zum ersten Mal erschien und zu einer Art Bestseller wurde. Es trug den Titel „Über die spezielle und allgemeine Relativitätstheorie“, mit dem Zusatz „gemeinverständlich“ und erlebte binnen weniger Jahre mehr als 10 Auflagen. Es hat sich bis heute auf dem Buchmarkt behauptet, setzt allerdings, wie Einstein selbst anmerkte, „ziemlich viel Geduld und Willenskraft beim Leser voraus“ [16].

Von Einsteins Vorträgen verdient sein Auftritt vor den Hörern der 1925 gegründeten „Marxistischen Arbeiterschule“ (MASCH) besondere Erwähnung, weil er die Grundhaltung des Physikers zu Fragen der Wissenschaftspopularisierung eindrucksvoll verdeutlicht. Die Einladung an Einstein überbrachte die später berühmte Schriftstellerin Anna Seghers, die Ehefrau des Leiters der Schule, dem Gelehrten persönlich in dessen Sommerhaus in Caputh.

Auf den Einwurf von Einsteins Frau Elsa: „Du mußt absagen! Du hast Dir selbst vorgenommen, keine Vorträge mehr anzunehmen“, entgegnete Einstein: „Das ist eine ganz andere Art Vortrag, das interessiert mich“ [17]. Einstein sprach dann am 26. Oktober 1931 zur Eröffnung des Studienjahres in einer Gemeindeschule im Norden Berlins. Der Vortrag trug den Titel „Was der Arbeiter von der Relativitätstheorie wissen muß“. Unter den Zuhörern befanden sich auch Bertolt Brecht und Hanns Eisler. Brecht hat dort einige Anregungen für sein Schauspiel „Leben des Galilei“ empfangen [18].

Unter Einsteins späteren Büchern regt besonders „Die Evolution der Physik“ hervor, das er gemeinsam mit Leopold Infeld geschrieben hat. Wenn auch der Text des Werkes von Infeld formuliert wurde, so beruht das gesamte Buch doch auf Einsteins Intentionen und regelmäßigen intensiven Gesprächen mit Infeld und es kann gar kein Zweifel an Einsteins dominierendem kreativen Anteil bestehen. Das Buch gilt heute als Klassiker der physikhistorischen Literatur. Der Titel der deutschen Ausgabe „Die Physik als Abenteuer

der Erkenntnis“ gefiel Einstein besser, denn er brachte viel treffender zum Ausdruck, worum es Einstein in dem Buch ging: es sollte Einblick geben „in den ewigen Kampf des erfinderischen menschlichen Geistes um ein besseres Verstehen der Gesetze, welche die physikalische Welt beherrschen“[19].

Die fruchtbare Beziehung zwischen dem großen Physiker Einstein und dem unermüdlichen Popularisator Archenhold zerbrach mit dem Aufkommen des Faschismus. Die jüdische Familie Archenhold wurde gewaltsam aus dem Werk ihres Lebens entfernt, Mitglieder der Familie kamen im Konzentrationslager Theresienstadt ums Leben [20], während Einstein in die Emigration getrieben wurde.

[1] D. B. Herrmann, Einstein sprach wirklich in der Archenhold-Sternwarte. In: Beiträge zur Astronomiegeschichte, Band 7. Frankfurt a. M. 2004 (Acta Historica Astronomiae; 23), S. 276–279
[2] A. Einstein, Vom Relativitäts-Prinzip. In: Vossische Zeitung v. 26. April 1914, Morgenausgabe, Beilage
[3] el., Einsteins Relativitätsprinzip. Vortrag in der Treptower Sternwarte. In: Vossische Zeitung v. 3. Juni 1915, Abendausgabe
[4] zitiert nach F. Herneck, Albert Einstein. Berlin 1963, S. 33
[5] F. S. Archenhold bei der Grundsteinlegung zum Neubau der Sternwarte am 17. Mai 1908. In: Das Weltall 9 (1909), Heft 21, S. 309
[6] F. S. Archenhold, Zum hundertsten Geburtstag von W. Foerster. In: Das Weltall 32 (1932), S. 18
[7] A. Einstein, Über Erziehung. In: Aus meinen späten Jahren. Zürich 1952, S. 41
[8] Günter H. Archenhold, Brief an den Verfasser v. 28.11. 1973, Archiv der Archenhold-Sternwarte Berlin; vgl. F. Herneck, Einstein privat. Berlin 1978, S. 71
[9] Autorenkollektiv unter Leitung von D. Fricke, Deutsche Demokraten. Die nichtproletarischen demokratischen Kräfte in der deutschen Geschichte 1830–1945. Berlin 1981, S. 158
[10] Zentrales Staatsarchiv Potsdam, Kriegsakten 15, Krieg 1914, 3. Band, Blatt 155. Den Hinweis auf diese Quelle verdanke ich Herrn Dr. D. Zboralski, Birkenwerder
[11] Mitteilung von Prof. Dr. Hans-Jürgen Treder (1979)
[12] Werbebrief der Direktion der Treptow-Sternwarte (undatiert, vermutl. 1923). Archiv der Archenhold-Sternwarte
[13] A. Einstein an F. S. Archenhold vom 23. 10. 1926 (Abschrift), Landesarchiv Berlin, Bestand Archenhold-Sternwarte, A Rep. 60–41, Nr. 6
[14] A. Einstein, Vorwort zu „Einstein und das Universum“ von L. Barnett. Frankfurt (M), 1951, S. 7
[15] Ebd.
[16] zitiert nach der 16. erweiterten Auflage, Braunschweig 1954, S. V

[17] A. Seghers, Ich fuhr zu ihm nach Caputh. In: Zwischen Gleichungen und Politik – Einstein in der MASCH (Aufgezeichnet von H. Hoffmann). In: Spektrum 9 (1978), S. 15
[18] D. B. Herrmann, Hanns Eisler im Gespräch. Notizen 1960–1962, unveröff. Ms., 59 Bl., Schreibmasch. A 4, Privatarchiv des Verfassers, S. 4f.
[19] zitiert nach C. Selig, Albert Einstein. Zürich [u.a.], 2. Auflage 1954, S. 288
[20] D. B. Herrmann, 100 Jahre Archenhold-Sternwarte. Berlin 1996, S. 47ff.

Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät *78/79(2005), 131–139*

Mario Keßler

Albert Einstein über Militarismus, Pazifismus und Sozialismus

Ein enger Freund, Maurice Solovine, schrieb über Einstein: „Im Gegensatz zu den meisten sogenannten Intellektuellen, deren moralisches Gefühl oft in so verhängnisvoller Weise verkümmert ist, hat Einstein unermüdlich gegen jegliche Ungerechtigkeit und Gewalttat seine Stimme erhoben. Er wird in der Erinnerung künftiger Geschlechter weiterleben, nicht nur als genialer Mann der Wissenschaft von ungewöhnlichem Format, sondern auch als ein Mensch, der die höchsten sittlichen Ideale verkörperte.“[1]

Einstein war zugleich ein radikaler Liberaler, konsequenter Demokrat und vom Ideal sozialer Gerechtigkeit erfüllt. Seine Haltung zu Militarismus, Pazifismus und Sozialismus werden im folgenden vorgestellt.

Einstein über Militarismus und Pazifismus

„Ich bin Pazifist – aber nicht Pazifist um jeden Preis. Meine Anschauungen decken sich nahezu mit denen Gandhis. Aber gegen einen Mordversuch an mir oder gegen den Versuch, mir oder meinem Volk die Existenzmittel zu entziehen, würde ich mich, allein oder mit anderen zusammen, zur Wehr setzen. Darum war ich überzeugt, daß der Kampf gegen Hitler berechtigt und notwendig war: Denn hier handelte es sich um einen beispiellosen Versuch der Ausrottung ganzer Völker.“[2] So schrieb Einstein am 21. März 1952. Dies war die konsequente Schlußfolgerung aus seinem Kampf gegen den Faschismus und den, wie er betonte, untrennbar mit diesem verbundenen militaristischen Ungeist, mit dem er seit Beginn des Ersten Weltkrieges konfrontiert gewesen war.

Den Kriegsbeginn erlebte Einstein 1914 in Berlin. Er wurde sofort zum entschiedenen Gegner des staatlich sanktionierten Massenmordens. Dem

1 Zit. nach Johannes Wickert, Albert Einstein. Reinbek 1972, S. 144.

2 Albert Einstein, Über den Frieden, Weltordnung oder Weltuntergang? Hrsg. von Otto Nathan und Heinz Norden. Bern 1975, S. 561.

chauvinistischen Aufruf der dreiundneunzig deutschen Koryphäen aus Kultur und Wissenschaft stellte der Berliner Physiologe Georg Friedrich Nicolai seinen mutigen „Aufruf an die Europäer“ entgegen, den Einstein zusammen mit nur drei weiteren Wissenschaftlern unterzeichnete. In diesem Manifest der Kriegsgegner hieß es unter anderem:

„Denn der heute tobende Kampf wird kaum einen Sieger, sondern wahrscheinlich nur Besiegte zurücklassen. Darum scheint es nicht nur gut, sondern bitter nötig, daß gebildete Männer aller Staaten ihren Einfluß dahin aufbieten, daß – wie auch der heute noch ungewisse Ausgang des Krieges sein mag – die Bedingungen des Friedens nicht die Quelle künftiger Kriege werden, daß vielmehr die Tatsache, daß durch diesen Krieg alle europäischen Verhältnisse in einen gleichsam labilen und plastischen Zustand geraten sind, dazu benutzt werde, um aus Europa eine organische Einheit zu schaffen. Die technischen und intellektuellen Bedingungen dafür sind gegeben.“[3]

Dieser Aufruf fand damals weder Resonanz, noch wagte es ein Presseorgan, ihn unter den Bedingungen wüster Hetzstimmung zu veröffentlichen. Im Jahre 1915 versuchte Einstein, Wissenschaftler neutraler Länder für die Sache eines baldigen Friedens zu gewinnen. Ohne Illusionen über eine solche Idee, schrieb er am 2. August seinem niederländischen Freund, dem Nobelpreisträger Henrik Antoon Lorentz, über „das traurige Bild von dem, was man als ‚Vaterland’ verehrt, wenn man dazu gehört. Das ändert sich nicht mit den Grenzpfählen, sondern ist überall gleich ... Es scheint, daß die Menschen stets ein Hirngespinst brauchen, demzuliebe sie einander hassen können; früher war‘s der Glaube, jetzt ist es der Staat.“[4]

Einsteins Beteiligung am Bund Neues Vaterland und dessen pazifistischen Initiativen brachten ihm unter den Kriegsgegnern großes Prestige ein. Es war daher kein Zufall, daß ihn Ende 1918 revolutionäre Berliner Studenten zu ihren Versammlungen einluden. Eine der Reden Einsteins dieser Zeit ist überliefert. Er sagte:

„Genossinnen und Genossen! Gestatten Sie einem alten Demokraten, der nicht hat umlernen müssen, einige Worte. Unser aller Ziel ist die Demokratie, d. i. die Herrschaft des Volkes. Sie ist nur möglich, wenn der einzelne zwei Dinge heilig hält, nämlich den Glauben an das gesunde Urteil und den gesunden Willen des Volkes und die willige Unterordnung unter den durch Abstim-

3 Ebenda, S. 23.
4 Ebenda, S. 30.

mung und Wahl bekundeten Volkswillen, auch wenn dieser Volkswille mit dem eigenen persönlichen Willen im Widerspruch ist."

Er fuhr fort: „Die alte Klassenherrschaft ist beseitigt. Sie fiel durch die eigenen Sünden und durch die befreiende Tat der Soldaten. Der von diesen rasch gewählte Soldatenrat im Verein mit dem Arbeiterrat muß vorläufig als Organ des Volkswillens aufgefaßt werden. Wir sind diesen Behörden also in dieser kritischen Stunde unbedingten Gehorsam schuldig und müssen sie mit allen Kräften stützen.

Andererseits müssen alle wahren Demokraten darüber wachen, daß die alte Klassen-Tyrannei von rechts nicht durch eine Klassen-Tyrannei von links ersetzt werde. Lasset Euch nicht durch Rachegefühle zu der verhängnisvollen Meinung verleiten, daß eine vorläufige Diktatur des Proletariats nötig sei, um Freiheit in die Köpfe der Volksgenossen hineinzuhämmern. Gewalt erzeugt nur Erbitterung, Haß und Reaktion."[5]

Doch Einsteins Hoffnungen in die Stärke der ersten parlamentarischen Demokratie in Deutschland erfüllten sich nicht. Die Macht der alten Eliten – Industrie- und Agrarkapital – wurde nicht angetastet. Die deutsche Armee wurde weitgehend demobilisiert, ihre früheren Offiziere jedoch nicht in die Gesellschaft integriert. Im Deutschland der Nachkriegskrisen und der Inflation wurden sie deklassiert und oftmals zu Stoßtrupps der antidemokratischen, frühfaschistischen Rechten, die auf eine Zerschlagung der demokratischen Errungenschaften abzielten. Demokratiefeindschaft, Antikommunismus und Antisemitismus vereinten sich bei ihnen zu einer explosiven Mischung.

Als Jude und Antimilitarist war Einstein oftmals Zielscheibe der Angriffe völkischer Rechter. Seine Vorlesungen an der Berliner Universität wurden oft von, meist auswärtigen, „Besuchern" gestört. Die Universitätsverwaltung unternahm dagegen nur wenig.[6] Dies zeigte beispielhaft die Schwäche der deutschen Institutionen gegenüber den Angriffen der extremen Rechten. Einstein war sich der potentiellen Stärke der nur zeitweilig zurückgedrängten militaristischen Kreise bewußt. Als Ursache des Strebens nach kriegerischen Aktionen benannte er damals wie später vor allem drei Punkte: Besitzgier, Nationalismus und individuelles Fehlverhalten.[7] Mit Besorgnis erkannte er die Schwäche der deutschen Demokratie. Den Mord am deutschen Außenmi-

5 Ebenda, S. 44 f.
6 Vgl. Siegfried Grundmann, Einsteins Akte. Einsteins Jahre in Deutschland aus der Sicht der deutschen Politik. Berlin, Heidelberg 1998.
7 Vgl. Albert Einstein, Mein Weltbild, 2. Aufl. Zürich, Stuttgart, Wien 1953, S. 59 ff.

nister Walther Rathenau am 24. Juni 1922 kommentierte Einstein erschüttert, aber entschlossen.

„Die Universität soll nach meiner Meinung klar Stellung nehmen in dem Sinne, daß sie sich zu einer unbedingten Verurteilung politischer Morde bekennt (Studenten und Professoren sollten dabei sprechen). Sie soll klar heraussagen, daß der Meuchelmord auch im Dienste der Politik ein verabscheuungswürdiges Verbrechen ist und daß eine menschliche Gesellschaft, in welcher das Vertrauen auf die Respektierung des Lebens fehlt, notwendig verfallen muß."[8]

Als aktiver Demokrat engagierte sich Einstein in der Deutschen Gesellschaft für Menschenrechte, beteiligte sich 1926 an der Kampagne gegen die Fürstenabfindung und an der Gründung der Liga gegen Kolonialgreuel, aus der im folgenden Jahr die Liga gegen Imperialismus und für nationale Unabhängigkeit in Brüssel hervorging. Einstein protestierte gegen den faschistischen und gegen andere Formen des Terrors, ob dieser in Italien oder in Bulgarien wütete. Seine Hoffnungen, die SPD könne die Weimarer Republik und ihre demokratischen Errungenschaften schützen und ausbauen, wurden aber mit der Zeit geringer. Gemeinsam mit Käthe Kollwitz und Lion Feuchtwanger begrüßte er deshalb die Gründung der Sozialistischen Arbeiterpartei Deutschlands (SAPD) am 4. Oktober 1931.[9] Dennoch setzte Einstein angesichts des Aufstiegs der Nazi-Partei auf eine rechtzeitige Gegenwehr der geeinten Linkskräfte. Doch die Hoffnungen erfüllten sich nicht. Die deutsche Linke blieb gespalten, während die politisch entscheidenden Teile der herrschenden Eliten an Hitler am 30. Januar 1933 die Macht übergaben. Einstein, der damals in den USA auf einer Vortragsreise war, entschloß sich, nicht nach Deutschland zurückzukehren. Voller schlimmer Ahnungen schrieb er am 5. Mai 1933 an den Publizisten Wilhelm Herzog: „Heute könnte man die deutschen Machthaber noch auf ökonomischem Wege zur Strecke bringen ohne Blutvergießen, während in ein paar Jahren große Blutopfer gewiß und der Erfolg recht zweifelhaft wäre."[10]

Angesichts dieser Situation änderte Einstein seine bisherige Haltung, die von einem unbedingten Pazifismus bestimmt gewesen war. Am 18. August 1933 erschien in *La Patrie Humaine* ein Brief Einsteins, in dem er seine bisherigen Vorstellungen als illusionär revidierte und schrieb: „Solange

8 Einstein, Über den Frieden (wie Anm. 2), S. 73.
9 Vgl. Einsteins Brief an die *Fackel* vom 9. Oktober; erwähnt in: Hanno Drechsler, Die sozialistische Arbeiterpartei Deutschlands (SADP). Meisenheim 1965, S. 158.
10 Ebenda, S. 238.

Deutschland durch materielle Rüstungen und Abrichtung der Bürger systematisch den Revanchekrieg vorbereitet, sind die westeuropäischen Länder leider auf militärische Abwehr angewiesen. Ich behaupte sogar, daß sie, wenn sie klug und vorsichtig sind, nicht warten werden, bis sie angegriffen sind ... Dies können sie nur, wenn sie hinreichend gerüstet sind. Dies zu sagen, macht mir wenig Freude, denn ich hasse in meinem Herzen Gewalt und Militarismus nicht weniger als je zuvor. Ich kann aber meine Augen nicht vor der Wirklichkeit verschließen."[11] Voller Besorgnis mußte Einstein wenig später fragen: „Ich kann es nicht fassen, warum die ganze zivilisierte Welt sich nicht zum gemeinsamen Kampf zusammengeschlossen hat, um dieser Barbarei ein Ende zu bereiten. Sieht denn die Welt nicht, daß Hitler uns in einen Krieg hinein zerrt?"[12] Er hoffte, daß Männer wie Churchill, mit dem ihm politisch sonst wenig verband, „entschlossen und *bald* handeln werden"[13]. Einstein schrieb und unterschrieb zahllose Aufrufe zur Rettung der vom Nazismus Verfolgten, initiierte Geldsammlungen, spendete große Summen, traf Politiker, Unternehmer, Wissenschaftler, Künstler, Journalisten – all dies, um irgendeine wirksame Aktion gegen das Hitler-Regime zustandezubringen.

Von der Entfesselung des Zweiten Weltkrieges war Einstein nicht überrascht. Immer wieder waren in den unmittelbaren Vorkriegsmonaten seine Gedanken auf die schreckliche Möglichkeit gerichtet, daß Nazi-Deutschland in den Besitz jener Massenvernichtungswaffen gelangen könnte, für deren Entwicklung Einsteins umstürzende physikalische Erkenntnisse wichtige Grundlagen geliefert hatten. So ist jener historische Brief an US-Präsident Roosevelt vom 2. August 1939 zu verstehen, in dem Einstein darum bat, „daß ein ständiger Kontakt zwischen der Regierung und der Gruppe von Physikern hergestellt wird, die an dem Zustandekommen der Kettenreaktion arbeiten."[14]

Die Geschichte des Los-Alamos-Projektes ist so oft erzählt worden, daß hier der Hinweis auf einen weiteren Brief Einsteins genügt. Er richtete diesen an Roosevelts (inoffiziellen) Wirtschaftsberater Alexander Sachs, der Brief war aber für Roosevelt bestimmt. Einstein schrieb am 7. März 1940 über Deutschlands erhöhtes Interesse an der Urangewinnung und wies auf Leo Szilards Forschungen zur Erzeugung einer Uran-Kettenreaktion hin.[15]

11 Ebenda, S. 247, Auslassung im Text.
12 Ebenda, S. 251.
13 Einstein, Über den Frieden (wie Anm. 2), S. 253. Hervorhebung im Text.
14 Ebenda, S. 310.
15 Vgl. ebenda, S. 313 f.

Mit dem Sieg der Alliierten und dem Abwurf der beiden Atombomben über Hiroshima und Nagasaki begann ein neuer Abschnitt im öffentlichen Leben Einsteins. „Jetzt entfiel der Zwang zur Zurückhaltung in seinen pazifistischen Aktivitäten, den er sich nach der Machtergreifung Hitlers selbst auferlegt hatte“, schrieben Otto Nathan und Heinz Norden. „Einstein entwickelte zahllose politische Initiativen, die auf die Verhütung eines Atomkrieges gerichtet waren. Nur die wichtigsten seien hier genannt: 1946 übernahm er das Präsidium des *Emergency Committee of Atomic Scientists*, einer Gesellschaft, die sich in diesem Sinne weltweit zu engagieren suchte. Im Dezember desselben Jahres trat er erstmals für eine Weltregierung ein; einen – illusorischen – Plan, den er in den folgenden Jahren immer und immer wieder erläuterte. Selbstverständlich ist hier auch das im April 1955 gemeinsam mit Bertrand Russell initiierte Manifest für Abrüstung zu nennen. Einstein unterzeichnete den Appell am 11. April 1955 und schickte ihn mit einem kurzen Begleitschreiben an Russell. Als dieser den Brief erhielt, lebte Einstein nicht mehr; er war am 18. April in Princeton gestorben.

Warum Sozialismus? Einsteins Haltung zum Sozialismus

Einsteins war Sozialist, machte sich aber keine Illusionen über den Stalinismus. Bereits am 15. April 1929 protestierte er zusammen mit anderen prominenten Persönlichkeiten dagegen, daß die SPD-geführte deutsche Reichsregierung dem aus der UdSSR verbannten Trotzki das Asyl in Deutschland verwehrt hatte.[16] Am 30. Juni des gleichen Jahres verweigerte er seine Unterschrift unter einen prosowjetischen Aufruf, obwohl, wie er mitteilte, er „die Treibereien gegen die Sowjetunion sowie den Militarismus in unseren Ländern aufs Schärfste mißbillige ...“.[17]

Kurz vor seiner Abreise in die Vereinigten Staaten (der keine Rückkehr folgen sollte) sagte Einstein 1932: „Ich bin überzeugter Demokrat. Aus diesem Grunde gehe ich nicht nach Rußland, obwohl ich von dort herzliche Einladungen erhalten habe. Würde ich nach Moskau reisen, so würde das zweifellos von den Sowjetherrschern für ihre eigenen politischen Zwecke ausgebeutet werden. Nun, ich bin ein Feind des Bolschewismus wie des Faschismus. Ich bin gegen alle Diktaturen.“[18]

16 Vgl. ebenda, S. 114 f.
17 Ebenda, S. 115.
18 Ebenda, S. 250 (Interview mit dem *New York World Telegram*, 19. September 1933).

Dabei erlag Einstein niemals den Verlockungen der Totalitarismus-Theorie, die das Stalinregime mit Hitlerdeutschland gleichsetzte. Der Kampf, den das sowjetische Volk zwischen 1941 und 1945 gegen die nazistischen Völkermörder führte, gab ihm in seinen Urteilen recht. Er unterstrich 1942, er sehe „an der Einheit des russischen Volkes in der Verteidigung gegen einen mächtigen Feind den Beweis, daß der Wille allgemein und stark ist, das Errungene mit unbegrenzten Opfern und mustergültiger Selbstverleugnung jeder einzelnen Person zu verteidigen." Allerdings, so hob er in diesem Zusammenhang hervor, müsse er „eines für uns Juden besonders maßgebenden Umstandes gedenken. In Rußland gibt es nicht nur eine formale, sondern eine wirkliche Gleichberechtigung der Nationalitäten und Traditionsgemeinschaften jeglicher Art."[19]

Zehn Jahre darauf mußte Einstein seinen Irrtum revidieren. Im November 1952 inszenierte das stalinistische Regime der Tschechoslowakei unter der Regie sowjetischer „Berater" den antisemitischen Prozeß gegen Rudolf Slánský und seine Mitangeklagten. Einstein kommentierte dieses staatlich verordnete Pogrom mit den Worten:

„Es hat viele Jahrhunderte gedauert, bis Europa den Mord, mit oder ohne juristische Verbrämung, als Werkzeug der inneren Politik in der Hauptsache überwunden hat. In der Machtsphäre des heutigen Rußland ist das Prinzip erklärt und befolgt worden: dem Staat gegenüber kann das Individuum keine Rechte und keinen Schutz beanspruchen. Der Slánský-Prozeß zeigt wieder, daß die dortigen Machthaber es aufgegeben haben, vor den Völkern außerhalb ihres Machtbereiches den Schein des Rechtes aufrecht zu erhalten."[20]

Einsteins Bruch mit der Sowjetunion war endgültig. Doch gerade weil er sich vom Stalinismus nicht hatte blenden lassen, wurde er nicht zum Antisozialisten, wie eine Stellungnahme in der Hochzeit des Kalten Krieges bewies.

„Why Socialism?" – Warum Sozialismus? Unter diesem Titel erschien im Mai 1949 in der ersten Nummer der Zeitschrift *Monthly Review* ein Aufsatz Einsteins. Darin hieß es: „Da der wirkliche Zweck des Sozialismus gerade darin liegt, die räuberische Phase der menschlichen Entwicklung zu überwinden und hinter sich zu lassen, kann die Wirtschaftswissenschaft auf ihrer gegenwärtigen Stufe ein wenig die sozialistische Gesellschaft der Zukunft beleuchten." Weiterhin sei der Sozialismus auf ein sozial-ethisches Ziel gerichtet. „Die Wissenschaft kann jedoch keine Ziele schaffen und diese noch

19 Ebenda, S. 335.
20 Ebenda, S. 568.

weniger den Menschen nahebringen; Wissenschaft kann bestenfalls die Mittel zur Verfügung stellen, um gewisse Ziele zu erreichen." Aber diese Ziele würden sich in Abhängigkeit von der Entwicklung der Menschen verändern. Daher sollte der Anteil der Wissenschaften und ihrer Methoden bei der Lösung menschlicher Probleme nicht übertrieben werden; die Organisation der Gesellschaft könne nicht nur Sache einiger Experten sein."[21]

Die Menschen seien Einzelwesen und Teil der Gesellschaft. Die Abhängigkeit eines jeden Individuums von der Gesellschaft sei naturgegeben. Das biologische Verhalten von Ameisen und Bienen sei Teil der Natur und somit unveränderbar, während menschliches Verhalten vom Grad der gesellschaftlichen Organisation bestimmt werde. Die Probleme der Beziehungen zwischen Individuum und Gesellschaft seien „das Wesen der Krise unserer Zeit"[22].

„Die wirtschaftliche Anarchie der kapitalistischen Gesellschaft, wie sie heute existiert, ist nach meiner Meinung das schlimmste Übel. Wir sehen vor uns eine gewaltige Gemeinschaft von Produzenten, deren Mitglieder unaufhörlich danach trachten, einander die Früchte ihrer kollektiven Arbeit wegzunehmen – nicht mit Gewalt, sondern in voller Übereinstimmung mit gesetzlich fixierten Regeln." Die Produktionsmittel würden nur für die Interessen der Privateigentümer eingesetzt.[23]

Das Privatkapital sei in immer weniger Händen konzentriert, teilweise wegen der kapitalistischen Konkurrenz und teilweise, weil die technische Entwicklung zur Konzentration in stets größeren Produktionseinheiten führe. Das Ergebnis sei eine „Oligarchie des Privatkapitals", deren enorme Macht durch eine demokratische Gesellschaft mitsamt ihren Körperschaften nicht mehr effektiv kontrolliert werden könne. Die politischen Gremien würden zunehmend in Abhängigkeit vom Großkapital geraten und immer weniger die Interessen der Unterprivilegierten vertreten. Auch die Hauptquellen der Information, Presse, Bildung unterstünden direkt oder indirekt unvermeidlicherweise privatkapitalistischer Kontrolle. Die wirtschaftliche Lage sei in einer Gesellschaft des Privateigentums an Kapital durch zwei Prinzipien charakterisiert: durch die private Verfügungsgewalt über die Produktionsmittel sowie freie Arbeitsverträge. Natürlich gebe es den Kapitalismus nicht in rei-

21 Albert Einstein, Why Socialism. In: Monthly Review, Nr. 1, May 1949; hier zit. nach: Einstein, Out of My Later Years, S. 123–131, Zitat S. 124. – Die deutsche Übersetzung in Albert Einstein, Aus meinen späten Jahren. Frankfurt a. M., Berlin 1990, S. 187–195 ist voller sinnentstellender Verkürzungen und ohne Wert. Deshalb wird hier und im folgenden nach dem englischen Text zitiert.

22 Ebenda, S. 127.

23 Ebenda, S. 128.

ner Form und die Arbeiter hätten nach langen und erbitterten Kämpfen eine Verbesserung der Arbeitsverträge erreicht. „Aber im Ganzen genommen, unterscheidet sich die heutige Wirtschaft nicht sehr vom ‚reinen' Kapitalismus. Die Produktion wird um des Profits, nicht um des Verbrauchs willen betrieben."[24] Es würden keine Vorkehrungen getroffen, daß alle Arbeitsfähigen und Arbeitswilligen stets eine Stellung finden. Fast immer bestünde eine „Armee von Arbeitslosen" und die Arbeiter würden ständig in der Angst leben, ihre Jobs zu verlieren.

Eine solche „Verkrüppelung des Individuums" sei, so Einstein weiter, „das größte Übel des Kapitalismus. Eine übertriebene Konkurrenzhaltung wird dem Studenten eingetrichtert, der darauf abgerichtet wird, den Erfolg um jeden Preis als Vorbereitung auf seine künftige Karriere anzubeten."

Die einzige Möglichkeit, diese Mißstände zu beseitigen, sah Einstein in der „Errichtung einer sozialistischen Gesellschaft mit einem Erziehungssystem, daß sich an sozialen Zielen orientiert. In einer solchen Gesellschaft gehören die Produktionsmittel der Gesellschaft und werden planvoll genutzt." Eine Planwirtschaft würde die Produktion an den Zielen der Gesellschaft ausrichten und jedem vernünftige Lebensmöglichkeiten garantieren.[25]

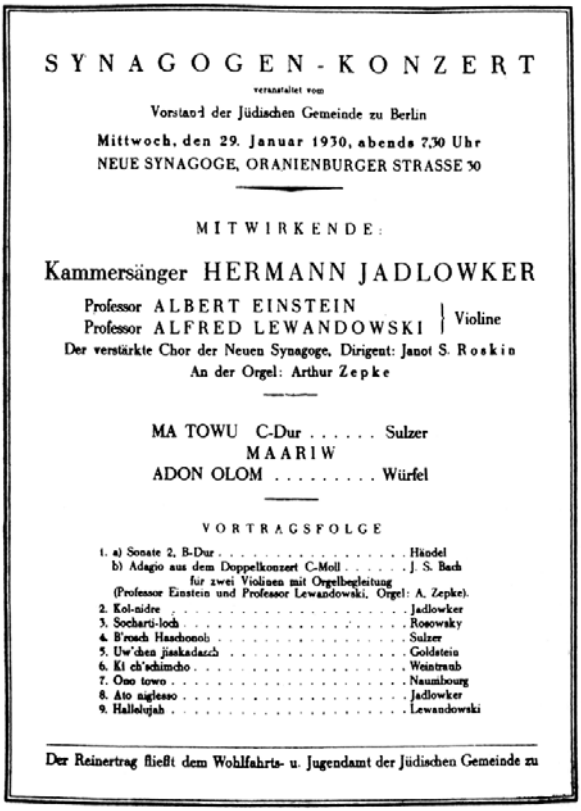
Planwirtschaft sei jedoch noch nicht mit Sozialismus identisch. Dieser setze vielmehr die Lösung eines äußerst komplizierten sozio-ökonomischen Problems voraus: „Wie ist es im Hinblick auf die weitreichende Zentralisierung der politischen und wirtschaftlichen Macht möglich, zu verhindern, daß die Bürokratie allmächtig und ausufernd wird? Wie können die Rechte des Individuums geschützt und somit ein demokratisches Gegengewicht zur Macht der Bürokratie gesichert werden?"[26] Einstein sah, daß nur in persönlicher Freiheit eines jeden Einzelnen das Bemühen um soziale Gerechtigkeit seine Erfüllung finden kann.

24 Ebenda, S. 129.
25 Ebenda, S. 130.
26 Ebenda, S. 131.

Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät *78/79(2005), 141–153*

Viktor Mairanowski

„...Meine Zugehörigkeit zu diesem Volk ist ein Geschenk des Schicksals.“ Die jüdische Herkunft und das Weltbild von Albert Einstein



SYNAGOGEN-KONZERT

veranstaltet vom

Vorstand der Jüdischen Gemeinde zu Berlin

Mittwoch, den 29. Januar 1930, abends 7,30 Uhr

NEUE SYNAGOGE, ORANIENBURGER STRASSE 30

MITWIRKENDE:

Kammersänger HERMANN JADLOWKER

Professor ALBERT EINSTEIN
Professor ALFRED LEWANDOWSKI } Violine

Der verstärkte Chor der Neuen Synagoge, Dirigent: Janot S. Roskin

An der Orgel: Arthur Zepke

MA TOWU C-Dur . . . . . Sulzer

MAARIW

ADON OLOM . . . . . Würfel

VORTRAGSFOLGE

1. a) Sonate 2, B-Dur . . . . . Händel
   b) Adagio aus dem Doppelkonzert C-Moll . . . . . J. S. Bach
   für zwei Violinen mit Orgelbegleitung
   (Professor Einstein und Professor Lewandowski, Orgel: A. Zepke).
2. Kol-nidre . . . . . Jadlowker
3. Socharti-loch . . . . . Rosowsky
4. B'rosch Haschonoh . . . . . Sulzer
5. Uw'chen jisskadasch . . . . . Goldstein
6. Ki ch'schimcho . . . . . Weintraub
7. Ono towo . . . . . Naumbourg
8. Ato nigleso . . . . . Jadlowker
9. Hallelujah . . . . . Lewandowski

Der Reinertrag fließt dem Wohlfahrts- u. Jugendamt der Jüdischen Gemeinde zu

Abb. 1: Programm des Konzerts in der Neuen Synagoge am 29. Januar 1930 [1]

Die Abbildung 1 zeigt das Programm eines Konzertes am 29. Januar 1930 in Berlin. Als zweites Stück wurde das Adagio aus dem Doppelkonzert für zwei Violinen mit Orgelbegleitung von Johann Sebastian Bach gespielt. Die Ausführenden waren Professor Albert Einstein und Professor Alfred Lewandowski (Violinen), an der Orgel Arthur Zepke. Dieses wohltätige Konzert, das vom Vorstand der Jüdischen Gemeinde zu Berlin veranstaltet wurde, fand im Gebäude der Neuen Synagoge in der Oranienburger Straße 30 statt.

Wir sind oft an diesem Ort, hier ist schon fast zehn Jahre unsere Wissenschaftliche Gesellschaft zu Hause. Der Ort ist den Berlinern und den Touristen bekannt, die goldenen Kuppeln sind von weitem bereits zu sehen. Dieses Gebäude blieb im November-Pogrom 1938 unversehrt dank dem entschlossenen Handeln des Polizisten, der es bewachte, aber es hat am Kriegsende stark gelitten.

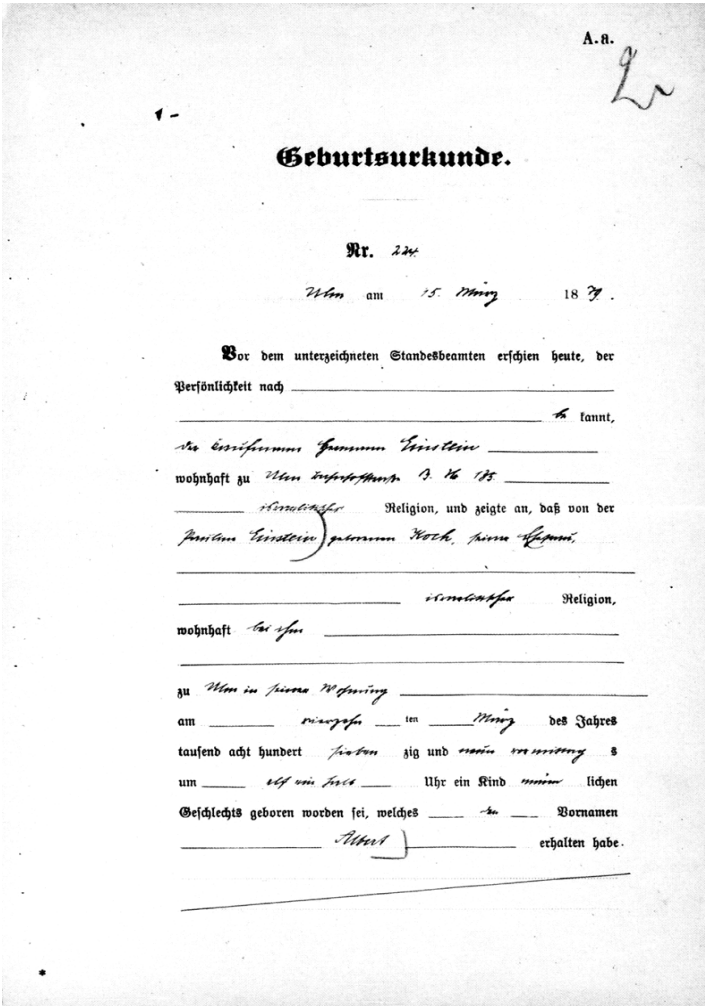
Zur Zeit ist hier eine Sonderausstellung mit dem Titel „relativ jüdisch“ zu sehen, die dem Einsteinjahr 2005 gewidmet ist. Der erste Teil des Titels bezieht sich auf die Theorie, die ihren Autor in die Reihe der größten Wissenschaftler und Denker gestellt hat. Doch zunächst zu dem, was die Wortverbindung „relativ jüdisch“ eigentlich besagt …

Albert Einstein wurde am 14. März 1879 in Ulm in der jüdischen Familie von Hermann Einstein und seiner Ehefrau Pauline geboren. In seiner Geburtsurkunde Nr. 224, Stadt Ulm vom 15. März 1879 (Abb. 2), steht: „israelitischer Religion“. Pauline war eine Tochter des vermögenden Getreidehändlers und Hoflieferanten Julius Koch und seiner Frau Jette geb. Bernheimer (erhalten ist ihr Grab auf dem Israelitischen Friedhof in ihrer Heimatstadt Cannstatt, heute ein Teil von Stuttgart; vom Grab gibt es ein Photo [2]). Alberts Eltern kamen aus dem Städtchen Buchau, zwischen Bodensee und Ulm, in dem schon 1577 eine jüdische Gemeinde gegründet worden war.

Der Großvater väterlicherseits, Abraham, war in der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts Bürger von Schwäbisch Gmünd [3]. Die Vorfahren Einstein lebten in Württemberg bereits seit fast drei Jahrhunderten.

Hermann und Pauline Einstein bekannten sich zum Judentum, lebten aber nicht besonders streng nach dessen Bräuchen. In der Familie wurden jedoch bestimmte jüdische Traditionen gewahrt, so zum Beispiel, dass die Familie an jedem Freitag einen armen emigrierten Studenten zum Abendessen einlud. Einer dieser Gäste war der Medizinstudent Max Talmud aus Polen. Es ist eine Ironie des Schicksals, dass der junge Mensch mit diesem Namen (Talmud ist eine nachbiblische jüdische Sammlung von Religionsgesetzen) keineswegs zur Festigung der religiösen Empfindungen Alberts beitrug. Im Gegenteil, er öffnete dem zwölfjährigen Knaben die neue, fesselnde Welt der Naturwissen-

schaften mit Hilfe von populärwissenschaftlichen Büchern: den vielbändigen „Naturwissenschaftlichen Volksbüchern“ von Aaron Bernstein, Alexander von Humboldts „Kosmos“ (ein vielversprechender Titel!) u. a. [4]



A. a.

1 -

Geburtsurkunde.

Nr. 224

Ulm am 15. März 1879.

Vor dem unterzeichneten Standesbeamten erschien heute, der Persönlichkeit nach _____ bekannt, der Kaufmann Hermann Einstein _____ wohnhaft zu Ulm Lehrstraße B. 86 185 _____ israelitischer Religion, und zeigte an, daß von der Pauline Einstein geborene Koch, seiner Ehefrau, _____ israelitischer Religion, wohnhaft bei ihm _____ zu Ulm in seiner Wohnung _____ am _____ vierzehnten _____ ten _____ März des Jahres tausend acht hundert sieben zig und neun vormittags um _____ elf ein halb _____ Uhr ein Kind männlichen Geschlechts geboren worden sei, welches _____ den _____ Vornamen _____ Albert _____ erhalten habe.

Abb. 2: Geburtsurkunde Albert Einsteins [5].

Als Albert Einstein im Alter von sechs Jahren in die öffentliche Schule kam – es war eine katholische Schule in München, wo die Familie Einstein seit

1880 wohnte –, mußte er dem bayerischen Schulgesetz gemäß obligatorischen Religionsunterricht erhalten. Im Unterschied zu anderen jüdischen Schülern seiner Schule, die Unterricht in der jüdischen Religion in einer benachbarten Schule erhielten, zogen seine Eltern es vor, dass ihm dieser Unterricht zuhause von einem Verwandten gegeben wurde. Dieser offenbar pädagogisch begabte Lehrer weckte in Albert ein inniges Religionsgefühl, wie seine Schwester Maja (eigentlich Maria) schildert ([6], S. 20 ff): „Er hörte von einem göttlichen Willen und von einer Lebensweise, die dem Willen Gottes entspreche, ohne dass diese Lehre ihm in einem bestimmten Dogma zusammengefaßt worden wäre. Er war in seinem religiösen Gefühl so voller Eifer, daß er sich ohne äußeren Zwang genau an alle Einzelheiten der religiösen Vorschriften hielt. Er las die Bibel und nahm sie als naiv-moralisches Erlebnis in sich auf.“ Und nach anderen Quellen: „Er komponierte Lieder zu Ehren Gottes und sang sie begeistert auf dem Schulweg“ (vgl. [6]).

Einsteins religiöser Enthusiasmus hielt auch in den ersten beiden Schuljahren im Münchner Luitpold-Gymnasium an, wo er am Religionsunterricht teilnahm, zu dem die jüdischen Schüler mehrerer Gymnasialklassen vereint wurden. In den zweimal wöchentlich stattfindenden Religionsstunden besprach man die jüdischen Feste, die biblische Geschichte sowie ausgewählte Kapitel der Thora (des Alten Testaments), und man lernte die Grundlagen der hebräischen Grammatik. Im Jahre 1929 erhielt Einstein zum fünfzigsten Geburtstag auch von seinem damaligen Lehrer Heinrich Friedmann ein Glückwunschschreiben, das er mit folgenden Worten beantwortete: „Ihre Gratulation hat mich gerührt und gefreut. Wie oft habe ich es bedauert, nicht fleißiger gewesen zu sein im Studium der Sprache und Literatur unserer Väter. Oft lese ich in der Bibel, aber der Urtext ist mir unzugänglich geblieben“.[1]

1 Einstein war auf dem Luitpold-Gymnasium ab Oktober 1888. Dass Einstein nur ein mittelmäßiger oder schlechter Schüler gewesen sei, ist eine Legende. Er war der jüngste in der Klasse, trotzdem hatte er immer gute bis sehr gute Noten (vgl. [7], S.78). Einsteins Klassenkamerad Paul Marc wurde später Professor der Byzantinistik, dessen jüngerer Bruder Franz Marc, ebenfalls aus dem Luitpold-Gymnasium, wurde ein bekannter Maler (gemeinsam mit Wassily Kandinsky gründete er die berühmte Künstlervereinigung „Der Blaue Reiter“ mit dem Programm der modernen Kunst).
Einstein verließ das Luitpold-Gymnasium ohne Reifezeugnis Ende Dezember 1894 – ca. drei Monate vor dem Stichtag für eine ungehinderte Ausreise aus dem Land (ein Deutscher männlichen Geschlechts hatte dieses Recht nur bis zum 16. Lebensjahr) – nach einem Zusammenstoß mit dem Klassenleiter und ging aus Deutschland weg zu seinen Eltern nach Mailand. Das Reifezeugnis erwarb er dann 1896 in der Schweiz, in der Kantonsschule von Aarau, im Jahre 1896, und zwar mit den Noten „sehr gut“ für Algebra, Geometrie, Darstellende Geometrie, Physik und Geschichte (vgl. [5]).

Im Alter von zwölf Jahren, also kurz vor der Bar-Mitzwa (Konfirmation), fand diese Religiosität plötzlich ein Ende. Das geschah – wie schon geschildert – unter dem Einfluss der Lektüre populär-wissenschaftlicher Bücher und der Unterhaltungen mit dem Studenten Max Talmud. Beides hatte eine große Wirkung auf den sich entwickelnden jungen Mann. „Ich kam bald zu der Überzeugung, daß vieles in den Erzählungen der Bibel nicht wahr sein konnte. Die Folge war eine geradezu fanatische Freigeisterei ... Es war ein niederschmetternder Eindruck. Das Misstrauen gegen jede Art Autorität erwuchs aus diesem Erlebnis.“ So schreibt er ([6], S. 26).

Hier sei eine kleine Abschweifung gestattet. Die Juden nennt man das Volk des Buches. Tatsächlich geht es dabei nur um ein Buch, um die Thora, die Bibel. Als große naturwissenschaftliche Leistung der Juden der alten Zeit kann man wahrscheinlich nur den alten jüdischen Kalender nennen (er gilt auch heute noch). Seine Entstehung war aber unmittelbar mit den religiösen Bedürfnissen verknüpft.

RaMBaM (Rabbi Moses Ben Maimon, Maimonides) im 12. Jahrhundert war der erste, der offen für die Möglichkeit eintrat, die Naturphilosophie des Aristoteles in den Kanon der Bildung zu integrieren. Aber er erachtete das Studium der Wissenschaften als richtig nur für Gebildete und im reifen Alter. In der Einleitung zum berühmten „Führer der Unschlüssigen“ schreibt er: „Die metaphysische Spekulation barg Gefahren in sich, sie konnte den Gottesglauben gefährden.“ Übrigens wird traditionell empfohlen, die Kabbala, die entschieden gegen den Rationalismus des Maimonides auftrat und in gewissem Maße auch als Gegengewicht zu ihm entstand, ebenfalls erst im reiferen Alter zu studieren. Albert Einstein hat sich daran nicht gehalten.

Im Jahre 1896 in einem Formular zur Entlassung aus der deutschen Staatsbürgerschaft und auch im Jahre 1900 im Fragebogen für Bürgerrechts-Petenten der Stadt Zürich erklärte Einstein sich als „konfessionslos“. Im Jahre 1911 nannte er bei der Einsetzung in die Dienststellung eines Ordentlichen Professors an der Prager Deutschen Universität anstelle der Konfession nur seine Nationalität: Jude – in Österreich-Ungarn durften Professoren keine Atheisten sein. Übrigens wurde diese Forderung für Paul Ehrenfest, den Einstein vor seiner Abreise nach Zürich im Jahre 1912 als Nachfolger für den Lehrstuhl vorschlug, zum Hindernis. Ehrenfest wollte seine jüdische Konfession nicht erklären und gab sich als „konfessionslos“ aus, weil er mit der orthodoxen Tatjana Afanassjewa verheiratet war (sie war ebenfalls Physiker) und Ehen zwischen Juden und Christen in Österreich-Ungarn nicht erlaubt waren. Ehrenfest, der seit der ersten Begegnung in Prag einer der engsten

Freunde Einsteins war, übernahm später den Lehrstuhl von Lorentz an der berühmten Universität Leiden.

Damit wäre die Frage nach der Irreligiosität Einsteins geradezu eindeutig beantwortet. Man muss aber auch solche Aussagen von ihm lesen wie: „Die Ideen kommen von Gott“ ([8], S.121), „Raffiniert ist der Herrgott, aber boshaft ist er nicht“ ([8], S. 172), „Das ist so einfach – Gott hätte sich das niemals entgehen lassen“ ([8], S. 268). Dann zeigt sich, dass die Frage nach dem Glauben Einsteins an die Existenz von Gott so einfach nicht zu beantworten ist. Zu dieser Angelegenheit findet man bei Friedrich Dürrenmatt[2] die scharfsinnige Aussage: „Einstein pflegte so oft von Gott zu reden, dass ich beinahe vermute, er sei ein verkappter Theologe gewesen“ [10].

Über sein Verhältnis zur Religion kann man bei Einstein selbst viele Aussagen finden. Nachdem er 1905 in dem berühmten Artikel „Ist die Trägheit eines Körper von seinem Energiegehalt abhängig?“ [9] zur „Schicksalsformel der Menschheit“ $E = m \cdot c^2$ (zuerst als $L = m \cdot V^2$)[3] gekommen war und vorhergesagt hatte: „Es ist nicht ausgeschlossen, dass bei Körpern, deren Energieinhalt in hohem Maße veränderlich ist (z.B. bei den Radiumsalzen), eine Prüfung der Theorie gelingen wird“, schrieb er seinem Freund Conrad Habicht ([7], S. 142): „Die Überlegung ist lustig und bestechend; aber ob der Herrgott nicht darüber lacht und mich an der Nase herumführt, das kann ich nicht wissen.“ Die Antwort Einsteins auf das Telegramm des New Yorker Rabbiners Herbert Goldstein ist bestens bekannt: „Glauben Sie an Gott? Bezahlte Antwort 50 Worte. Punkt=“ – „Ich glaube an Spinozas Gott, der sich in der gesetzlichen Harmonie des Seienden offenbart, nicht an einen Gott, der sich mit den Schicksalen und Handlungen der Menschen abgibt =“ ([6], S. 31). An Maurice Solovine, den Freund aus Berner Zeiten und Mitglied der „Akademie Olympia“, schrieb er: „Die Ablehnung gegen den Gebrauch des Wortes ‚Religion’ [zum Weltbild von Spinoza, V.M.] kann ich sehr wohl begreifen ... Ich habe keinen besseren Ausdruck als den Ausdruck ‚religiös’ für dieses Vertrauen in die vernünftige und der menschlichen Vernunft wenigstens einigermaßen zugängliche Beschaffenheit der Realität. Wo dieses Gefühl fehlt, da artet Wissenschaft in geistlose Empirie aus“ [11]. Und an anderer Stelle: „Die Religion bestimmt das Ziel, sie hat doch weitgehend von der Wissenschaft gelernt, mit welchen Mitteln sich die von ihr gesetzten Ziele

2 Der schweizerische Schriftsteller und Dramaturg. In dem bekannten Drama „Die Physiker“ (1962) behandelt Dürrenmatt die Verantwortung der Wissenschaftler vor der Menschheit. „Die Physiker“ wurden seinerzeit mit großem Erfolg in Moskau aufgeführt.

3 Im Originaltext bezeichnet Einstein die Lichtgeschwindigkeit mit V.

erreichen lassen. Die Wissenschaft kann indessen nur von denen aufgebaut werden, die durch und durch von dem Streben nach Wahrheit und Erkenntnis erfüllt sind ...". Und dann gibt er die bekannte klare Formel: „Wissenschaft ohne Religion ist lahm, Religion ohne Wissenschaft ist blind" ([12], S.31). Hier wird eine Brücke in die Vergangenheit geschlagen – zu Spinoza, und noch weiter: „Das wissenschaftliche Werk des Aristoteles [Physik] sollte helfen, die ‚Wahrheit' der Schrift zu finden, d.h. ihren tieferen Sinn...". So Maimonides [13].

Es zeigt sich, dass Einstein seine Vorstellungen und Gestalten, die er mitunter als „kosmische Religiosität" definierte ([14], S. 17), bei der Beurteilung physikalischer Ideen und Theorien eingesetzt hat. „Was mich eigentlich interessiert hat, ist, ob Gott die Welt hätte anders machen können; und das heißt, ob die Forderung der logischen Einfachheit überhaupt die Freiheit lässt" [15]. Klingt seine Idee von einer „Monotheorie", d. h. die Einheitliche Feldtheorie, an deren Entwicklung er Jahrzehnte seines Lebens beharrlich gearbeitet hat, nicht wie die Idee eines einheitlichen Beginns in der Religion, wie der Monotheismus, die Schlüssel-Idee des Judentums und der aus ihm hervorgegangenen christlichen und muslimischen Religionen?

Bis zum Ende seines Lebens betrachtete Einstein die Quantenmechanik nur als ein vorläufiges Verfahren zur Beschreibung der Natur – in Ermanglung eines besseren: „Eine innere Stimme sagt mir, dass das nicht der wahre Jakob ist" (der bekannte Bibelsatz). Als man ihn daran erinnerte, dass er zur Schaffung der Quantenmechanik selbst einen großen Beitrag geleistet hat (Einstein war der erste, der den Begriff der Wahrscheinlichkeit in den Apparat der Quantentheorie eingeführt hat!), antwortete er, dass „ein guter Scherz nicht allzu oft wiederholt werden darf". Er konnte sich mit dem allgemeinen Charakter der Unschärfe-Relation von Heisenberg[4] nicht einverstanden erklären. Die statistische Beschreibung des Weltbildes war Einstein nicht recht. „War es wahrscheinlich, dass Gott ein durch den Zufall bestimmtes Universum geschaffen hatte?", schreibt er. Oder das allseits bekannte „Gott würfelt nicht!" Immer und immer wieder überfiel er mit neuen Argumenten Bohr und die Göttinger Mannschaft Born-Heisenberg und förderte damit nur die Entwicklung und Vertiefung der Quantenmechanik.

Im allgemeinen kann man Einstein nicht vorwerfen, dass er die Kritik und die Gegenargumente seiner Opponenten nicht akzeptierte. So war es z.B. in

4 Ort und Impuls können in der Quantenmechanik nicht zugleich beliebig genau gemessen werden: $\Delta x \cdot \Delta p_x > h/4\pi$, wobei Δx und Δp_x Ortsstreuung und Impulsstreuung des Objektes sind und h die Plancksche Konstante ist.

seinen Reaktionen auf die Arbeit des russischen Physikers Alexandr Fridman, der die Einsteinschen Gleichungen ohne das von Einstein zusätzlich postulierte kosmologische Glied löste und damit entgegen dem statischen Universum Einsteins ein nichtstatisches Universum mit zeitabhängiger Krümmung begründete (hiervon kommt das Bild von periodischen Expansions- und Kontraktionszyklen des Universums). Einstein veröffentlichte einen Artikel, in dem er seinen Fehler zugab [16]. (Zu den Arbeiten von Alexandr Fridman siehe [17].)

Im Falle der Quantenmechanik war es anders. Aber schließlich sah sich Einstein doch genötigt anzuerkennen, dass die Urteile seiner Gegner logisch nicht anzufechten waren. In einem Brief an Erwin Schrödinger schrieb er allerdings: „Die Heisenberg-Bohrsche Beruhigungs-Philosophie – oder Religion? – ist so fein ausgeheckt, dass sie dem Gläubigen einstweilen ein sanftes Ruhekissen liefert, von dem er sich nicht so leicht aufscheuchen lässt“. ([8], S. 223).

Es ist bemerkenswert, dass Heisenberg in seinen späten Jahren auch eine einheitliche Feldtheorie suchte, diese allerdings quantentheoretisch. „Ich glaube, dass Einsteins Feldtheorie sich einmal erweisen wird als die klassische Annäherung an die Heisenberg’sche und Heisenbergs Feldtheorie sich einmal erweisen wird als eine noch immer nur genähert richtige Beschreibung der fundamentalen Gesetze der Natur, in welchen dann auch die Existenz eines dreidimensionalen Raums, in dem Felder definiert werden können, als Folge der Quantentheorie erscheint.“ So Carl Friedrich von Weizsäcker ([6], S. 123). Das neue Weltbild ist also mit der Synthese der Allgemeinen Relativitätstheorie und der Quantentheorie zu verbinden.

In dem, was man die Religiosität Einsteins nennen kann, und in dem, was ihn mit dem Judentum verbindet, ist noch stärker die moralische und humanitäre Basis. Die Abkehr von religiösen Formen hat sein starkes Gefühl für Gerechtigkeit und die Wahrnehmung der Kostbarkeit des menschlichen Lebens nicht erschüttert.

In „Autobiographisches“ erinnert sich Einstein an den „tiefen und bleibenden Eindruck“, den er verspürte, als ihm der Vater einen Kompass zeigte: „Da musste etwas hinter den Dingen sein, das tief verborgen war“ ([7], S.74). Derselbe Junge komponierte Lieder zu Ehren Gottes und sang sie begeistert, er las die Thora und nahm sie als moralisches Erlebnis in sich auf. Auch das ist bestimmt nicht wirkungslos vergangen. „Judentum scheint mir fast ausschließlich die moralische Einstellung im Leben und zum Leben zu betreffen“ – das sind schon die Worte des 60jährigen Einsteins. Oder: „Sein und

Schicksal unseres Volkes hängen weniger von äußeren Faktoren ab als davon, dass wir treu an denjenigen moralischen Traditionen festhalten, die uns Jahrtausende überstehen ließen" ([4], S. 93).

Nonkonformist war Einstein in der Wissenschaft, und Nonkonformist war er in der Politik. „Über den, der menschliches Blut vergossen hat, wird man sagen, dass er das Bild Gottes geschmälert hat, weil er die Anzahl seiner Ähnlichkeiten verringerte" [18]. Das ist vom jüdischen Weisen Rabbi Akiwa, 1. Jahrhundert unserer Zeitrechnung. „Töten im Krieg ist um nichts besser als gewöhnlicher Mord." So Einstein ([7], S. 608). „Das Wesen der jüdischen Lebensauffassung scheint mir zu sein: Bejahung des Lebens aller Geschöpfe … Es ist charakteristisch, dass im Gebot der Heiligung des Sabbats auch die Tiere ausdrücklich eingeschlossen waren, so sehr fühlte man die Forderung der Solidarität des Lebenden als Ideal ..." ([14], S. 89].

Einstein war einer der vier**,** die ihre Unterschrift unter den pazifistischen „Aufruf an die Europäer" setzten. Dieses Dokument wurde im Oktober 1914 als Antwort auf den traurig bekannten „Aufruf an die Kulturwelt" oder das „Manifest der 93" geschrieben, das den Einfall der Truppen Kaiser Wilhelms II. in das neutrale Belgien rechtfertigte und das auch einige Wissenschaftler aus dem engsten Bekanntenkreis Einsteins unterzeichnet hatten.[5]

Noch vor Ende 1914 schloss Einstein sich dem Bund „Neues Vaterland" an, einer Vereinigung kriegsgegnerischer Intellektueller [20]. Karl Liebknecht und Rosa Luxemburg gehörten zu den Förderern dieser Organisation, aus der später die „Deutsche Liga für Menschenrechte" hervorgegangen ist; in ihr hat Einstein an hervorragender Stelle gewirkt. Er wurde Mitglied in der „Nie wieder Krieg" – Bewegung, die mit Unterstützung von Kurt Tucholsky und Georg

5 Der „Aufruf an die Europäer" verdammte den Krieg als eine katastrophale Sprengung der Bande, die bisher die Völker Europas in einer gemeinsamen Zivilisation und Wissenschaft vereint hatten. Der Autor des „Aufrufs" war Professor Georg Friedrich Nicolai, 1874–1964, (eigentlich Georg Lewinstein), Oberarzt am Universitätsklinikum Charité, Forscher und internationaler Experte auf dem Gebiet der Elektrokardiographie, Verfasser des ersten Lehrbuchs dazu. Nicolai war einer der wenigen, die den allgemeinen Optimismus in Deutschland nach den ersten Kriegserfolgen im Jahre 1914 nicht teilten. Er schrieb einen Brief an den Generalstab mit den warnenden Prognosen: Nachdem Deutschland den Vorteil der Überraschung verloren habe, könne es nicht mehr hoffen, den Krieg zu gewinnen, weil auf die Dauer die Entente den Vorteil in Menschen-Ressourcen und Rohstoffen habe. Das wurde von Nicolai mit zwei Kurven illustriert. Der Schnittpunkt, den man berechnen konnte, musste der letzte Zeitpunkt für einen Kompromissfrieden sein. Nicolai stellte sich dem Kriegsministerium zur Verfügung, und man machte ihn zum Chefarzt der großen Herzstation im Tempelhofer Lazarett. Im Jahre 1917 schrieb er das Buch „Die Biologie des Krieges: Betrachtungen eines deutschen Naturforschers" mit dem „Aufruf an die Europäer" als Einleitung. Das Buch wurde in 9 Sprachen übersetzt, aber in Deutschland verboten. 1922 verließ Nicolai Deutschland für immer und lebte seitdem in Südamerika [19].

Friedrich Nicolai gegründet wurde; doch die Hauptperson hier war Carl von Ossietzky, der später in einem Nazigefängnis saß und gleichwohl würdig erschien, mit dem Friedens-Nobelpreis 1935 ausgezeichnet zu werden.

Einige politische Ideen Einsteins erscheinen auf den ersten Blick naiv, wie zum Beispiel die Idee einer Weltregierung ([12], S. 145), mit der er sich in einem „Offenen Brief an die Vollversammlung der Vereinten Nationen" wandte. Sie wurde von allen Seiten kritisiert. Aber erscheinen uns seine Worte, die vor 60 Jahren gesprochen worden sind, heute nicht prophetisch: „Die UN besitzt in ihrem heutigen Zustand weder die militärische Macht noch die gesetzliche Grundlage, um einen Zustand internationaler Sicherheit heraufzuführen".

Sein Leben lang blieb Einstein ein Kämpfer für die Freiheit der Gedanken, für die Menschenrechte, ein überzeugter Pazifist. Mitte Februar 1955 erhielt er einen Brief von Bertrand Russell, seinem jahrelangen Freund und Mitkämpfer im politischen Kampf, mit dem Vorschlag, einen Appell an die Weltöffentlichkeit und die Regierungen gegen den atomaren Rüstungswettlauf zu verfassen. Einstein stimmte „mit jedem Wort" überein ([7], S. 544). Das vorbereitete Dokument, das als „Russell-Einstein-Manifest" in die Geschichte einging, zusammen mit einem kurzen Begleitbrief, unterschrieb Einstein am 11. April 1955, sieben Tage vor seinem Tod. Das „Manifest" hatte die Gründung der Pugwash-Konferenzen zur Folge. Diese Institution von Wissenschaftlern und Intellektuellen gegen das atomare Wettrüsten erhielt 1995 den Friedens-Nobelpreis: genau 60 Jahre nach Carl von Ossietzky.

Die gesellschaftliche und politische Aktivität Einsteins betrachteten viele seiner Kollegen als Störung für seine wissenschaftliche Arbeit. In einem seiner letzten Interviews antwortete der am 6. März 2005 verstorbene Physik-Nobelpreisträger Hans Bethe auf die Frage „Welche Rolle hat Einstein in der amerikanischen Gesellschaft, vor allen Dingen in der amerikanischen Physiker-Community gespielt? Wurde er beachtet?": „Als Physiker? Nein. Als Politiker? Ja." [21].

Niels Bohr, Einsteins großer Freund und Opponent, äußerte im Gespräch mit Robert Jungk die Meinung, Einstein sei „nach 1919 nicht mehr bereit gewesen, die neuen ungewöhnlichen physikalischen Erkenntnisse der Kopenhagener Schule anzuerkennen, weil ihm sein intensives politisches Engagement viel von seiner Forscherkraft und Glaubwürdigkeit geraubt" habe ([22], S. 259). Eine keineswegs unbestreitbare Meinung – angesichts des oben Gesagten glaube ich, daß die Ursache eine andere ist und durch das Weltbild Einsteins bestimmt wird.

Jungk schreibt mit Recht: „Im Lichte heutiger Entwicklungen zeigt es sich aber, daß die zukunftsgerichtete Intuition Einsteins ihn auch bei der Beurteilung politischer Fragen nicht im Stich gelassen hat. Weltfremd war Einstein nur, wenn man seine Äußerungen unmittelbar auf die Gegenwart und nahe Zukunft bezog. Sieht man sie in einem größeren Zeitrahmen, dann erweisen sie sich als erstaunlich zutreffend, weil sie eine kommende, von den Zeitgenossen in ihrer gegenwärtigen Befangenheit nicht wahrgenommene Wirklichkeit in ihren Überlegungen berücksichtigen" [22].

Viele Wissenschaftler – nicht nur die, die wie Einstein Europa verlassen mussten: Niels Bohr, Max Born, Wolfgang Pauli, James Frank, Otto Stern, Hans Bethe, Enrico Fermi, sondern auch in Deutschland gebliebene: Otto Hahn, Werner Heisenberg – wurden Beteiligte an der Erscheinung, die Hans Bethe als „politische Physik" [23] bezeichnete. Und wirklich sei nach Einsteins Meinung „all die schöne Physik zu nichts mehr nutze, wenn die menschliche Kultur unterginge." Es ist kein Zufall, dass die berühmten Wissenschaftler Linus Pauling und Andrei Sacharow Träger des Friedens-Nobelpreises wurden...

Einstein fühlte sich immer dem jüdischen Volk zugehörig. Die Stärke dieses Gefühls veränderte sich im Verlaufe seines Lebens. Ich führe eine Aussage des 60-jährigen Einstein an, aus dem die Überschrift zu dem Artikel genommen habe: „Streben nach Erkenntnis um ihrer selbst willen, an Fanatismus grenzende Liebe zur Gerechtigkeit und Streben nach persönlicher Selbständigkeit – das sind die Motive der Tradition des jüdischen Volkes, die mich meine Zugehörigkeit zu ihm als ein Geschenk des Schicksals empfinden lassen" ([14], S. S89).

Verändert hat sich sein Verhältnis zum Zionismus. Wie viele seiner Kollegen und Freunde – Fritz Haber, Max Born u. a. – missbilligte Einstein ursprünglich die Idee der Schaffung eines jüdischen Staates. Die Ereignisse in Deutschland führten zur Veränderung seiner Position. „Das Gemeinwesen in Palästina soll sich dem sozialen Ideal unserer Vorfahren nähern ... und gleichzeitig eine Stätte modernen geistigen Lebens werden" ([14], S. 98). Mit ganzer Kraft unterstützte er die Schaffung der Jüdischen Universität in Jerusalem, und als erste Fakultät entstand die medizinische Fakultät. In seinem Testament hat Einstein seinen wertvollen Besitz, die literarischen Rechte an seinen Schriften und Briefen, dieser Universität übertragen.

„Israel kann den Kampf ums Überleben nur gewinnen, wenn es technologisches Fachwissen entwickelt", schrieb Einstein. Und er wurde zum Initiator für die Schaffung des Freundes-Kreises zur Förderung des Technion in Haifa

und sein erster Vorsitzender (von 1924 bis 1933). Der Freundes-Kreis wurde 1982 als „Deutsche Technion Gesellschaft“ wieder gegründet.

Zur selben Zeit war er überaus beharrlich Anhänger der Herstellung guter Beziehungen mit der arabischen Bevölkerung von Palästina. So sagte er z. B. 1932 in der USA vor der jüdischen Jugend: „Wir müssen unseren Beziehungen zum arabischen Volke große Aufmerksamkeit schenken. Durch die Pflege dieser Beziehungen werden wir imstande sein zu verhindern, dass sich in Zukunft die Spannungen heranbilden, die zur Provokation feindlicher Akte missbraucht werden können“ ([14], S. 97). Die Aktualität und der seherische Wert dieser Worte erfordern heute keinen Beweis.

Anfang März 2005 veröffentlichte „Die Welt“ ein Interview mit Prof. Avishay Braverman, dem Präsidenten der Ben-Gurion-Universität Beersheba (die heute 17000 Studenten aus mehr als 30 Ländern hat) über das Projekt „University Science Park“ in der Wüste Negev – den größten wissenschaftlich-technologischen High-Tech-Park in Israel. Hier gibt es schon ein exzellentes Institut für Nanotechnik und das größte Wasserforschungsinstitut im ganzen Mittleren Osten. Wasser ist schließlich eine knappe Ressource in der Region und wird auch Thema für High-Tech sein. „Wir müssen das Wasserproblem gemeinsam mit Jordanien und den Palästinensern lösen. Die Zeit scheint gekommen, diese Dinge anzugehen. Wenn der Friedensprozess vorankommt, dann gibt es eine Chance für eine gemeinsame Wasserinitiative.“ – So Braverman [24].

Das Interview hat einen Zwischentitel: „Die Wüste soll ergrünen und sich in einen Wissenschaftspark wandeln“. Und die Überschrift des Interviews insgesamt lautet: „Frieden durch Wissenschaft“. Beides: „Wissenschaft“ und „Frieden“ waren Inhalt des ganzen Lebens von Albert Einstein – des Menschen, des Wissenschaftlers, des Denkers, des Juden.

Literatur

[1] Centrum Judaicum Berlin, Archiv.
[2] http://www.alemannia-judaica.de/cannstatt_friedhof
[3] http://www.weller.to/links-gd/
[4] Thomas Bührke, *Albert Einstein*, Deutscher Taschenbuch Verlag, München 2004.
[5] Albert-Einstein-Archiv, Jerusalem; Zeev Rosenkranz, *Albert Einstein*, Jüdische National- und Universitätsbibliothek Jerusalem, Jerusalem 2004.
[6] Max Jammer, *Einstein und die Religion*, Universitätsverlag Konstanz, Konstanz 1995.
[7] Armin Hermann, *Einstein*, R. Piper Verlag, München 1994.

[8] Banesch Hoffmann, *Albert Einstein*, Verlag Stocker-Schmid, Zürich 1976.
[9] A. Einstein, *Ann. der Physik*, 18 (1906) 639.
[10] Friedrich Dürrenmatt, *Albert Einstein*, Diogenes Verlag, Zürich 1979.
[11] Albert Einstein, *Briefe an Maurice Solovine, 1906–1955*, Berlin 1960.
[12] Albert Einstein, *Aus meinen späten Jahren*, Deutschen Verlags-Anstalt, Stuttgart 1952.
[13] Maurice-Ruben Hayoun, *Maimonides – Arzt und Philosoph im Mittelalter*, Verlag C.H. Beck, München,1999. S. 138
[14] Albert Einstein, *Mein Weltbild*, Ullstein, Frankfurt/M, Berlin 1991.
[15] Albrecht Fölsing, „*Albert Einstein – eine Biographie*“, Frankfurt a. M. 1993, S. 823.
[16] A. Einstein, *Z. für Physik*, 16 (1923) 228.
[17] Alexander Friedmann, *„Die Welt als Raum und Zeit“*, Übersetzung und Einführung von Georg Singer, Verlag Harri Deutsch, 2000; *„Alexander Friedmann und sein wissenschaftliches Erbe“*, Vortragsreferate, Seminar *DAMU* und *WIGB*, Berlin, 12. Oktober 2003.
[18] Louis Finkelstein, *Akiva: Scholar, Saint und Martyr*, Rus. Übersetzung, Alia-Verlag, Jerusalem 1990, S. 178.
[20] Hubert Goenner, „*Einstein in Berlin“*, Verlag C.H. Beck, München, 2005, S. 75.
[21] Dieter Hoffmann, *Physik Journal* 3, 2005.
[22] Robert Jungk, in „*Es ist ein Weinen in der Welt*“. Hrsg. Von Hans Schulz. Quell Verlag, Stuttgart, 1990, S. 259.
[23] Wolfgang W. Merkel, *Die Welt*, 9. März 2005.
[24] Norbert Lassau, *Die Welt*, 3. März 2005.

Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät *78/79(2005), 155–160*

Helmut Moritz

Auf den Spuren von Einstein und Heisenberg in Südosteuropa. Die Internationale Humanisten-Liga in Sarajevo

1. Geschichtliches

Die Idee des Humanismus entstand in der Renaissance in Italien. Eng verwandt ist die Aufklärung in Frankreich und Deutschland. Grundideen sind Friede, Freiheit und später Gleichheit und Demokratie; besonders wichtig ist Toleranz. Leibniz ist einer ihrer wichtigsten Vertreter. Zu den bekanntesten Humanisten des vorigen Jahrhunderts gehören Einstein und der englische Philosoph Bertrand Russell (nebenbei bemerkt wurde Russell beeinflusst durch die Leibnizschen Monadentheorie).

Eng verbunden ist die Idee des Pazifismus verschiedener Friedensbewegungen. Auf Grund der Verantwortung des Wissenschaftlers bekannten sich Einstein und Russell schon zur Zeit des 1. Weltkriegs zum Pazifismus. Das Wort „Pazifist“ ist manchmal etwas negativ belegt, aber Pazifisten sind weder besonders dumm noch besonders feige. Die deutsche Übersetzung, „jemand, der für den Frieden arbeitet“, klingt da schon besser.

Nach dem 2. Weltkrieg entstand die Pugwash-Bewegung (benannt nach dem ersten Versammlungsort). Angesichts des nuklearen Wettrüstens wiesen namhafte internationale Wissenschaftler auf die Gefahr eines dritten Weltkriegs hin. Im Jahre 1955 (vor 50 Jahren!) entstand das bekannte Einstein-Russell-Manifest, in dem es zum Schluss heißt:

„In view of the fact that in any future world war nuclear weapons will certainly be employed, and that such weapons threaten the continued existence of mankind, we urge the Governments of the world to realize, and to acknowledge publicly, that their purpose cannot be furthered by a world war, and we urge them, consequently, to find peaceful means for the settlement of all matters of dispute between them.“

Unterzeichner:

Max Born, Perry W. Bridgman, Albert Einstein, Leopold Infeld, Frederic Joliot-Curie, Herman J. Muller, Linus Pauling, Cecil F. Powell, Joseph Rotblat, Bertrand Russell, Hideki Yukawa

Ivan Supek, über den wir noch sprechen werden, war der Leiter der jugoslawischen Delegation und Mitglied des internationalen Pugwash-Komitees.

In Weiterführung dieser Gedanken entstand die Erklärung von Dubrovnik-Philadelphia (1972–1974–1976), die zur Gründung der Internationalen Humanisten-Liga führte. Gründungsmitglieder waren Ivan Supek und die Nobelpreisträger Linus Pauling und Philipp Noel-Baker, weiters Aurelio Peccei, Präsident des Club of Rome, sowie Ava Pauling und Sophia Wada aus Indien.

2. Persönliches

Um nicht in allbekannte Gemeinplätze zu verfallen, will ich einige persönliche Gedanken und Erinnerungen einflechten.

Ich hatte schon immer Interesse an der Zusammenarbeit mit Wissenschaftlern aus der ganzen Welt und halte Pluralismus und Toleranz für naturgegeben und notwendig.

Im Jahre 1980 starb Marschall Tito. Zehn Jahre später entbrannte der furchtbare Bürgerkrieg in Jugoslawien. Slowenien, Kroatien, Serbien und Montenegro, sowie Makedonien machten sich selbständig. Die Trennung war unvermeidlich.

Bei einem Vortrag an der Kroatischen Akademie der Wissenschaften habe ich in den frühen 90er Jahren den damaligen Akademie-Präsidenten Ivan Supek kennengelernt, und wir haben uns sofort verstanden. Supek verkörpert eine sehr persönliche Synthese von Wissenschaft, Philosophie, Literatur und Politik. Er wird von vielen bis heute, fast neunzigjährig, als „Gewissen der Nation“ betrachtet. Supek war Assistent von Werner Heisenberg in Leipzig. 1941 von der Gestapo verhaftet, wurde er auf Intervention von Heisenberg freigelassen und ging zu den Partisanen. Er gilt als der bedeutendste Naturwissenschaftler in Jugoslawien nach dem 2. Weltkrieg. Er war Rektor der Universität Zagreb in den kritischen Jahren 1968–1972, in denen Kroatiens ganze kommunistische Regierung wegen „Nationalismus“ ausgewechselt wurde. Während dieser Zeit fällt aber auch das Zagreber Ehrendoktorat von Heisenberg (in Anwesenheit von Marschall Tito!) und die Gründung des Inter-Universitäts-Zentrums in Dubrovnik, an dem Heisenberg die ersten Vorlesungen über Philosophie der Naturwissenschaften hielt. Später war Ivan Supek Präsident der Kroatischen Akademie der Wissenschaften und Künste.

Meine erste Reaktion im Bürgerkrieg war: nicht urteilen, sondern helfen. Ich durfte mitwirken, daß Kroatien Mitglied der Internationalen Union für

Geodäsie und Geophysik (IUGG) und des Internationalen Rates für Wissenschaft (ICSU, 1993) wurde. So entstand die Verbindung von Albert Einstein über Linus Pauling und Ivan Supek zu Jugoslawien und Kroatien. Auch die Verbindung mit Heisenberg geht über Ivan Supek. Selbstverständlich sind mir auch weiterhin gute Beziehungen und moralische Unterstützung auch für die Kollegen in Serbien wichtig.

Aus Einsteins Biographie ist bekannt, daß seine erste Frau, Mileva Maric, aus Serbien stammte. Eine weitere interessante Spur.

3. Wozu die Internationale Humanisten-Liga?

Die Gründung der Internationalen Humanisten-Liga (ILH) habe ich schon früher skizziert. Sie ist historisch aus der Pugwash-Bewegung entstanden und greift daher auf Einsteins Gedanken zurück, ist aber jetzt von Pugwash völlig unabhängig. Die humanistische Ausrichtung stammt von Ivan Supek. Auf dem ersten Kongress der ILH nach dem Jugoslawien-Krieg wurde in Sarajevo 1998 der Beschluss gefasst, das Zentrum der ILH von Philadelphia nach Sarajevo zu verlegen, mitten in das „Auge des Orkans". Von dort aus sollten das „Friedensexperiment" der ILH auf Bosnien, über ganz Südosteuropa und darüber hinaus global wirken.

Die ILH wird von Bosniern als „ihre eigene Organisation" betrachtet, fast ausschließlich von Bosniern, auch finanziell, getragen (Zentralbüro in Sarajevo, Generalsekretär Prof. Zdravko Surlan aus Sarajevo, Vizepräsident Dr. Franjo Komarica aus Banja Luka), und mit einem die Landessprache sprechendem Präsidenten, der in der internationalen wissenschaftlichen Zusammenarbeit tätig war und ein politisch harmloser Österreicher ist. Damit steht die ILH in Ergänzung zu ausländischen Institutionen, die sehr verdienstvoll in Bosnien und Herzegovina arbeiten.

Die Einstein-Russell-Deklaration dachte hauptsächlich an „große" Kriege. Leider fanden und finden im Schatten der Atombombe viele „kleine", bisher glücklicherweise ohne Atomwaffe, statt; letzteres hat vielleicht bisher einen dritten Weltkrieg verhindert. Kleine Atombomben könnten in den Händen von Terroristen gefährlich sein, aber auch ein Angriff auf einen zivilen Atomreaktor. Die Atombombe hat Kriege nicht verhindert, aber immer gefährlicher gemacht, bis zur möglichen Ausrottung der ganzen Menschheit innerhalb weniger Stunden. Obwohl die Aufmerksamkeit derzeit von der Möglichkeit eines Atomkriegs abgelenkt ist, kann ein solcher jederzeit stattfinden. Eine Eskalation eines „kleinen" Krieges zu einem globalen Atomkrieg ist auch heute jederzeit möglich.

Das Buch „Our Final Century“ des namhaften Wissenschaftlers Martin Rees (London 2003) zeigt, daß die Chancen, daß die Menschheit zu Ende des 21. Jahrhunderts trotz aller natürlichen und aller vom Menschen herbeigeführten Katastrophen noch besteht, etwa bei 50:50 liegen.

Nebenbei bemerkt, hat der große Philosoph Immanuel Kant (1724–1804) in seiner Schrift „Zum ewigen Frieden“ (1795) auf die Notwendigkeit des friedlichen Zusammenlebens aller Völker und Staaten der Welt hingewiesen. Stehende Heere sollten schrittweise aufgelöst werden, wir denken hier an die schrittweise Abrüstung. Alle Staaten sollten sich freiwillig zu einem Völkerbund zusammenschließen, hier werden die Vereinigten Nationen (UNO) vorweggenommen. Als Alternative bestehe nur der „ewige Friede“ auf einem globalen Völkerfriedhof – Kant konnte recht sarkastisch sein.

4. Humanismus und Friede

Dieses Thema ist sehr schwierig für einen Wissenschaftler, der große Worte nicht liebt, aus einem Land, dem Hans Weigel „Flucht vor der Größe“ zuschreibt.

Humanismus bedeutet einfach: ein guter Mensch zu sein, maßvoll und tolerant. Im Lateinischen und Griechischen lernte ich in der Schule schöne, weise und richtige Sprüche wie

„Was immer du tust, tu’ es mit Vernunft und bedenke die möglichen Folgen“ und „Lieber Unrecht leiden als Unrecht tun.“

„Leben und leben lassen“ würde Kriege verhindern und die Bewahrung der Umwelt für unsere Nachkommen implizieren.

Wie das Beispiel von Jugoslawien zeigt, wäre es sehr wichtig, gelittenes Unrecht zu vergessen und auf Rache zu verzichten. Gnade geht hier vor Recht. Das dauernde Aufrechnen alter Schuld sollte aufhören.

Wissenschaft wird von allen Menschen anerkannt. Wo Politiker, Ideologen und Theologen streiten, arbeiten Naturwissenschaftler auf der ganzen Welt zusammen. Wissenschaft ist daher eine gute Basis für eine allgemeine internationale Zusammenarbeit.

5. Mensch als Subjekt und Objekt

Krieg ist ein allgemeiner Zustand, in dem die Tötung als erlaubt gilt. Beispiele sind:

- Soldaten, die „selbstverständlich“ den Feind „vernichten“ müssen;
- „Staatsmänner“, die einen Angriffskrieg anordnen;

- Diktatoren, denen ein Menschenleben nichts gilt;
- aber auch Ärzte, die berufsmäßig Abtreibungen vornehmen.

Das alles ist sehr umstritten und wird vielfach nicht als „Mord" betrachtet. Die Grenzen sind fließend.

Der Tatbestand ist: *Der Mensch wird als Objekt* (Sache, Feind,…) *angesehen, nicht als gleichwertiges Subjekt.* Wir denken hier an Kants kategorischen Imperativ, der in der Sprache des Volkes lautet: „Was du nicht willst, das man dir tu', das füg' auch keinem anderen zu".

Objekte (Geld, Macht, Erdöl) und Ideologien (die eigene Nation, die eigene Rasse, die eigene Religion), die an sich nichts Schlechtes sind, werden als Rechtfertigung zum Töten angeführt.

Kein Mensch ist davon ausgenommen. Es sind nicht immer die anderen, auch wir können in Konfliktsituationen kommen. Keiner nimmt uns die Entscheidung ab. Für schwierige aber richtige Entscheidungen gibt es sehr selten Belohnungen: Friedensnobelpreise und andere Auszeichnungen (auch durch die ILH), den Beifall der Medien, Heiligsprechungen. Alle solche Auszeichnungen weisen in die richtige Richtung, sind aber auch nicht unproblematisch. Ein Extrembeispiel sind die Selbstmord-Terroristen, die morden, um in den Himmel zu kommen. Alle guten Dinge, auch die Religion, lassen sich verdrehen und missbrauchen.

Die eigene Entscheidung und richtiges Handeln tragen die Belohnung in sich. Ein maßvoller Rationalismus, ein möglichst umfassendes, objektiv abwägendes Denken, sind das, was man als „Weisheit" betrachtet. (Die Franzosen haben das schöne Wort „désintéressé", das alles andere als uninteressiert bedeutet.) Die moralische „Wahrheit" ist dem wissenschaftlichen Denken verwandter als man glaubt, aber nicht damit identisch: moralische Wahrheit ist viel komplexer als naturwissenschaftliche Erkenntnis. Wissenschaftler, objektiv denkend und gewohnt, die „Wahrheit" zu suchen, sind vielleicht leichter dazu imstande als Politiker. Einstein ist hier sicherlich ein Vorbild. Vielleicht ist es mit der moralischen Wahrheit wie mit einem Berg: man muss ihn von allen Seiten betrachten, um ein vollständiges Bild zu erhalten. Hans Urs von Balthasar sagte: „Die Wahrheit ist symphonisch". Dies führt zu einem zulässigen, vielleicht sogar notwendigen, Pluralismus, aber auch zu Toleranz und Demokratie.

Religionen, Philosophen und Gesetzgeber haben ethische Gesetze und Verhaltensnormen entwickelt. Es gibt deren genug, man braucht sich nur danach zu halten. Noch gefährlicher als deren Nichtbeachtung ist eine *Doppelmoral*: man selbst handelt immer richtig, Unrecht tun immer nur die anderen

(feindliche Menschen oder Staaten). Wir Humanisten müssen uns besonders vor einseitigen Standpunkten hüten. Die ILH ist keine übergeordnete moralische Instanz.

Einstein hat den Nationalsozialismus als psychische Massenerkrankung bezeichnet. Krankheiten sind Ausnahmezustände, Einseitigkeiten. Man kann und muss versuchen, sie zu heilen, aber vorher muss man sie diagnostizieren. Fehldiagnosen und falsche Heilungsversuche können ebenso gefährlich sein wie die Krankheit selbst. Eine Vorbeugung besteht darin, die Wurzeln zu behandeln: Unterdrückung, Hunger, mangelnde Bildung, Ausweglosigkeit,… Man sollte aber auch das eigene erlittene Unrecht vergessen und einen neuen Anfang wagen.

6. Einige persönliche Gedanken zu Geographie und Geschichte

Wir Europäer und Nordamerikaner vergessen gerne, daß wir nur ein kleiner Teil der Menschen sind. Eine Hauptaufgabe der Wissenschaftler ist es, anderen Völkern zu Bildung und eigener Technologie-Entwicklung zu verhelfen. Den Hunger zu stillen ist überlebenswichtig, aber gleich dann kommt die Bildung. Länder wie Japan, China und Indien können als Vorbilder dienen. Den Vereinten Nationen (UNO), bei allen Unzulänglichkeiten, verdanken wir Großartiges. Neukolonialisierung ist zu vermeiden, und die ehemaligen Kolonialstaaten sind für die Kolonien moralisch verantwortlich; die gilt besonders für den schwierigen Kontinent Afrika. Österreich muss ein besonderes und uneigennütziges Herz für die Staaten der ehemaligen k.-k. Monarchie haben. So kommt mein Vortrag wieder zu Bosnien zurück.

Und zur Geschichte? In schwierigen Zeiten brauchen wir Menschen, Dissidenten und Propheten, die Missstände aufzeigen und uns immer wieder Ideale vor Augen stellen, wie Einstein. In solchen Zeiten brauchen wir aber auch Leute, die versuchen, das wissenschaftliche und geistige Leben irgendwie weiterzuführen, wie Heisenberg.

Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät *78/79(2005), 161–172*

Ekkehard Sieker

Albert Einstein – sein politisches Wirken in Berlin in den Jahren 1914–1932

Ein Pazifist wird aktiv

Berlin, 3. Juli 1913. Auf Vorschlag der Wissenschaftler Max Planck, Emil Warburg, Walther Nernst und Heinrich Rubens wurde Albert Einstein zum ordentlichen Mitglied der Preußischen Akademie der Wissenschaften nominiert. Am 12. November 1913 ist die Wahl von Kaiser Wilhelm II. bestätigt worden; Einstein nahm das Amt am 7. Dezember an. Im Frühjahr 1914 zog er von Zürich nach Berlin um, nicht ahnend, daß er in den kommenden zwei Jahrzehnten nicht nur als Physiker Weltruhm erlangen würde, sondern auch als mutiger Streiter für Frieden und Völkerverständigung.

Entscheidender Auslöser für Einsteins politisches Engagement war der Beginn des Ersten Weltkrieges. Nachdem das deutsche Kaiserreich Anfang August 1914 Rußland und Frankreich den Krieg erklärt und das bis dahin neutrale Belgien besetzt hatte, trat die überwiegende Mehrheit der deutschen Gelehrten schützend vor die Monarchie und rief sogar ihre Studenten auf, für Kaiser und Reich an die Waffen zu eilen. Auch Max Planck pries den Tod auf dem Schlachtfeld „als köstlichsten Preis“[1], den ein junger Akademiker erringen könne. In ihrem Aufruf „An die Kulturwelt“[2] versuchten im Oktober des Jahres 1914 über 90 Wissenschaftler und Kulturschaffende den von Deutschland provozierten Krieg als notwendige Verteidigungsmaßnahme darzustellen und den deutschen Militarismus zu rechtfertigen. In ihrem Aufruf hieß es: „... Es ist nicht wahr, daß Deutschland diesen Krieg verschuldet hat. ... Es ist nicht wahr, daß unsere Kriegführung die Gesetze des Völkerrechts mißachtet. ... Es ist nicht wahr, daß der Kampf gegen unseren sogenannten Militarismus kein Kampf gegen unsere Kultur ist, wie unsere Feinde heuchlerisch vorgeben. Ohne den deutschen Militarismus wäre die deutsche Kultur längst vom Erdboden getilgt. ...“[3]

Dieser Aufruf enthielt als Unterzeichner unter anderem die Namen von den Naturwissenschaftlern Max Planck, Walther Nernst, Fritz Haber, Wil-

helm Röntgen, Ernst Haeckel, Wilhelm Ostwald, Philipp Lenard, aber auch von Künstlern wie Gerhart Hauptmann, Max Reinhardt, Max Liebermann und anderen Kulturschaffenden.

Von wem persönlich und unter welchen Umständen die genannten Personen im Einzelnen um ihre Unterschrift gebeten worden waren, ist nicht ganz klar. So berichtete Lise Meitner 1958 im Rahmen der Feierlichkeiten zu Max Plancks 100. Geburtstag, daß Plancks Name „ohne sein Zutun“[3a] unter diesen Aufruf gelangt wäre. In diesem Zusammenhang sei aber auch eine zeitlich frühere Einschätzung dieses Vorganges von Einstein selbst wiedergegeben. Einstein schrieb bereits am 2. August 1915 an seinen niederländischen Kollegen, den Physiker Hendrik Antoon Lorentz in einem Brief: „Der berühmte und berüchtigte ‚Aufruf an die Kulturwelt’ wird von allen ruhig denkenden Menschen hier bedauert. Die Unterschriften wurden fahrlässig, zum Teil ohne vorheriges Lesen des Textes, gegeben. So war es zum Beispiel bei Planck ... .“[3b]

Einstein hatte jedenfalls als schweizer Staatsbürger das kriegstreibende Pamphlet nicht unterschrieben, obwohl dies von den Initiatoren sicherlich begrüßt worden wäre. Im Gegenteil: Er reagierte geradezu mit Abscheu auf diesen Krieg. In einem Brief an einen seiner engsten Freunde, den in Holland lehrenden Physiker Paul Ehrenfest, schrieb er kurz nach Kriegsbeginn:

„Unglaubliches hat nun Europa in seinem Wahn begonnen. In solcher Zeit sieht man, welch trauriger Viehgattung man angehört. Ich döse ruhig hin in meinen friedlichen Grübeleien und empfinde nur eine Mischung von Mitleid und Abscheu.“[4]

Einstein wandte sich gegen jedwedes nationalistische und kriegstreiberische Verhalten deutscher, aber auch ausländischer Intellektueller. So schrieb er Anfang März 1915 an den französischen Schriftsteller und Pazifisten Romain Rolland: „Möge Ihr herrliches Beispiel andere treffliche Männer aus der mir unbegreiflichen Verblendung aufwecken, die wie eine tückische epidemische Krankheit auch tüchtige und sonst sicher denkende und gesund empfindende Männer gefesselt hat! Sollen wirklich spätere Jahrhunderte unserm Europa nachrühmen, daß drei Jahrhunderte emsiger Kulturarbeit es nicht weiter gefördert hatten als vom religiösen Wahnsinn zum nationalen Wahnsinn? Sogar die Gelehrten der verschiedenen Länder gebärden sich, wie wenn ihnen vor acht Monaten des Großhirn amputiert worden wäre. ...“[5]

Einstein begnügte sich jedoch nicht mit brieflichen Äußerungen gegen den Krieg. Als Gegenstück zu dem verhängnisvollen Manifest der 93 Kulturschaffenden aus Wissenschaft und Kunst entwarf er gemeinsam mit dem Berliner Physiologen Georg Friedrich Nicolai einen „Aufruf an die Europäer“[6];

darin werden die Wissenschaftler Europas aufgefordert, ihrer großen sittlichen Verantwortung gerecht zu werden und für einen friedensfähigen „Europäerbund“ einzutreten, der Krieg als Mittel der Politik gänzlich ablehnt. Außer Einstein und Nicolai, den beiden Verfassern des Aufrufs, fanden sich jedoch nur zwei weitere Unterstützer. Einer davon war der damals bereits über achtzigjährige Wilhelm Förster, der langjährige Direktor der Berliner Sternwarte; er hatte das deutsch-nationale Dokument der 93 Kulturschaffenden ebenfalls unterschrieben, bereute aber diesen Schritt. Angesichts der mageren Resonanz auf den „Aufruf an die Europäer“ verzichteten die Verfasser auf eine breite Veröffentlichung ihres Aufrufs zum damaligen Zeitpunkt.

Doch Einstein ließ sich nicht entmutigen und setzte seine friedenspolitischen Aktivitäten fort. Noch im November 1914 schließt er sich dem „Bund Neues Vaterland“ an, aus dem später die „Deutsche Liga für Menschenrechte“ hervorgeht. Der von Kriegsgegnern gegründete Bund hatte das Ziel, einen baldigen Friedensschluß ohne Gebietsforderungen herbeizuführen; nach dem Krieg sollte eine internationale Organisation geschaffen werden, die künftige militärische Auseinandersetzungen verhindern helfen würde.

Obwohl Einstein durch seine Arbeit an der Allgemeinen Relativitätstheorie und durch die mathematischen Probleme bei der vollständigen Entwicklung seiner Feldgleichungen der Gravitation sehr in Anspruch genommen war, fand er immer wieder Zeit, um sich für Frieden und Völkerverständigung einzusetzen, denn er sah sich als Wissenschaftler in der politischen Verantwortung. So schreibt er Ende 1915 an den Berliner „Goethe-Bund“: „Die feinen Geister aller Zeiten waren darüber einig, daß der Krieg zu den ärgsten Feinden der menschlichen Entwicklung gehört, daß alles zu seiner Verhütung getan werden müsse. ... Ich denke wirklich, daß die geistig reifen Menschen Europas sich durch Vernachlässigung der allgemeinen politischen Fragen versündigt haben.“[7]

Nach einem entsetzlichen Blutbad, zu verantworten vom deutschen Kaiserreich, war es am 9. November 1918 dann soweit: Das Deutsche Reich kapitulierte, der Kaiser dankte ab, die Republik wurde ausgerufen. Der Friedenskämpfer Albert Einstein war begeistert und setzte sein politisches Wirken fort – für sozialen Fortschritt, Demokratie und Völkerverständigung.

Der November-Revolutionär

Die Zeit nach dem Kriegsende ist zunächst von Aufbruchsstimmung gekennzeichnet. Auch Albert Einstein setzte große politische Hoffnungen in den Aufbau der neuen Republik und war bereit, sich dafür auch zu engagieren. Er

schrieb an seine Familie: „Ich bin sehr glücklich über die Entwicklung der Sache. Jetzt wird es mir erst recht wohl hier. Die Pleite hat Wunder getan. Unter den Akademikern bin ich so eine Art Obersozi.“[8] Optimistisch befand er: „Bei uns ist der Militarismus und der Geheimratsdusel gründlich beseitigt.“[9]

Obwohl Einstein kein Parteimitglied war, stand er in jenen Novembertagen und der darauffolgenden Zeit den „Unabhängigen Sozialdemokraten“ nahe. Selbst nannte er sich öfter einen „unabhängigen Sozialisten“[10]. Er war überzeugter Demokrat, radikalen linken oder orthodox-marxistischen Überzeugungen stand er eher ablehnend gegenüber.

Das zeigte sich etwa Ende 1918 als radikale Berliner Studenten den Universitätspräsidenten „abgesetzt“ hatten und auf weiteren Änderungen im akademischen Leben bestanden; in dieser Situation wurde Einstein als Vermittler eingesetzt. In einer Ansprache an die Studenten forderte er von ihnen Loyalität gegenüber der damaligen sozialdemokratischen Regierung:

Er begrüßte die Anwesenden völlig unprofessoral mit: „Genossen und Genossinnen! Gestatten Sie einem alten Demokraten, der nicht hat umlernen müssen, einige Worte. ...“, um dann den Studenten die politische Situation aus seiner Sicht zu erläutern: „Die alte Klassenherrschaft ist beseitigt. Sie fiel durch die eigenen Sünden und durch die befreiende Tat der Soldaten. Der von diesen rasch gewählte Soldatenrat im Verein mit dem Arbeiterrat muß vorläufig als Organ des Volkswillens aufgefaßt werden. Wir sind diesen Behörden also in dieser kritischen Stunde unbedingten Gehorsam schuldig und müssen sie mit allen Kräften stützen.“

Einstein weiter: „Rückhaltlose Anerkennung gebührt unseren jetzigen sozialdemokratischen Führern. In stolzem Bewußtsein der werbenden Kraft der von ihnen vertretenen Gedanken haben sie sich bereits für die Einberufung der gesetzgebenden Versammlung entschlossen. Damit haben sie gezeigt, daß sie das demokratische Ideal hochhalten.“[11]

Obwohl Einstein bald erkennen mußte, daß das politische Personal der Weimarer Republik die auf sie gesetzten großen Hoffnungen nicht erfüllte, stand er unerschütterlich zu seiner demokratischen und humanistischen Gesinnung. Das wurde etwa in einem Nachruf deutlich, den er 1919 dem Berliner Physiker und sozialdemokratischen Kommunalpolitiker Leo Arons gewidmet hat.

Leo Arons, der Erfinder der Quarz-Quecksilberdampflampe, der so genannten „künstlichen Höhensonne“, lehrte von 1890 bis 1900 als Privatdozent an der Berliner Universität. Er war wegen seiner Zugehörigkeit zu der Partei August Bebels und wegen seines kämpferischen Auftretens auf deren Parteitagen aufgrund eines eigens von der preußischen Regierung erlassenen

Gesetzes von der Universität entfernt worden. In Einsteins Nachruf, der unter der Überschrift „Leo Arons als Physiker" in den „Sozialistischen Monatsheften" erschien, heißt es:

„Sein soziales Fühlen und sein Gerechtigkeitsdrang führten ihn dem Kreis der Sozialisten zu, ließen ihn in der Öffentlichkeit seine sozialistischen Überzeugungen vertreten, ungeachtet der schweren Hemmungen und Anfeindungen, die er sich im reaktionär geleiteten Staat dadurch zuzog. Er war einer jener im Kreise unserer Akademiker so seltenen Erscheinungen, denen nicht nur Selbständigkeit des Geistes, sondern auch Unabhängigkeit des Charakters, Unbeeinflußbarkeit gegenüber den Vorurteilen seiner Kaste und selbstloser Opfermut eigen waren. Was er tat, war in seinen Augen nur das Selbstverständliche; er tat es in Schlichtheit, ohne die große Geste des Märtyrers."[12]

Einsteins Ausführungen lesen sich ein wenig so, als habe er sich selbst charakterisiert. Und tatsächlich war auch Einstein zunehmend Anfeindungen von rechts ausgesetzt, besonders ab Ende 1919, als mit der Bestätigung seiner Ende 1915 vollendeten Allgemeinen Relativitätstheorie ein regelrechter publizistischer Starkult um den Physiker und Friedensaktivisten einsetzte.

Anfeindungen von Rechts

Am 6. November 1919 gaben die Royal Society und die Royal Astronomical Society feierlich bekannt, daß Einsteins Allgemeine Relativitätstheorie durch die Ergebnisse zweier britischer Expeditionen bei der Sonnenfinsternis am 29. Mai des Jahres bestätigt worden seien. Am nächsten Tag begann sozusagen der bis heute andauernde Einstein-Mythos. In der deutschen und internationalen Tagespresse setzte ein richtiger Einstein-Rummel ein, die größten Hörsäle der Berliner Universität konnten die Massen der Studenten und Gäste, die Einstein hören wollten, kaum fassen. Der neue Gelehrte von Weltruhm und fortschrittlicher Gesinnung löste aber keineswegs nur Begeisterungsstürme aus.

Im Gegenteil: Ein Wissenschaftler, der in das politische Leben eingriff, entsprach in Deutschland nicht der akademischen Tradition. Ohnehin waren alle Formen des Pazifismus, Liberalismus und Internationalismus im herrschenden Gelehrtenleben verpönt. Wer sich öffentlich zu diesen Ideen bekannte, riskierte Erpressung, Strafverfolgung und sogar das nackte Leben, wie die vielen politischen Morde jener Zeit gezeigt haben. Die Tatsache, daß Einstein Jude und sein Werk für den „Durchschnittsmenschen" verwirrend

und unverständlich war, machten ihn umso mehr zur Zielscheibe für Nationalisten und andere reaktionäre Kreise.

Anfang Februar 1920 kam es an der Berliner Universität zu ersten größeren antisemitischen Provokationen gegen den Gelehrten, der daraufhin seinen Vortrag abbrach und den Hörsaal verließ. Eine Abordnung der Studenten entschuldigte sich einige Tage danach bei Einstein und bat ihn, seine Vorlesungen wieder aufzunehmen. Doch schon bald darauf begann auch außerhalb der Universität ein planmäßiger Verleumdungsfeldzug gegen ihn, bei dem auch eine Reihe angesehener Wissenschaftler und Publizisten an vorderster Front mitmarschierte.

Angeführt wurde die Hetze von einer Reihe eingefleischter Antisemiten, die sich unter der Tarnbezeichnung „Arbeitsgemeinschaft deutscher Naturforscher zur Erhaltung reiner Wissenschaft“ zusammengeschlossen hatten. Einer ihrer Väter war der Heidelberger Experimentalphysiker und Nobelpreisträger Philipp Lenard. Unter dem Deckmäntelchen von „sachlicher Kritik“ wurde der deutsch-national gesinnte Lenard einer der Hauptgegner Albert Einsteins. Auf einer Veranstaltung in der Berliner Philharmonie im August 1920 warfen die Gegner Einstein etwa Diebstahl am geistigen Eigentum anderer Forscher und „persönliche Reklamesucht“ vor; doch hinter den Angriffen auf die Relativitätstheorie standen vor allem politische und antisemitische Interessen. Schließlich kam es sogar zu Morddrohungen gegen Einstein, die in Zeitungen öffentlich geäußert wurden, ohne daß auch nur ein Staatsanwalt eingeschritten wäre. Nach einer rechtsextremen Hetzveranstaltung in der Berliner Philharmonie hat Einstein einem Reporter gegenüber bemerkt: „Ich komme mir vor wie jemand, der in einem guten Bett liegt, aber von Wanzen geplagt wird.“[13]

In einem Brief an seinen Kollegen und Mentor, den bereits erwähnten niederländischen Physiker Hendrik Antoon Lorentz, schrieb Einstein im Sommer 1920: „In der letzten Zeit hatte ich Anfeindungen verschiedenster Art zu erdulden, hauptsächlich durch die Zeitungen. Dies ist aber nicht zu bedauern, denn es ist eine Gelegenheit, um die echten Freunde von den unsicheren zu unterscheiden. Merkwürdig ist, daß in dieser Zeit jede Wertung nach politischen Gesichtspunkten vollzogen wird.“[14]

Die Anfeindungen gegen Einstein erreichten einen vorläufigen Höhepunkt, als der deutsche Außenminister Walther Rathenau am 24. Juni 1922 von reaktionären Fanatikern ermordet wurde. Einstein sagte daraufhin sofort seine Vorlesungen und alle seine öffentlichen Auftritte ab. Wenige Wochen nach dem Attentat schrieb Einstein an seinen Freund Maurice Solovine: „... Hier sind erregte Zeiten seit dem abscheulichen Mord an Rathenau. Ich werde

auch immer gewarnt, habe mein Kolleg aufgegeben und bin offiziell abwesend, aber in Wahrheit doch hier. Der Antisemitismus ist sehr groß."[15]

Kurz zuvor hatte Einstein bereits durch einen Brief an Max Planck einen wissenschaftlichen Vortrag abgesagt. Er sei von mehreren ernstzunehmenden Menschen unabhängig voneinander davor gewarnt worden, sich in der nächsten Zeit in Berlin aufzuhalten und in Deutschland öffentlich aufzutreten. „Denn ich soll zu der Gruppe derjenigen Personen gehören, gegen die von völkischer Seite Attentate geplant sind. Einen sicheren Beweis dafür habe ich natürlich nicht; aber die gegenwärtig herrschende Situation läßt es durchaus glaubhaft erscheinen ... . Die ganze Schwierigkeit kommt daher, daß die Zeitungen meinen Namen zu oft genannt und dadurch das Gesindel gegen mich mobil gemacht haben. Nun hilft nichts als Geduld und – Verreisen."[16]

Tatsächlich reiste Einstein in jenen Jahren viel, aber nicht nur um in Vorlesungen und Gastvorträgen seine physikalischen Ideen vorzustellen. Als Wissenschaftler sah er sich immer auch in der Verantwortung, für den Erhalt des Friedens zu werben und die Vision einer demokratischen, sozial und ökonomisch gerechten Gesellschaftsordnung zu verbreiten.

Botschafter für Frieden und Völkerverständigung

Zu Beginn der 20er Jahre reist Einstein nach Prag und Wien, nach Holland und in die USA; er hielt Vorträge in England und auch in Japan und China. Besonderes Aufsehen erregte jedoch seine Reise in das Land des ehemaligen Kriegsgegners Frankreich.

Es ist kein Zufall, daß Einstein der erste deutsche Gelehrte war, der nach dem Weltkrieg wieder in Frankreich auftrat. Auf Einladung seines Physiker-Kollegen Paul Langevin reiste er Ende März 1922 nach Paris. Einstein besucht auch einige kriegsverwüstete Städte und Landstriche im östlichen Frankreich und sah zum ersten Mal das grauenhafte Vernichtungswerk des Krieges mit eigenen Augen. Sein Freund Solovine schildert, wie tief entsetzt Einstein war: „Er sprach mit mir viel darüber, wie entsetzt er war... . Der Krieg ist eine furchtbare Angelegenheit, sagte er wiederholt, und muß um jeden Preis abgeschafft werden."[17]

Albert Einstein wollte nach seinen eigenen Worten ein „Botschafter des Friedens" sein. Er betrachtete seinen Besuch in Frankreich als einen wichtigen Beitrag zur Verständigung zwischen dem deutschen und dem französischen Volk, wie auch zur Wiederherstellung der durch den Krieg zerstörten Beziehungen zwischen den Naturforschern der beiden Länder. Aber gerade das wurde ihm von deutschen Nationalisten innerhalb und außerhalb der

Preußischen Akademie der Wissenschaften besonders übel genommen. Eine einflußreiche Zeitung bemängelte etwa an Einsteins Auftreten: „Auf alle Fälle hätte ihm von den zuständigen Regierungsstellen bedeutet werden sollen, daß für deutsche Staatsbürger im amtlichen Verhältnis die Zeit für eine wissenschaftliche Anbiederung an die Franzosen durchaus ungeeignet ist.“[18]

Das Erstarken der antidemokratisch-nationalistischen Strömungen in der Weimarer Republik hatten Einstein geradezu darin bestärkt, sich künftig noch konsequenter für eine Realisierung seiner gesellschaftlichen Visionen einer friedensfähigen und demokratischen Gesellschaft zu engagieren. Immer wieder setzte er seinen Namen unter Aufrufe und Erklärungen, die von fortschrittlich-bürgerlichen und kommunistischen Intellektuellen ausgingen. So unterzeichnete er 1921 mit Käthe Kollwitz, George Grosz und anderen Persönlichkeiten des politischen und kulturellen Lebens den Aufruf des „Auslands-Komitees zur Organisierung der Arbeiterhilfe für die Hungernden in Rußland“. Im Jahre 1923 wurde Einstein sogar Mitglied der neugegründeten „Gesellschaft der Freunde des neuen Rußland“, die sich die Schaffung und Festigung freundschaftlicher Beziehungen zwischen dem deutschen und dem sowjetischen Volk zum Ziel gesetzt hatte. Obwohl Einstein selbst kein Marxist oder Kommunist war, teilte er ihren Kampf für eine ökonomisch gerechte und soziale Gesellschaftsordnung und gegen den aufkommenden Faschismus und hegte daher keinerlei Berührungsängste gegenüber Kommunisten. So hielt er Vorträge an der „Marxistischen Arbeiterschule“ in Berlin, hatte zahlreiche Kontakte mit sowjetischen Intellektuellen und war ein Förderer der „Roten Hilfe“, einer von der KPD geführten Massenorganisation, die damals politische Strafgefangene der Arbeiterparteien und deren Angehörige unterstützte.

Was seine Ansichten über Krieg und Frieden betraf, erschien Einstein die Unterstützung und Schaffung überstaatlicher Organisationen immer notwendiger, um Kriege dauerhaft zu verhindern. Deshalb sagte er zu, als er – zusammen mit der französischen Physikerin Marie Curie und anderen – zur Mitarbeit in der vom Völkerbund gegründeten, „Kommission für intellektuelle Zusammenarbeit“ aufgefordert wurde. Einsteins Unterstützung des Völkerbundes in jener Zeit war durchaus auch von Konflikten, Enttäuschungen und von Brüchen gekennzeichnet. Dennoch verteidigte er in einem Zeitungsinterview gegen Ende des Jahres 1927 den Völkerbund als ein Instrument, um die nach dem Krieg zerstörte Einigkeit unter den Völkern wiederherzustellen und – vor allem – um künftige Kriege zu verhindern: „Er [der Völkerbund, Anm. d. A.] mag als Instrument schwach und unvollkommen sein, aber er ist

doch das einzige große Friedensinstrument, das wir besitzen, und so wenig wir ihm gegenüber mit unserer Kritik zurückhalten sollen, so wenig sind wir berechtigt, ihm unsere Mitarbeit zu versagen."[19]

Als Pazifist und „Botschafter des Friedens"[20], wie Einstein sich selbst nannte, unterstützte er in seinen letzten Berliner Jahren vor allem auch die Bewegung der internationalen Kriegsdienstverweigerer.

Die letzten Berliner Jahre

Ob als Redner auf Kundgebungen, als Unterzeichner von Manifesten, als Förderer von Konferenzen – auch Einsteins letzte Jahre in Berlin waren erfüllt von vielfältigen politischen Aktivitäten für Frieden und Abrüstung. Dabei war Einstein der Idee der Kriegsdienstverweigerung besonders zugetan; so bot er der „Internationale der Kriegsdienstverweigerer" seine Mitarbeit an und stimmte sogar der Errichtung der „Internationalen Einstein-Kriegsdienstverweigerer-Stiftung"[21] zu.

An die britische Zweigorganisation der „Internationale der Kriegsdienstverweigerer" richtete Einstein im November 1928 folgende Botschaft: „Die internationale Bestrebung für die Verweigerung jeglicher Kriegstätigkeit ist in meinen Augen eine der trostreichsten Erscheinungen unserer Zeit. Jeder denkende, wohlwollende und gewissenhafte Mensch müßte im Frieden die feierliche und unbedingte Verpflichtung übernehmen, unter keinen Umständen je an einer kriegerischen Aktion und deren direkten oder indirekten Unterstützung sich zu beteiligen."[22]

Seine eindeutige Haltung zur Kriegsdienstverweigerung tat Einstein im Februar 1929 gegenüber einer Zeitschrift kund. Auf die Frage, was er bei Ausbruch eines neuen Krieges tun würde, antwortete er: „Ich würde direkten oder unmittelbaren Kriegsdienst unbedingt verweigern und versuchen, meine Freunde zu derselben Haltung zu veranlassen, und zwar unabhängig von der Beurteilung der Kriegsursachen."[23]

Erst nach den erschreckenden Erfahrungen mit dem faschistischen Regime in Deutschland änderte Einstein seine Haltung in der Frage der uneingeschränkten Kriegsdienstverweigerung und gestand etwa Belgien zu, bei einem Überfall Hitlers die Freiheit Belgiens auch militärisch zu verteidigen.

Mit Sorge hatte Einstein – wie auch andere Demokraten in Deuschland – den unerwarteten Siegeszug der Nationalsozialisten bei den Reichstagswahlen 1930 beobachtet. Er wußte, daß eine Hitler-Diktatur nicht nur das Ende jeglicher Demokratie, jeglicher Rechtsstaatlichkeit und der bürgerlichen Freiheiten bedeutete, sondern vor allem auch eine totale Militarisie-

rung des deutschen Volkes und die industrialisierte Kriegsvorbereitung mit sich bringen würde. Besonders tief beunruhigte ihn die Aggression, von der der jüdische Teil der Bevölkerung betroffen sein würde. Angesichts der drohenden, aber durchaus voraussehbaren Katastrophe rückte für Einstein die Entscheidung näher, Deutschland nun doch zu verlassen und eine Forschungsstelle in den USA anzunehmen. Dennoch verstärkte er gerade in seinem letzten Jahr vor der von der deutschen Großindustrie geförderten Machtergreifung der deutschen Faschisten seine friedenspolitischen Aktivitäten.

Einsteins wachsende Befürchtung eines Nazi-Sieges ließ ihn im Jahr 1932 überall nach Verbündeten im Kampf für die Sache der Vernunft suchen. Im Sommer 1932 rief Einstein deshalb gemeinsam mit Käthe Kollwitz, Heinrich Mann, Ernst Toller, Arnold Zweig und anderen zur Bildung einer antifaschistischen Einheitsfront von SPD und KPD auf.

Mit dem Psychologen Sigmund Freud, dem „Vater der Psychoanalyse" versuchte er in demselben Jahr die Gründe für die irrationale Verführung der Bevölkerung zu aggressivem und zu nationalistischem Verhalten zu diskutieren. In einem offenen Brief an den Wiener Psychologen analysiert Einstein, daß Kriege entstehen, weil die jeweils herrschende Schicht eines Landes nicht bereit ist, aus einem politischen Machtbedürfnis heraus ihre Hoheitsrechte ein Stück weit einzuschränken. Das wiederum kommt dem ökonomisch-materiellen Machtbedürfnis einer anderen Schicht entgegen, nämlich jenen, „denen Krieg, Waffenherstellung und -handel nichts als eine Gelegenheit sind, persönliche Vorteile zu ziehen, den persönlichen Machtbereich zu erweitern."

Einstein schrieb weiter an Freud: „Wie ist es möglich, daß die soeben genannte Minderheit die Masse des Volkes ihren Gelüsten dienstbar machen kann, die durch einen Krieg nur zu leiden und zu verlieren hat? ... Hier scheint die nächstliegende Antwort zu sein: Die Minderheit der jeweils Herrschenden hat vor allem die Schule, die Presse und meistens auch die religiösen Organisationen in ihrer Hand. Durch diese Mittel beherrscht und leitet sie die Gefühle der großen Masse und macht diese zu ihrem willenlosen Werkzeuge."[24]

Als dieser Gedankenaustausch zwischen Einstein und Freud ein Jahr später unter dem Titel „Warum Krieg?" veröffentlicht wurde, war Hitler, der beide Männer ins Exil trieb, bereits an der politischen Macht.

Im Dezember 1932 reiste Einstein nach Pasadena, um dort Gastvorlesungen zu halten; seine Rückkehr war für März 1933 vorgesehen. Dazu kam es nicht mehr. Angesichts der politischen Machtergreifung der Nazis am 30. Januar 1933 entschloß sich Einstein, nicht mehr nach Deutschland zurückzu-

kehren. Im März 1933 erklärt er seinen Austritt aus der Preußischen Akademie der Wissenschaften und beendete jegliche Verbindung mit offiziellen deutschen Institutionen. Einstein begründet seine Entscheidung damals mit den folgenden Worten:

„Solange mir eine Möglichkeit offensteht, werde ich mich nur in einem Lande aufhalten, in dem politische Freiheit, Toleranz und Gleichheit aller Bürger vor dem Gesetz herrschen. Zur politischen Freiheit gehört die Freiheit der mündlichen und schriftlichen Äußerung politischer Überzeugung, zur Toleranz die Achtung vor jeglicher Überzeugung eines Individuums.

Diese Bedingungen sind gegenwärtig in Deutschland nicht erfüllt. Es werden dort diejenigen verfolgt, die sich um die Pflege internationaler Verständigung besonders verdient gemacht haben, darunter einige der führenden Künstler. Wie jedes Individuum, so kann auch jeder gesellschaftliche Organismus psychisch krank werden, besonders in Zeiten erschwerter Existenz. Nationen pflegen solche Krankheiten zu überstehen. Ich hoffe, daß in Deutschland bald gesunde Verhältnisse eintreten werden ...“.[25]

Einstein beobachtete aus dem Exil in den USA weiter die Entwicklung des Faschismus in Deutschland. Sein Brief vom 2. August 1939 an den damaligen US-Präsidenten Franklin D. Roosevelt, der die Warnung vor der Entwicklung einer deutschen Atombombe aussprach, speiste sich wesentlich aus Einsteins politischen Erfahrungen, die er mit – im besten Fall unkritischen und opportunistischen – Wissenschaftlerkollegen seit seiner Ankunft 1914 in Berlin gemacht hatte. Und ergebenes Verhalten von sonst klar denkenden Wissenschaftlern gegenüber einem verbrecherischen System hatte er sogar in nächster Umgebung – selbst bei Menschen wie Max Planck, den er zeitlebens menschlich sehr schätzte – erlebt.

Einstein blieb auch in den USA unbequem, und engagierte sich – neben anderem – auch für die Gleichberechtigung von Menschen schwarzer Hautfarbe. Doch seine größte Sorge galt bis zu seinem Tod im Jahre 1955 dem Frieden. Diese Haltung Albert Einsteins kommt am Ende eines Interviews, das im Januar 1931 in den USA erschien, deutlich zum Ausdruck: „Wir müssen bereit sein, heroische Opfer, wie wir sie widerspruchslos im Krieg hinnehmen, für die Sache des Friedens zu bringen. Es gibt keine wichtigere Aufgabe für mich und keine, die meinem Herzen näher läge. Was ich tue oder sage, kann an dem Bau des Universums nicht das Geringste ändern. Aber vielleicht kann meine Stimme dazu beitragen, das größte aller Ideale zu fördern: guten Willen unter den Menschen und Frieden auf Erden.“[26]

Literatur

1. Friedrich Herneck, Einstein und sein Weltbild, 2. Aufl. Berlin/DDR 1979, S. 178
2. Siegfried Grundmann, Einsteins Akte, Wissenschaft und Politik – Einsteins Berliner Zeit, 2. Aufl. Berlin, Heidelberg 2004, S. 39f.
3. Ebenda, S. 39f.

3a. Lise Meitner, Max Planck als Mensch, Vortrag gehalten am 24. April 1958 in Berlin zur Feier von Max Plancks 100. Geburtstag. Die Naturwissenschaften 45 (1958), S. 406ff.

3b. Albert Einstein, Über den Frieden – Weltordnung oder Weltuntergang? Hrg. von Otto Nathan und Heinz Norden, Neuauflage. Neu Isenburg 2004, S. 30

4. Ebenda, S. 20
5. Siegfried Grundmann, Einsteins Akte, Wissenschaft und Politik – Einsteins Berliner Zeit, 2. Aufl., Berlin, Heidelberg 2004, S. 37
6. Ebenda, S. 44ff.
7. Friedrich Herneck, Einstein und sein Weltbild, 2. Aufl. Berlin/DDR 1979, S. 159
8. Albert Einstein, Über den Frieden – Weltordnung oder Weltuntergang? Hrg. von Otto Nathan und Heinz Norden, Neuauflage. Neu Isenburg 2004, S. 43
9. Ebenda, S. 44
10. Friedrich Herneck, Einstein und sein Weltbild, 2. Aufl. Berlin/DDR 1979, S. 36
11. Albert Einstein, Über den Frieden – Weltordnung oder Weltuntergang? Hrg. von Otto Nathan und Heinz Norden, Neuauflage. Neu Isenburg 2004, S. 44f.
12. Friedrich Herneck, Einstein und sein Weltbild, 2. Aufl. Berlin/DDR 1979, S. 36f.
13. Friedrich Herneck, Albert Einstein – Ein Leben für Wahrheit, Menschlichkeit und Frieden, 3. Aufl. Berlin/DDR 1967, S. 164
14. Albert Einstein, Über den Frieden – Weltordnung oder Weltuntergang? Hrg. von Otto Nathan und Heinz Norden, Neuauflage. Neu Isenburg 2004, S. 62
15. Ebenda, S. 73
16. Ebenda, S. 73f.
17. Ebenda, S. 68
18. Friedrich Herneck, Albert Einstein – Ein Leben für Wahrheit, Menschlichkeit und Frieden, 3. Aufl. Berlin/DDR 1967, S. 180
19. Albert Einstein, Über den Frieden – Weltordnung oder Weltuntergang? Hrg. von Otto Nathan und Heinz Norden, Neuauflage, Neu Isenburg 2004, S. 106
20. Friedrich Herneck, Albert Einstein – Ein Leben für Wahrheit, Menschlichkeit und Frieden, 3. Aufl. Berlin/DDR 1967, S. 179
21. Ebenda, S. 187
22. Albert Einstein, Über den Frieden – Weltordnung oder Weltuntergang? Hrg. von Otto Nathan und Heinz Norden, Neuauflage. Neu Isenburg 2004, S. 110
23. Ebenda, S. 113
24. Albert Einstein, Sigmund Freud, Warum Krieg? Neuauflage. Zürich 1972, S. 18f.

25. Horst Melcher, Albert Einstein – wider Vorurteile und Denkgewohnheiten. Berlin (West) 1984, 1. Aufl., Berlin/DDR 1979, S. 85f.
26. Albert Einstein, Über den Frieden – Weltordnung oder Weltuntergang? Hrg. von Otto Nathan und Heinz Norden, Neuauflage. Neu Isenburg 2004, S. 143

Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät *78/79(2005), 173–178*

Lothar Kolditz

Albert Einstein in Berlin

Schlusswort

Das Motto unseres Kolloquiums „Albert Einstein in Berlin“ ließ zunächst Anektodisches und historische Erinnerungen vermuten, was auch zur Geltung kam. Der Untertitel „Wissenschaftliches Kolloquium“ weist auf den Grundinhalt hin, nämlich Erörterung von Einsteins wissenschaftlichem Werk und weiteres Nachdenken darüber, das Ganze in dem Versuch, Werk und Persönlichkeit zu behandeln.

Einsteins politisches Denken, sein Friedensengagement, auf das Herbert Hörz und Dieter B. Herrmann hingewiesen haben und auf das im letzten Teil des Kolloquiums in den Referaten von Mario Kessler, Viktor Mairanowski, Helmut Moritz und Ekkehard Sieker ausführlich eingegangen wurde, ist wohl einer breiteren Öffentlichkeit zugänglich und verständlich als seine wissenschaftlichen Gedankengänge. Viktor Mairanowski hat auch die jüdische Herkunft Albert Einsteins und dessen Einstellung dazu – „meine Zugehörigkeit zu diesem Volk ist ein Geschenk des Schicksals“ – beleuchtet.

Bei der Erörterung der wissenschaftlichen Gedankengänge ist es zur Gewinnung eines umfassenderen Bildes wichtig, nicht allein die Spezielle und die Allgemeine Relativitätstheorie zu betrachten, sondern auch die Gedankentiefe anderer Überlegungen einzubeziehen, wie die Ausführungen zur Brownschen Bewegung (Werner Ebeling) oder zu Teetassen-Zyklonen und Flussmäander (Karl-Heinz Bernhardt).

Die Beziehung zu Planck, illustriert durch Hans-Jürgen Treders Ausführungen – „Gott würfelt nicht“ sowie die Mathematisierung der Theorie –, die philosophischen Gedanken Einsteins, erläutert von Herbert Hörz, der ausging von Einsteins Bekenntnis „das Schönste, was wir erleben können, ist das Geheimnisvolle“ und fortführte zu Einsteins Anregungen für Bildungsförderung und zu interdisziplinärer Arbeit, weiter Einsteins wissenschaftstheoretische Leistungen, von Rainer Schimming beleuchtet und in Verbindung zu Karl Popper gebracht, waren Gegenstand der ersten Nachmittagssitzung. Die Be-

ziehungen zu Archenhold und die Popularisierung der Naturwissenschaften hier in diesem Saal durch Einstein wurden von Dieter B. Herrmann gewürdigt.

Wir haben ein umfangreiches und beachtliches Programm behandelt. Alle Gebiete zu erfassen, war jedoch im Rahmen dieses Kolloquiums unmöglich. Um auf die große Fülle der von Albert Einstein angeschobenen und beeinflussten Felder hinzuweisen, die heute nur gestreift wurden oder nicht zur Betrachtung kommen konnten, will ich schlagwortartig an einige Punkte erinnern, ohne dabei Vollständigkeit anzustreben.

Auf die Untersuchungen zum Magnetismus musste verzichtet werden, Heinz Kautzleben hat aber auf den Kreiselkompass hingewiesen. Ich führe weiter das umfangreiche Gebiet der Photonenarbeiten an mit ihren Auswirkungen auf die gegenwärtigen Ideen zu Quantenkommunikation, Quantencomputern und Quantenkryptographie. Das Bose-Einstein-Kondensat konnte von Werner Ebeling nur kurz erwähnt werden. Es hat auf der gerade beendeten Physikertagung in Berlin eine große Rolle gespielt. Dabei handelt es sich um die von Einstein 1924 erweiterte Theorie von Bose. Die Berechnungen von Einstein ergaben, dass Bosonen, wie sie heute heißen, bei hinreichend tiefen Temperaturen ihre Identität verlieren und zu einer Art neuer Materie verschmelzen. Nach 71 Jahren wurde diese Voraussage von Cornell und Wieman verifiziert, denen es 1995 gelang, ein verdünntes Gas von Rubidiumatomen auf 20 Nanokelvin abzukühlen. Das sind $2 \cdot 10^{-8}$ Grad über dem absoluten Nullpunkt. Unter diesen Bedingungen verhielten sich etwa 2000 Rubidiumatome wie ein einziges. Ketterle führte analoge Experimente mit Natriumatomen aus. Cornell, Wieman und Ketterle wurden dafür gemeinsam im Jahr 2001 mit dem Nobelpreis für Physik[1] ausgezeichnet.

In unserem Kolloquium wurde natürlich die Kosmologie besonders betont. Karl Lanius hat den heutigen Erkenntnisstand überzeugend vorgestellt, was durch Rainer Burghardt mit der Beschreibung und weiteren Deutung des Gödelkosmos ergänzt wurde. Das Einstein-Jahr hat dazu beigetragen, die noch anhaltende Flut an wissenschaftlicher Literatur verschiedenen Schwierigkeitsgrades zur Kosmologie und Astrophysik zu verstärken, dabei auch nachzudenken über die noch nicht verstandene genaue Einstellung von Naturkonstanten wie Protonen-, Neutronen- und Elektronenmasse auf Werte, die die Sternen- und Galaxienbildung im Universum und die Selbstorganisation zur Entstehung des Lebens ermöglichen.

1 Eric A. Cornell, Carl E. Wieman, The Bose-Einstein condensate, Scientific American 278 [1998] 40/5; Wolfgang Ketterle, Experimental studies of Bose-Einstein condensation, Physics Today 52 [1999] 30/5; http://www.nobel.se/physics/laureates/2001/press.html.

Wir haben noch keine einheitliche, den Mikro- und Makrokosmos beschreibende Theorie, dafür aber für viele Teilgebiete zutreffende und durch Messung und Erfahrung bestätigte Aussagen sowie eine für den Einzelnen kaum mehr zu übersehende Anzahl an Theorien, deren Verifizierung nur ungenügend oder auch noch in keinem Punkt gelungen ist. Alle haben sie jedoch ihre Wurzeln in Einsteins Spezieller und Allgemeiner Relativitätstheorie oder ihre Verbindung dazu, selbst dann, wenn sich Einstein skeptisch zu Aussagen verhielt, wie es auf die Quantentheorie zutrifft.

Eine grundlegende Frage, die auf unserem Kolloquium in mehreren Beiträgen anklang, ist die Auffassung von Raum und Zeit. Sie wurde besonders von Horst-Heino von Borzeszkowski, Dierck-Ekkehart Liebscher und von Heinz Kautzleben behandelt.

Unser Gründervater Gottfried Wilhelm Leibniz hat mit seiner relationalen Auffassung von Raum und Zeit eine Vorahnung von Einsteins Relativitätstheorie geliefert. Im berühmten Briefwechsel mit Samuel Clarke[2] schreibt er: „Was mich angeht, so habe ich mehr als einmal betont, dass ich den Raum ebenso wie die Zeit für etwas rein Relatives halte, nämlich für eine Ordnung des Nebeneinanderbestehens, sowie die Zeit eine Ordnung der Aufeinanderfolge ist“. Als Argumentation zum Charakter der Zeit wie auch des Raumes geht Leibniz vom Prinzip des hinreichenden Grundes aus: „Man gibt mir den wichtigen Grundsatz zu, dass sich nichts ereignet, ohne dass es einen hinreichenden Grund dafür gibt, weshalb es sich so und nicht anders verhält“. Nach dem Prinzip vom hinreichenden Grund kann Leibniz nicht an eine absolute Zeit glauben, da es keine vernünftige Antwort auf die Frage gäbe, warum das Universum genau zu einem bestimmten Zeitpunkt geschaffen wurde und nicht früher. Eine Antwort darauf ist nicht möglich, also verlangt Leibniz einen Zeitbegriff, der eine solche Frage nicht zulässt, eben einen relationalen Zeitbegriff.

Newton dagegen fordert in scharfem Gegensatz zu Leibniz den absoluten Charakter von Raum und Zeit. In der Einleitung zu seinem Werk *Philosophia Naturalis Principia Mathematica* führt er aus: „Die absolute wirkliche und mathematische Zeit fließt in sich und in ihrer Natur gleichförmig ohne Beziehung zu irgend etwas außerhalb ihr liegenden“.

Es stellt sich also heraus, dass die Auffassung von Raum und Zeit durch Leibniz, die übrigens von Kant in seiner *Kritik der reinen Vernunft* abgelehnt

2 Der Briefwechsel mit G. W. Leibniz von 1715/16 von Samuel Clarke u. a. Felix Meiner Verlag Hamburg 2000

wurde[3], mit Einsteins Allgemeiner Relativitätstheorie in vollem Einklang steht, und das war 200 Jahre vor Einstein.

In dem Bemühen, eine einheitliche Theorie des Kosmos zu finden, tritt in der Einbeziehung der Quantentheorie die Quantengravitation und damit die Quantelung von Raum und Zeit als Problem auf. Es gibt eine beachtliche Zahl an Teilansätzen, aber keine umfassende Lösung.

Dass bisher trotz großer Bemühung keine Vereinheitlichung von Quantentheorie und Gravitation zu einer kosmologischen Theorie gelungen ist, mag daran liegen, dass die Quantentheorie, die die klassische Newtonsche Mechanik abgelöst hat, ebenso wie diese einen Teilaspekt des Kosmos wirkungsvoll beschreibt, aber für die Gesamtbeschreibung durch eine tiefere Theorie abgelöst werden muss.

Die Frage nach einer neuen Physik taucht auf. Kann das die Formulierung der Quantengeometrie durch Netzwerke von Relationen, die auf die Twistor-Theorie von Roger Penrose zurückgeht, leisten? Schafft die Stringtheorie den Durchbruch? Gibt es eine Verbindung zwischen dem Spinnetzwerk von Penrose und der Stringtheorie? Was ist zu halten von der Loop-Quantengravitation? Das ist eine Theorie, nach der physikalische Gesetze nicht in einer Urknall-Singularität zusammenbrechen, weil in extrem kleinen Skalen die Quantengravitation abstoßend sein kann und den Kollaps der Raumzeit in die Singularität verhindert[4].

Unerlässlich zur Bestätigung der aufgestellten Theorien sind Voraussagen, die experimentell überprüfbar sind. Weitere Untersuchungen zur kosmischen Hintergrundstrahlung durch einen Satelliten der Europäischen Raumfahrtbehörde, geplant für 2007, oder Messungen mit der Raumantenne des Laserinterferometers der NASA nach 2011 könnten Rückschlüsse auf Quantengravitationseffekte aus den Anfängen des Universums zulassen[5].

Für die Stringtheorie könnten Beweise nach Inbetriebnahme des LHC (Large Hadron Collider) im Jahre 2008 im CERN zu erzielen sein[6].

Eine Erklärung, warum die Massen der Elementarteilchen, besonders die von Protonen, Neutronen und Elektronen genau die von uns beobachteten Eigenschaften haben, versucht die Evolutionstheorie des Kosmos von Lee Smolin zu geben. Die Evolution des Kosmos erfolgt danach analog zur

3 Immanuel Kant, Kritik der reinen Vernunft, Ausgabe B. Riga 1787, S. 331
4 M. Bojowald, Phys. Rev. Lett. 86 [2001] 5227/30
5 Quirin Schiermeier, Nature 433 [2005] 12
6 N. Arkani-Hamed, S. Dimopoulos u. G. Dvali, Phys. Lett. B 429 [1998] 263/72; Geoff Brumfiel, Nature 433 [2005] 10

biologischen Evolution. Die Ausbildung der Eigenschaften für die Elementarteilchen wird im Urknall als zufällig in der Nähe der heute feststellbaren Werte angenommen. Die genaue Einstellung auf die zur Sternentstehung, Galaxienbildung und schließlich zum Ursprung des Lebens führenden Werte erfolgte nach dieser Theorie in der Evolution des Kosmos im Einklang mit dem Bestreben, eine maximal mögliche Zahl an Schwarzen Löchern zu bilden[7].

Inzwischen wurde zur Erläuterung des Verhaltens von Elektronen in besonderen Festkörpermaterialien, wie z. B. Hochtemperatursupraleitern, die Theorie der Aufspaltung der Elektronen entwickelt (Senthil und Mitarbeiter), die besagt, dass Elektronen in solchen Materialien unter gewissen Umständen aufspalten und ein Teil ihrer Ladung einen anderen Weg nimmt als ein Teil des Spins[8]. Erste Versuche zum Nachweis dieses Verhaltens schlugen fehl (Bonn. u. a.)[9]. Neuere Beschreibungen von Quantenfluktuationen der Elektronen bei Phasenübergängen am absoluten Nullpunkt benutzen ebenfalls die Aufspaltungstheorie der Elektronen[10].

So gibt es zahlreiche Überlegungen, deren Zusammenführung zu einer einheitlichen Theorie noch nicht in Sicht ist. Die Entwicklung geht weiter, vielleicht ist mehr Klarheit vorhanden im Jahre 2013, dem hundertjährigen Jubiläum der Akademiemitgliedschaft Einsteins oder im Jahre 2015, 100 Jahre Veröffentlichung Einsteins in den Sitzungsberichten der Akademie zu den Gravitationsfeldgleichungen[11], im gleichen Jahr die Erinnerung an Einsteins ersten öffentlichen Vortrag in Berlin in der Archenhold-Sternwarte über die Relativitätstheorie oder die Erinnerung an seine vier Vorlagen über Allgemeine Relativitätstheorie in der Preußischen Akademie. Auch 2017 ist zu nennen, wenn 100 Jahre vergangen sind seit dem zweiten „annus mirabilis" Albert Einsteins und gemäß der Voraussage von Karl Lanius ein wichtiger Erkenntnisfortschritt in der Kosmologie vorliegen sollte. Schließlich wäre auch 2019 geeignet, 100 Jahre Nachweis der von Einstein vorausgesagten Ablenkung von Lichtstrahlen durch Gravitation. Die Entwicklung der Erkenntnis wird weiter mit Interesse zu verfolgen sein.

7 Lee Smolin, Warum gibt es die Welt? Die Evolution des Kosmos. Verlag C. H. Beck, München 1999

8 T. Senthil u. M. P. A. Fisher, Phys. Rev. Lett. 86 [2001] 292/5

9 D. A. Bonn, Janice C. Wynn, Brian W. Gardner, Yu-Ju Lin, Ruixing Liang, W.N. Hardy, J. R. Kirtley u. K.A. Moler, Nature 414 [2001] 887/9

10 T. Senthil, A. Vishwanath, L. Sachelev Balents u. M. P. A. Fisher, Science 303 [2004] 1490/4; Geoff Brumfiel, Nature 433 [2005] 11

11 A. Einstein, Sitz. Ber. Preuß. Akad. Wiss. [1915] 844/7.

Den Mitarbeitern der Archenhold-Sternwarte danken wir für ihren großen Einsatz bei der Durchführung des Einstein-Kolloquiums, unser besonderer Dank geht dabei an Frau Sigrid Repnow.

Ich danke allen Vortragenden und schließe das Kolloquium.

Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät *78/79(2005), 179–182*

Gottfried Anger

On the Power of a Mathematical Model

The author of this article studied (direct) problems of mathematical analysis in the sense of French mathematicians [1] (Ch.-J. de la Vallée Poussin, M. Brelot, H. Cartan, J. Dieudonne, L. Schwartz, N. Bourbaki, G. Choquet, and so on) from 1952–1970. Then he applied these results to inverse problems in the sense of Russian mathematicians [2], [4] (A. N. Tikhonov, M. M. Lavrentiev, V. A. Morosov, V. G. Romanov, and so on). One can find most results in the author's book on inverse problems [4]. In 1994 he reviewed the two books of Günther Baer in „Zentralblatt für Mathematik und ihre Anwendungen", vol. 844.00002 . This review contains the basic ideas concerning the power of a mathematical model in mathematical physics.

Baer, Günther: Spur eines Jahrhundertirrtums. Neue Gedanken zum physikalischen Weltbild (Track of a giant mistake of a century. New thoughts into the physical worldview). Spur-Verlag, Dresden 1993,
Baer, Günther: Logik eines Jahrhundertirrtums: Neue Gedanken über ‚Kaiser's Kleider' (Logic of a giant mistake of a century). Spur-Verlag, Dresden 1993.

On the Earth's surface all physical (and biological) laws simutaneously hold. As a consequence plants, animals and man have developed during a very long period. For these developments no mathematics is necessary. Scientists assume that the basic physical laws hold in the whole universe.

Experiments can be made only in a laboratory. Such experiments are necessary in order to determine physical parameters. To understand the interactions between the physical forces scientists developed mathematical models which are (sometimes very weak) projections of the real world. It may be that man is unable to understand the reality of nature completely. Therefore practical experience is very important.

If f are the internal parameters of a system (to be determined in a laboratory), the measured data g can be written in the form $Af = g$. In order to de-

termine g we need certain initial and boundary conditions. The relation $Af = g$ is called a direct problem, the determination of the internal parameters $f = A^{-1}g$ (A^{-1} inverse operator) an inverse problem. In most cases of applications A has good mathematical properties (compact operator). If the mapping $A: X \to Y$ is one-to-one on the infinite dimensional spaces X, Y then A^{-1} is discontinuous (F. Riesz 1918). During the past 15-20 years inverse problems have been studied from a systematic point of view. Now we know a little the power of an mathematical model but these results are not well known (see G. Anger, Inverse Problems in Differential Equations, Zentralblatt für Mathematik und ihre Anwendungen, vol. 777.00024).

In the future we have to study in detail the power of a mathematical model from a systematic point of view. This is necessary to understand science and nature. It may be that 90% of the theoretical problems in geophysics and 99% of the problems in astrophysics at large distances cannot be decided by using measured values which are available only on the Earth's surface and near this surface (satellites). The reason is a very large gap of physical information. In order to determine the parameters of a mathematical model by inverse theory (the sources) we need the physical field at all points of the matter. Most results obtained in these fields are mathematical results not of interest in applications.

The solutions of the direct problem $Af = g$ often are representated by integrals. The measurements can be taken only at finitely many points. Therefore the integrals have to be discretized at points y_j. If f is a uniquely solution of $Af = g$, A_k the discretized operator and φ a function which vanishes at y_j then $A_k(f + \varphi) = A_k(f)$. The function $f + \varphi$ is called a ‚ghost'. It may be that for most inverse problems ghosts exist, a very bad situation in physics and medical diagnostics. This fact is almost unknown, but very easy to prove [6], [7], [8].

One can find further remarks on the power of relativity in the homepage of E. Friebe [9], especially the articles of G. O. Mueller and G. Bourbaki, and applications in geodesy in H. Moritz and B. Hofmann-Wellenhof [13].

In mathematical physics the following results hold:

1. Mathematics is the language of physics because, for most physical processes, it allows the formulation of a meaningful description
2. Unfortunately, for the complex systems of real nature, there is no mathematical systems theory: „Science is patchwork".
3. For such systems only certain partial information can be measured, and practical experience is needed to draw at least some meaningful conclusions from the measured data: "praxis cum theoria".

4. Engineering systems are relatively well known and managable. For them, a mathematical systems theory usually exists.
5. Biological systems are much more difficult: measurements may not be reliable and meaningful, and mathematical systems theories hardly exist. Thus in medicine practical experience ("ars medica") is particularly important.
6. Social sciences are between: systems theories do exist to a limited extent, and computers can be used with a certain success.

In relativity the power of the corresponding mathematical models were not studied from a systematic point of view. Using the results of G. Green (1828) [11] the scientists P. Pizzetti and G. Lauricella proved in 1907-1912 that the mass distribution of the Newtonian potential cannot be uniquely determined by its values on the boundary of a domain ([4], [11], [12]). Up to 1980 no scientist was interested in these results, which has basic consequences for the applications of mathematical physics [12], natural sciences and medicine. Similar results hold for all mathematical problems relative to the universe. The following main problem is almost unknown in mathematical physics [4]: *Which external parameters of a system are to be measured on which subsets of the R^n in order that certain coefficients or the source term or functionals of these coefficients or the source term inaccessible to measurements can be determined in a stable and unique manner?* Similar problems have to be studied in relativity (and the universe).

The level of theoretical physics largely depends on the level of mathematics.

References

[1] G. Anger (1958), *Sur le rôle des potentiels continues dans les fondements de la théorie du potentiel.* Séminaire de Théorie du Potentiel, tome 2 (1958), 30 pp., Institut H. Poincaré, Université de Paris.

[2] G. Anger (Hrsg.), *Inverse and Improperly Posed Problems in Differential Equations*, Conference held at the Martin Luther University Halle-Wittenberg, May 29-June2, 1979. Mathematical Research, vol. 1. Akademie-Verlag, Berlin 1979.

[3] G. Anger (1980), *Lectures on potential theory and inverse problems.* In: Die moderne Potentialtheorie als Grundlage des inversen Problems der Geophysik, 15–95. (Sommerschule der KAPG Arbeitsgruppe 5.2, Bergakademie Freiberg (Sachsen), 5.-16. Juni 1978), Geodätische und Geophysikalische Veröffentlichungen, Reihe III, Heft 45 (1980).

[4] G. Anger (1990), *Inverse Problems in Differential Equations*. Plenum Press. London 1990.

[5] G. Anger, R. Gorenflo, H. Jochmann, H. Moritz and W. Webers (eds.) (1993), *Inverse Problems: Principles and Applications in Geophysics, Technology and Medicine*. Conference held at the GeoResearchCenter Potsdam, August 30–September 3, 1993. VCH Weinheim, (reprinted 1998).
[6] G. Anger (2004), Homepage, http://members.aol.com/GottfriedAnger/myhomepage, 254 pp.
[7] G. Anger and H. Moritz (2004), *Inverse Problems and Stability – Basic Ideas and Applications.* In Homepage. www.inas.tugraz.at/forschung/InverseProblems/AngerMoritz.html.
[8] G. Anger (2005), *Die Komplexität der Natur und ihre Interpretation.* In: Was von moderner Physik bleibt und fällt. Verlag Kritische Wissenschaft, D-51556 Windeck.
[9] E. Friebe (2004), *Relativitätstheorie, Diskussion mit G. O. Mueller*, in www.ekkehard-friebe.de, see also Georges Bourbaki in www.ekkehard-friebe.de.
[10] J. Grolle (2005), *Ritt auf dem Lichtstrahl – Einsteins Weg zur Relativitätstheorie.* Spiegel 3, 134–140.
[11] O. D. Kellogg (1929), *Foundations of Potential Theory.* Springer, Berlin.
[12] A. Marussi (1980), *On the density distribution in bodies of assigned outer Newtonian attraction.* Boll. Geof. Teor. Appl. 22, 83–94.
[13] H. Moritz and B. Hofmann-Wellenhof (1993), *Geometry, Relativity, Geodesy*. Wichmann, Karlsruhe.
[14] G. O. Mueller (2004), *95 Jahre Kritik der speziellen Relativitätstheorie*, in www.ekkehard-friebe.de.
[15] W. Neundorf, Die Physik in der Sackgasse? Wissenschaft und Kritik. In: www.neundorf.de.

Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät *78/79(2005), 183–186*

Reiner Braun

Einstein 2005 und Frieden 2005
International Network of Scientists and Engineers for Global Responsibility (INES) im Einsteinjahr 2005

> „Im Hinblick darauf, dass in einem zukünftigen Krieg ohne jeden Zweifel Kernwaffen angewandt würden und dass diese Waffen den Fortbestand der Menschheit gefährden, ersuchen wir nachdrücklich die Regierungen der Welt, zu erkennen und öffentlich zu bekennen, dass ihre Ziele nicht durch einen Weltkrieg erreichen können, und wir versuchen sie darum dringlichst, friedliche Mittel der Lösung für alle zwischen ihnen bestehenden Konflikte ausfindig zu machen."
>
> (aus dem Russell-Einstein-Manifest)

Die ganze Welt begeht 2005 das 100jährige Jubiläum des annus mirabilis von Albert Einstein. Viele wissenschaftliche Institutionen rühmen sich seines Namens. Die Politik feiert ihn oder vielleicht besser, versucht ihn zu instrumentalisieren. Neben seiner wissenschaftlichen Kompetenz, oft einfach als Genie verherrlicht, wird er auch als der Querkopf, der gesellschaftlich Kritische, ja der Pazifist in Fest- und Gedenkschriften genannt und abgehakt. Übergegangen wird dann weiter zur militaristischen Tagespolitik: sei es die Fortsetzung des Krieges im Irak und in Afghanistan, sei es die Militarisierung Europas, sei es die verstärkte Aufrüstung in Südostasien.

Eine Abrüstung in all den Ländern, die von der grausamen Flutkatastrophe betroffen sind, würde unendlich viel Leid vermindern und auch die Einrichtung eines weltweiten Frühwarnsystems gegen Tsunamis ermöglichen – verbunden mit einem sofortigen Rüstungsexportverbot der ersten Welt in diese Länder: dies wäre engagierte Soforthilfe und Friedenspolitik. – Wäre dies nicht Einstein 2005 konkret? Eine umfassende Abrüstung der Großmächte würde dazu gehören.

Einstein und Frieden konkret, darum geht es INES im Jahre 2005. Die 50jährige Wiederkehr der Veröffentlichung des Russell-Einstein-Manifestes

im Juli 2005 ist uns Verpflichtung, erneut nukleare Abrüstung bis zur Abschaffung der Atomwaffen einzufordern. Auch und gerade im Jahr der NPT-Review-Konferenz, deren abrüstungspolitische Erfolglosigkeit angesichts der Politik der USA unschwer vorhersehbar ist. Deswegen wollen wir uns neben der Unterstützung der vielfältigen Aktionen zum 6. August 2005 spezifisch der Frage von peace education in der Tradition von Albert Einstein widmen. Die Tagungen, die INES zu diesem Komplex veranstaltet, sind sowohl was die Vielzahl als auch die regionale Streuung angeht etwas Neues für INES, ein kleines Abenteuer, zu dem uns gerade die Erinnerung an Albert Einstein anstachelt.

„Die erste Atombombe hat nicht nur Hiroshima zerstört. Sie hat auch unsere traditionellen, längst überholten Ideen endgültig zerstört." So Albert Einstein in dem ersten Zeitungsinterview, zwei Tage nach dem Abwurf der Atombombe auf Hiroshima am 6. August 1945. Wir wollen aber 60 Jahre nach dem Abwurf der Bombe nicht nur im Erinnern verharren, sondern Anforderungen an die Wissenschaft und Politik der Gegenwart formulieren. Dabei finden wir uns in der Gedankenwelt von Albert Einstein, wie er sie auch mit seiner letzten Unterschrift in seinem Leben unter das Russell-Einstein-Manifest dokumentierte, gut wieder.

Dieser Tradition, der undogmatischen Analyse der historischen und wissenschaftlichen Situation und der daraus abgeleiteten Anforderungen an Wissenschaft und Politik, sollten auch wir uns verbunden fühlen. So sollten wir uns auch nachdenklich und historisch mit der Veränderung der Position Albert Einsteins als grundsätzlicher Pazifist im ersten Weltkrieg zu den von ihm mit unterzeichneten Briefen an den US-Präsidenten Roosevelt 1939 und 1940 zu den atomaren Gefahren, die vom faschistischen Deutschland ausgingen, auseinandersetzen. Ein Gedanke dazu – auch in Vorbereitung der Diskussion auf den INES-Tagungen – sei gestattet: es gibt sicher eine berechtigte Kritik an Einsteins Handeln von 1939 und 1940 aus einer grundsätzlich ethisch begründeten pazifistischen Position. Wir möchten aber trotzdem ein Argument zur Diskussion stellen: Unserer Meinung nach unterschätzen viele der Kritiker von Einsteins Sicht die Gefährlichkeit und die Realitätsnähe der Weltherrschaftspläne des deutschen Faschismus, die nicht nur ein Blick auf die europäische Landkarte von 1940 belegt, sondern auch durch die Nähe der deutschen Wissenschaft und Forschung zum Griff zur Bombe dokumentiert wird. Zunehmend wird der verharmlosende Schleier, den deutsche Physiker zu ihren Taten um sich gelegt haben, gelüftet. Sie waren der Atombombe wesentlich näher, als sie nach 1945 der Welt glauben machen wollten. Nicht zu-

letzt die Forschungsgruppe der Max-Planck-Gesellschaft, die sich mit der Kaiser-Wilhelm-Gesellschaft bis 1945 beschäftigt hat, hat dazu erneut wissenschaftliche Fakten und interessante Daten zusammengestellt.

Wie grundsätzlich Albert Einsteins Position zu Deutschland und den Deutschen war, mag sein Nachruf auf die Helden des Warschauer Ghettos belegen: „Die Deutschen und das ganze Volk sind für diese Massenmorde verantwortlich und müssen als Volk dafür bestraft werden, wenn es eine Gerechtigkeit in der Welt gibt. Wenn sie vollends besiegt sind und, wie nach dem letzten Kriege, über ihr Schicksal jammern, soll man sich nicht ein zweites Mal täuschen lassen, sondern sie daran erinnern, dass sie die Menschlichkeit der anderen voll benutzt haben, um ihr letztes und schwerstes Verbrechen gegen die Menschlichkeit vorzubereiten."

Albert Einstein kehrte nicht wieder nach Deutschland zurück, wurde trotz vielfacher prominenter Aufforderung nicht wieder Mitglied einer deutschen wissenschaftlichen Gesellschaft und nahm auch keine deutsche Auszeichnung mehr entgegen.

Persönliche und gesellschaftliche Konfliktsituationen, deren Tragweite und auch Tragödie erst die Geschichte zeigen kann, müssen als solche anerkannt werden.

„Ich bin derselbe glühende Pazifist wie früher. Doch glaube ich, dass in Europa das Kampfmittel der Dienstverweigerung erst dann wieder empfohlen werden kann, wenn die militärische Bedrohung der demokratischen Länder durch Diktaturen mit aggressiven Tendenzen aufgehört hat" (Einstein: Stellungnahme am 4. April 1934).

Wir sollten daraus für uns Lehren und Konsequenzen ziehen, uns für Frieden und radikale Abrüstung, gegen jede Form von Militarisierung, aber auch für das Akzeptieren unterschiedlicher Positionen und Wege zum Frieden ohne Waffen engagieren und wirken – niemals aber zu einem Frieden mit Worten und Kriegen durch Taten bereit sein. Dies ist auch der Grundgedanke des von Joseph Rotblat mit initiierten Aufrufes von ca. 30 Nobelpreisträgern und prominenten Wissenschaftlern: „Appeal to support an international Einstein Year".

In diesem Sinne befinden wir uns auch heute – wie Albert Einstein fast in seinem ganzen Leben – in Fundamentalopposition zur herrschenden Politik.

Kontroverse Diskussionen sollen unsere Tagungen bestimmen. Gemeinsam wollen wir Anforderungen an die Friedenserziehung erarbeiten und darüber nachdenken, wie sie auch Realität werden können – weltweit und dort, wo jeder arbeitet und lebt. Wir freuen uns auf diese Debatten auf den Ta-

gungen, soll doch dort auch ein Mann mit einbezogen werden, der selbst das Russell-Einstein-Manifest mit unterzeichnet hat, und sein Leben lang als Wissenschaftler und Staatsbürger für den Frieden aktiv war – der zweifache Wissenschafts- und Friedensnobelpreisträger Linus Pauling. Für immer sind mir seine Worte im Gedächtnis, die er auf dem großen Naturwissenschaftler-Friedenskongress in Mainz 1983 sagte: „Wir sind nicht nur verantwortlich für das, was wir tun, sondern auch für das, was wir widerspruchslos hinnehmen."

Veranstaltungen und Termine im Einstein-Jahr:

11.–12.März 2005	*Einstein and peace education – lessons for today* Internationale Tagung von INES, der Stiftung Pole Bernheim und der Universität Brüssel Brüssel/Belgien
Mai 2005	*Einstein, Pauling and peace education* Internationale Tagung of INES zusammen mit der Universität von Tunis und der Universität von Ägypten Tunis und Kairo/Alexandria
15.–16. April 2005	*Teaching Ethics* Following-up Symposium to Science and Engineering Students Kopenhagen/Dänemark
6.–8. November 2005	*Internationales Seminar:* „In der Tradition Albert Einsteins – Anforderungen an das Friedensengagement im 21. Jahrhundert" Einladung des Friedens- und Forschungsinstituts von Cordoba/Argentinien
23.–25. November 2005	*Internationale Konferenz:* „Sciences Facing the Challenges of Peace and Citizenship" Universität Brüssel mit der Unterstützung von INES

Weitere Informationen unter: www.einstein.bits.de

Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät *78/79(2005), 187–191*

Fritz Gackstatter

Entwicklungslinien zur Einsteinschen Kosmologie

1. Entwicklungslinien

Arithmetik, Geometrie und Astronomie sind Teilbereiche unseres mathematisch-naturwissenschaftlichen Weltgebäudes, deren Bedeutung bereits in Platons „Staat“ erklärt wird.

Die Allgemeine Relativitätstheorie führt die Entwicklungslinien von Geometrie und Astronomie/Physik zusammen. Dieses Zusammenwirken von Geometrie und Physik zeigt sich besonders deutlich in der Einsteinschen Kosmologie.

Bernhard Riemann hat in seinen „Hypothesen, welche der Geometrie zu Grunde liegen“, das Linienelement für die Räume konstanter Krümmung angegeben:

(1) $ds^2 = \Sigma dx^2 / [1 + (\alpha/4)\, \Sigma x^2]^2$.

Verbindet man Element (1) mit der Metrik des Minkowski-Raumes der Speziellen Relativitätstheorie, findet man die Robertson-Walker-Metrik

(2) $ds^2 = -c^2\, dt^2 + \{R^2(t) / [1 + (\alpha/4)\, r^2]^2\}\{dr^2 + r^2(d\vartheta^2 + \sin^2\vartheta\, d\varphi^2\}$,

wobei die Funktion R = R(t) den Weltradius oder die Skalenfunktion in Abhängigkeit von der Zeit beschreibt.

Durch Einsetzen der R-W-Metrik (2) in die Einsteinschen Feldgleichungen

(3) $R_{a\beta} - (1/2)\, R^*\, g_{\alpha\beta} + \lambda\, g_{\alpha\beta} = T_{\alpha\beta}$

erhält man die beiden Friedmanschen DGLn

(4) $(1/c^2)\, (R'/R)^2 + \alpha / R^2 = (1/3)\, u + (1/3)\, \lambda$,

(5) $R'/R = -(1/3)\, u' / (u + p)$.

R^* ist die skalare Krümmung, λ die kosmologische Konstante. Als zweite Friedmansche Gleichung haben wir den Energie-Impuls-Erhaltungssatz (5) gewählt. Die beiden Grundgleichungen der Einsteinschen Kosmologie, (4) und (5), sind gefunden.

2. Separation der Friedmanschen Gleichungen

Im Buch „Relativität und Kosmos“ von H.-J. Treder ([1], S. 69) findet man Informationen über den Aufbau der physikalischen Größen u und p. Danach ist u die Summe aus der Dichte der Ruhenergie μc^2, der Strahlungsenergie u_s und der thermischen inneren Energie i; der Druck p setzt sich aus dem Strahlungsdruck p_s, und dem Gasdruck π zusammen:

(6) $u = \mu c^2 + u_s + i, \quad p = p_s + \pi$.

Es gelten die Proportionalitäten

(7) $\mu c^2 \sim 1/R^3$, $u_s \sim 1/R^4$, $i \sim 1/R^5$,

und die Zustandsgleichungen

(8) $p_s = (1/3)\, u_s$, $\pi = (2/3)\, i$.

Die Formeln (6) und (7) legen einen funktionentheoretischen LaurentreihenAnsatz für u und p nahe:

(9) $u = {}_{\nu=-\infty}\Sigma^{\nu=+\infty}\, a_\nu R^\nu$, $p = {}_{\nu=-\infty}\Sigma^{\nu=+\infty}\, b_\nu R^\nu$.

Durch Einsetzen in (5) und Koeffizientenvergleich erhält man

(10) $u = ... + a_{-5}/R^5 + a_{-4}/R^4 + a_{-3}/R^3 + a_{-2}/R^2 + ...$,

$p = ... + (2/3)a_{-5}/R^5 + (1/3)a_{-4}/R^4 + 0/R^3 - (1/3)a_{-2}/R^2 - ...$

Satz *(Separation der Friedmanschen Gleichungen). Die a_ν-Werte können beliebig vorgegeben werden, die b_ν sind dann bestimmt - und mit (5) ist bereits eine der Friedmanschen Gleichungen erfüllt und separiert (abgetrennt).*

Zum Beweis siehe [2]. Setzt man $a_{-2} = 3$, $a_\nu = 0$ sonst, dann erhält man das statische Weltmodell von Einstein (1917) mit $p < 0$. Modelle mit $u \geq 0$, $p \geq 0$ findet man durch den Ansatz

(11) $u = 6A/R^3 + 3B_1/R^4 + 3B_2/R^5 + ... 3B_n/R^{n+3}$,

$p = B_1/R^4 + 2B_2/R^5 + ... + nB_n/R^{n+3}$.

Durch Einsetzen geeigneter u-Abschnitte in die einzig verbleibende Friedmansche Gleichung (4) werden in [2] kosmologische Modelle konstruiert. Die R-ct-Kurven können in geschlossener Form durch trigonometrische, elliptische bzw. hyperelliptische Funktionen ausgedruckt werden.

Andere u-p-Verhältnisse kann man realisieren, wenn man im Ansatz (9) nichtganzzahlige ν zuläßt. Setzt man nichtabbrechende Laurentreihen in (11) an, dann sind positive Konvergenzradien R_0 möglich: mit $R > R_0 > 0$ hat man am Anfang eine positive Skalenfunktion.

3. Ein Kosmos mit $\mu c^2 > 0$ und $\lambda > 0$

Im „Physik Journal“ vom Februar 2005 findet man in einem Beitrag von G. Börner [3] folgende Abbildung:

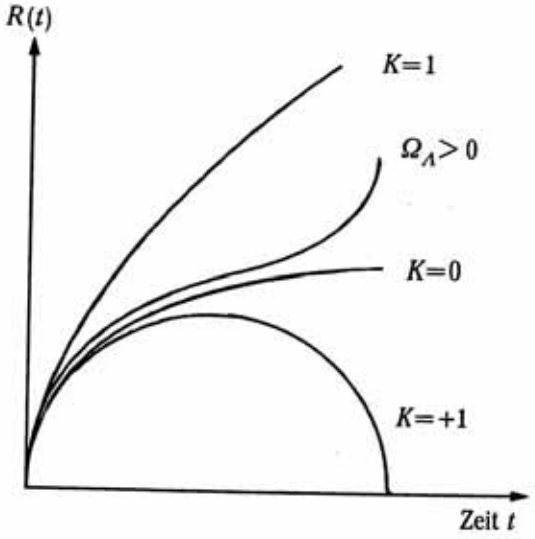


Abb. 3: Der Abstand zweier Teilchen in den kosmologischen Modellen ändert sich zeitlich proportional zu R(f). Die Kurve mit ΩΛ >0 entspricht qualitativ dem Expansionsverhalten, das beobachtet wird.

Die Expansionskurve vom Lemaitre-Typ (mit $\Omega\Lambda > 0$) steht im Einklang mit den gegenwärtigen Beobachtungen. Diese Kurve kann mit Hilfe der Theorie der elliptischen Funktionen in geschlossener Form angegeben werden.

Satz *(Parameterdarstellung der Expansionskurve vom Lemaitre-Typ). Setzt man im Ansatz (11) $n = 0$, $u = \mu c^2 = 6A/R^3$, $p = 0$, $\lambda > 0$, dann erhält man die R-ct-Parameterdarstellung durch*

(12) $(dR/d\tau)^2 = (1/3)\,\lambda R^3 - \alpha R + 2A$,

(13) $(dct/d\tau)^2 = R$.

Die Ordinate R wird (bis auf eine Normierung) durch die DGL der Weierstraßschen p-Funktion beschrieben, die Abszisse ct kann anschließend durch eine Quadratur bestimmt werden.

Beweis: Setzt man in [2, Formel (31) und (32)] den Spezialfall n = 0 ein, dann erhält man (12) und (13), q.e.d.

Im Friedmanschen DGL-System (4) + (5) kann (5) durch

(5‘) $(1/c^2)\,(R''/R) = -(1/6)\,u - (1/2)\,p + (1/3)\,\lambda$

ersetzt werden. Diese Formel zeigt uns den Wendepunkt $R'' = 0$ der R-ct-Kurve: Wenn die Dichte der Ruhenergie $u = \mu c^2 = 6A/R^3$ mit wachsendem R monoton fallend den Wert 2λ erreicht, dann steht man am Übergangspunkt vom materiedominierten Zustand zum de Sitter-Bereich mit $\lambda > 0$.

4. Volumendefekte

Das folgende Thema beginnt mit dem Theorema egregium. Die Gaußsche Krümmung K einer Fläche ist eine Größe der inneren Geometrie, und die Formeln von Bertrand-Puiseux und Diguet aus dem Jahre 1848 zeigen uns, wie K durch Längenmessungen bestimmt werden kann: Man konstruiere zu einem Flächenpunkt P den geodätischen Abstandskreis vom Radius r, messe Umfang U(r) oder Flächeninhalt A(r), und vergleiche diese Werte mit den euklidischen Größen $2\pi r$ bzw. πr^2. Dann kann K an der Stelle P nach folgenden Formeln berechnet werden:

(14) $K(P) = 6 \lim_{r\to 0} \{[2\pi r - U(r)] / [2\pi r \cdot r^2]\} = 12 \lim_{r\to 0} \{[\pi r^2 - A(r)] / [\pi r \cdot r^2]\}$.

Die Krümmung hängt vom Längen- bzw. Flächendefekt ab.

H. Vermeil hat 1917 das entsprechende Ergebnis für n-dimensionale Riemannsche Mannigfaltigkeiten (mit positiv definiter Metrik) hergeleitet und Volumendefekte und skalare Krümmung R* in Verbindung gebracht.

Was kann man bei den indefiniten Metriken der Relativitätstheorie machen? Felix Klein ([4], Teil II, S. 184) und Wolfgang Pauli ([5], S. 92) weisen darauf hin, daß die Vermeilsche Methode sich nicht unmittelbar auf den indefiniten Fall übertragen läßt, weil hier der Kugel das unendlich ausgedehnte Hyperboloid entspricht.

In [2] werden zu einer festen Stelle P im Robertson-Walker-Raum mit Metrik (2) Riemannsche Normalkoordinaten (T, X, Y, Z) konstruiert und der geodätische Teil des Lichtkegels mit $0 \le \tau \le T$ betrachtet. Vergleicht man das 3-dimensionale Volumen $V_3(T)$ der zum Zeitpunkt T gehörigen Kugel im Lichtkegel mit der entsprechenden Größe $(4/3)\pi T^3$ im Minkowski-Raum, dann findet man:

Satz *(Volumendefekte bei kosmologischen Modellen). Die Volumendefekte können in Verbindung gebracht werden mit den physikalischen Größen u, p und λ, es gilt*

(15) $\lim_{T\to 0} \{[(4/3)\pi T^3 - V_3(T)] / [(4/3)\pi T^3 \cdot T^2]\} = (3/20)\,u + (1/4)\,p - (1/10)\,\lambda$.

Es wird vorausgesetzt, daß die T-Zeitachse im Punkt P dieselbe Richtung hat wie die t-Zeitachse der R-W-Metrik (2). Die anderen geodätischen Kegelabschnitte sind durch Lorentz-Transformationen verbunden. Näheres in [2].

Betrachtet man den de Sitter-Kosmos mit $u = p = 0$ und $\lambda > 0$, dann folgt aus (15)

(16) $V_3(T) > (4/3)\pi T^3$.

Die geodätischen Kugeln im Lichtkegel haben ein größeres Volumen als die Minkowskischen Vergleichsobjekte, die Ausdehnung des Raumes tritt in Erscheinung.

Zeiten: Beim Vergleich der rechten Seiten der Formeln (5') und (15) muß man bedenken, daß (5') auf die Koordinatenzeit t der R-W-Metrik (2) bezogen ist, während zu (15) die durch geodätische Konstruktion bestimmte natürliche Zeit T der Riemannschen Normalkoordinaten gehört.

Zum Schluß: Am Anfang der Arbeit finden wir in Formel (1) die Maßverhältnisse zum Riemann-Kosmos der nichteuklidischen Geometrie, mit einem weiteren Zitat aus Riemanns Hypothesen kommen wir zum Ende: „... indem man von der bisherigen durch die Erfahrung bewährten Auffassung der Erscheinungen, wozu Newton den Grund gelegt, ausgeht und diese durch Tatsachen, die sich aus ihr nicht erklären lassen, getrieben allmählich umarbeitet; solche Untersuchungen, welche, wie die hier geführte, von allgemeinen Begriffen ausgehen, können nur dazu dienen, dass diese Arbeit nicht durch die Beschränktheit der Begriffe gehindert und der Fortschritt im Erkennen des Zusammenhangs der Dinge nicht durch überlieferte Vorurteile gehemmt wird.“ – Albert Einstein hat Riemanns Idee realisiert: Mit den Begriffen der Riemannschen Geometrie kann die Relativitätstheorie Erscheinungen beschreiben, die innerhalb der Newtonschen Physik nicht zu erklären sind.

5. Literatur

[l] H.-J. Treder: Relativität und Kosmos. Berlin: Akademie-Verlag 1968.
[2] F. Gackstatter: Über Volumendefekte und Krümmung bei der RobertsonWalker-Metrik und Konstruktion kosmologischer Modelle. Ann. Physik (Leipzig) 44 (1987), 423-439.
[3] G. Börner: Der Nachhall des Urknalls. Physik Journal 4 (2005), 21-27.
[4] F. Klein: Vorlesungen über die Entwicklung der Mathematik im 19. Jahrhundert, Teil I und II. Berlin: Springer 1926 und 1927.
[5] W. Pauli: Relativitätstheorie. Stuttgart. Teubner 1921.

Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät *78/79(2005), 193–208*

Iourii Gribov

How could Einstein empty vacuum become stable quantum liquid with the common Einstein-Lorentz invariance and other standard model features?

Abstract. The global Einstein-Lorentz and gauge invariance arise in our hypersymmetric, double-waveguide space structure, filled by dynamical C-photowaves – locally massless quasiparticles, carrying +/-mass. This structure allows building yet unknown massless „bare" atoms – coupled e-/e+ electron/positron pairs – building blocks of the non-gravitating, equilibrium quantum vacuum with *zero energy density*, which allows the geometrical unification of basic physical forces, realizing the famous Unification Program of A. Einstein. The appropriative „large-scale" cosmological verification of this +/-M-symmetry is proposed.

Introduction

Planck started 1900 epoch of quantum physics, but till now it remains a kind of *empirical* theory, Feynman even mentioned that nobody understands quantum mechanics. Einstein noted, „alone corpuscular-wave dualism requires something unheard of before" (Einstein 1942). It is not surprising that modern physics accumulated many yet unsolvable *fundamental problems* as the *classical and quantum singularities, unification charge with gravity, origin of zero mass, no gravitation and zero vacuum energy, space flatness, accelerating universe expansion, etc.*

Where is the origin of zero mass from? Why not a string theory? M. Veltman assumes, that „the miraculous thing with the Standard Model (SM) is that originally ALL the particles in the SM have some zero mass..." (Hargittai 2004, p. 101). He asks, „is there a deeper layer to understanding the balancing of forces?" and notes, „we don't know why, but it gives you the suspicion that in the Higgs system there is probably another layer where the idea of mass gets another interpretation" (Id. p.101). He makes a penetrating remark here,

„the breaking of symmetry is not in the theory, not in the balancing of forces, it's in the way we look at it" (Id., p. 107). M. Veltman joins that the very big hopes for modern string theory did not prove true, and the „strings and supersymmetry...explain nothing from things what we don't understand today" (Id., p. 107). G. 't Hooft says, „I think now that there must be some fundamental theory of Nature that we don't know about at all yet, where quantum mechanics does not enter any of the equations. The theory is totally deterministic, causal, coherent and consistent – having nothing to do with quantum mechanics" (Id., p. 125). Hoft's prophesying, correlating with Einsteinian vision, will be exactly realized below. V. L. Fritch makes very important note, „…the CP violation observer in the weak interactions is not nearly large enough to account for the matter-antimatter asymmetry in the Universe" (Id., p. 205). „Obviously, physicists have overlooked something fundamental in this universe, kind of mechanism, which care that all different components of cosmological constant are exactly zero" (S. Coleman 1993, p. 280). Thus, we propose below the simplest – the matter-antimatter symmetry!

Are there some unknown hidden symmetries? G. 't Hooft asks, „Why the cosmological constant is so small? One possible reason could be that there is symmetry" (Hargittai 2004, p. 127). „There is no theory for such a cosmological constant at present. It's a great mystery" (Id. p. 128). L. M. Lederman notes, „There is a deep symmetry, which enables us to understand the EH force, the weak force, and the strong force. Gravity is stile a mystery" (Id., p. 152). He asks, „Is there any evidence for the Higgs fields? NO" (Id. p. 153) .A. Zee notes, „The most unsatisfying…is the present formulation of gauge theories. Gauge ‚symmetry' does not relate two different physical states, but two descriptions of the same physical state"… Historically a very big surprise was to discover two fundamental hidden symmetries, *Lorentz invariance* and *gauge invariance*: two symmetries that „hold the key to the secrets of the universe. Might not our present day theory also contain some unknown hidden symmetries?"... „In dimensional destruction a D-dimensional theory may look (D+1)-dimensional in some range of energy scale: the field theory can literally create a spatial dimension"… this suggests „that quantum field theories contain considerable hidden structures waiting to be uncovered" (Zee 2003, p. 456–457). „One of the disappointments of *string theory* is its inability to resolve the cosmological constant problem. But the brane world scenario offers a glimmer of hope" (Id., p. 436). S. Weinberg recalls the „idea of „ether", and that „Einstein solved the problem by IGNORING it."… (Hargittai 2004, p. 27).

The comeback of the quantum ether. Later A. Einstein totally reconsider his „anti-ether" conclusion and explained that „according to the general theory of relativity space without ether is unthinkable; for in such space there not only would be no propagation of light, but also no possibility of existence for standards of space and time". He clamed some essential physical properties for this hypothetical ether: (a) it must be a non-pondermotor, non-gravitating media; (b) the corresponding sound-light waves in this media must be transverse (as the transverse light waves) and, thus „must be of the nature of a solid body" (Einstein 1920). In these times he could not take in consideration the new promising ether analogy with quantum liquids where the „transverse light waves" are natural (Volovik 2003).

The forces unification problem. „We have working theories of particular systems…, but none of the whole, nor even a plausible concept of what a whole theory of nature might be like"…, „the central problem of physics today is to reconcile the concepts of quanta and gravity", writes D.R. Finkelstein (1996, pp. 34, 166). „The general relativity has unavoidable space-time singularities". „The deep incompatibility between the basic structures of general relativity and of quantum theory of quantum gravity requires a profound revision of the most fundamental ideas of modern physics." (Isham 1993**,** p. 4–5). E. Witten concludes, „In the String Theory (ST) we do not have the analogue of the Einstein-Hilbert action" (Witten 2003, p. 458).

The waveguide model of physical space

Attempts at building the general theory of electricity and gravity. T. Kaluza (1921) introduced the 5th dimension into the 4–dimensional physical space (x,y,z,t) of the gravity theory of Einstein. O. Klein (1926) and V. Fock (1926) discovered that trajectories of the charged particle correspond to geodesic lines with the 0-length (geometrical beam). They showed that the classical *physics of relativity* is equivalent to the *geometrical optics* on a beams transmission in the 5D-space and the *quantum mechanical* movement of the charged particle is equivalent the *wave optics* on the transmission of scalar waves in 5D-space, if the wave function ψ has *cyclical condition*: $\psi(x^1,x^2,x^3,t,x^5) = u(x^1,x^2,x^3,t) \exp[2\pi i(MC/h)x^5]$. In this case will arise the well-known equation for waves of matter (the 3D+1-wave of de Broglie). A. Einstein and P. Bergmann (1938) proposed the periodical condition for metric potentials in the 5th coordinate (i.e. they unrolled the cylindrical surface onto a „plate" in the 5th dimension, and conserved the periodicity, connecting with the cylind-

rical Kaluza model of the 5th dimension. J. B. Rumer (1956) also introduced the 5th coordinate, but in these x^5-theories there is not clear is the generic physical nature of the necessary, basic *cyclical condition* $\exp[2\pi i(MC/h)x^5]$.

The waveguide hyperspace structure. We have (Gribov 1999, 2003) the simplest proposal – instead of the cylindrical-like 5th-dimension (x^5) it introduces the linear additional dimension as the „substantial" *super-thin, elastic flat waveguide* with the constant thickness $\Delta X^5 = \Delta L = L_o$ and endless in our physical macro-space ($x,y,z, 0<L<L_o$). We proposed also that mass-particle is the light-speed „photowave" quanta with $E=h\nu=MC^2$ in this waveguide (having phase speed $\mathbf{C} = (V_x,V_y,V_z,C_l \neq 0)$; C^2 = const for all inertial systems of coordinates.). The „resting" energy $M_oC^2 = h\nu_o$ is *dynamically* installed in the substantial layer $\Delta L = L_o$ as a *resonance* photowave-quanta ($\gamma = 2L_o$, $\nu_o = C/2L_o$). This photowave has $V_{mech.} = V_x \equiv C_x$ and moves with the light speed along the *quasi-polygonal trajectory*, $\sin\alpha = C_x/C$, $\cos\alpha = \sqrt{(C^2-V^2)}/C = \sqrt{(1-V^2/C^2)}$, (Fig. 1.1).

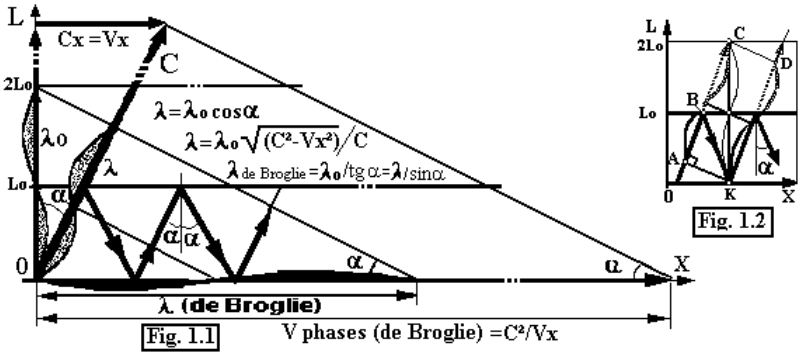


Fig. 1.1

Fig. 1.2

Notably, the Einstein relativistic mass equation $M = M_o/\sqrt{(1-V^2/C^2)}$ arises here *as a pure wave-effect* – as the „*self-interference*" – between parallel segmented wave elements (Fig.1.2), quite similar to the thin oilskin model of the wave optics: $E(V_x) = E(\alpha) = h\nu = h\nu_o/\cos\alpha$ with its corresponding relativistic mass $M = M_o/\sqrt{(1-V_x^2/C^2)}$. The wave energy $E = h\nu = h/(C/\lambda)$ could pass along the waveguide L_o if two parallel wave-trains AC and OD have the same wave phase on the line $AK \perp AC$. Here the wave path difference ΔS is $\Delta S = AB+BK$ (Fig. 1.2). Our wave is additionally reflected two times (in the points B and K, that adds $\pi+\pi = 2\pi$ phase. The ΔS-interval must contain one integer wavelength λ and is equal to the cathetus AC = AB+BC = AB+BK =

λ in the square triangle KAC where $\angle KAC = 90°$, with its hypotenuse KC = λ_o. Thus, we obtain $\lambda = \lambda_o \cos\alpha$, $\nu = \nu_o/\cos\alpha$, $h\nu = h\nu_o/\cos\alpha$ and $M = M_o/\sqrt{(1-V_x^2/C^2)}$. The Kaluza's *cyclical condition,* mentioned above, very naturally arises here as a *result* of the *„photowave's" dynamics* in the waveguide, where our physical quantum mass-particle (electron) is the dynamical resonance photowave $\psi(x,y,z,0<L<L_o)$, $\psi = \psi_o \cdot \exp[-2\pi i\ (nt-K_xX-K_yY-K_ZZ-K_l L)]$ or $\psi = \psi_o \pi \exp[(-2\pi i/h)(Et-P_xX-P_yY-P_zZ-P_lL)]$, where $\mathbf{K} = (K_x, K_y, K_z, K_l)$ is the wave vector **K,** with $|\mathbf{K}| = 1/l$ performing here the x^5 „wave function" of quantum mechanics, repeating the relativistic x^5-Klein-Gordon equation, transforming into the common Schrödinger equation if $V<<C$. The $P_l = M_{oe}C = \text{const}$, (see below), gives now physically transparent cyclical x^5-condition (1). The wave of de Broglie arises here naturally as the spatial crossection $\psi(x,y,z,L = 0)$. Formally, the Klein-Gordon wave corresponds to bosonic field or bosonic particle (spin $S = h/2\pi$), but this photowave has now its P_l photopressure, deforming our waveguide $0<L<L_o$, and building the self-focused, spatially localized *cylindrical quantum loop-attractor,* arising in the elastic waveguide (see below). The second *very distinguishing and basic aspect* of our waveguide space structure is its ±M-mass symmetry for particles and antiparticles: we proposed for this purpose the double-waveguide $|e-|e+|$, like $\pm L_o$ sandwich, symmetrically divided into two identical flat layers – for *particles* $(x,y,z,0<L<L_o)$ and for *antiparticles* $(x,y,z,-L_o<L<0)$ (Gribov 1999, 2003). P. Dirac initially proposed this in his great 1928 work, which predicted positrons, but later this was roughly criticized and even forbidden.

Optical mechanism of photoacceleration. The photowave has an orthogonal momentum $MC_l \neq 0$, this creates pressure inside the elastic guide layer and *deforms* it. The optical acceleration g_x was shown for the small opening of the angle $\beta \approx 0$ between two side-plates of the above-mentioned waveguide (Fig. 2.1).

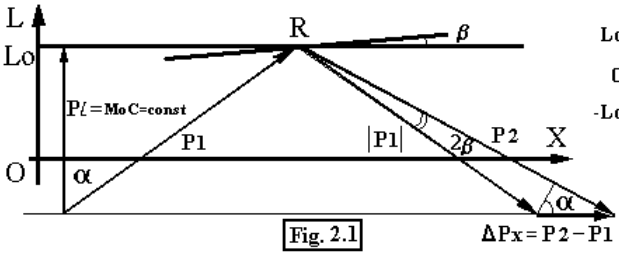


Fig. 2.1

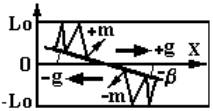


Fig. 2.2

The local accelerating force is on average $f_x = \Delta P_x/\Delta t$, ($\Delta P_x = 2\beta \mid P1 \mid / \cos\alpha = 2\beta MC/\cos\alpha$ and $\Delta t = (2L_o/\cos\alpha)/C$), i.e., $f_x = Mg_x = \beta MC^2/L_o$. Thus, the photoacceleration $g_x = \beta C^2/L_o$ does not depend of the M, so the local unparalleled deformation can be strictly considered as the potential $U(x) \sim L(x)C^2/L_o$ of the classical gravitation field $F_x = -\partial U(x)/\partial x$, where $tg\beta(x) = \partial L(x)\partial x \approx \beta(x)$ for very small $\beta(x) \approx 0$, $\mathbf{g} = (\beta_x,\beta_y,\beta_z)C^2/L_o$, $g^2 = (\beta^2{}_x+\beta^2{}_y+\beta^2{}_z)C^4/L^2{}_o$. It is easy to show that the „resting" resonance photowave $E_o = h\nu_o$, ($T_o = 2L_o/C$) vibrates slower in the thicker substantial layer $L = L_o+\delta L > L_o$, (where $T = T_o+2\delta L/C$), and the corresponding substantial micro-times-slowing δT is the same as in the gravity field of Einstein. The one-signed mass particles *attract each other***,** but the oppositely signed masses particles (+M, –M) *repulse* each *other*, because the $+\beta \Rightarrow -\beta$ and we have ±opening for the same photogravity field $\mathbf{g}_x$ (Fig. 2.2).

On the spatial structure of the photoparticle

It is easy to show that the photowave's orthogonal momentum $P_\perp = P_l = MC_l = M_{oe}C$ = const will be the constant of motion, while $M = M_{oe}/\sqrt{(1-V^2/C^2)}$ and $C_l \equiv \sqrt{(C^2-V^2)}$, if we postulate that our photowave has the same phase velocity C = const for all possible directions in the layer – that the L_o-layer medium is homogeny and isotropic and our photowave quanta has energy $E = h\nu_e = M_eC^2$. The invariance of the $P_{\perp e} = M_{oe}C$ causes the *invariance of electron charge*, created by its orthogonal photopressure $F_{le} = F_{\perp e}$ = const (see below). The total force $f_{\perp e}$, orthogonal to this „substantive membrane" is surprisingly huge for very tiny, resting electron or positron quanta, $f_{\perp e} = f_{le} = 2\Delta P_{le}/\Delta T$, thus, $f_{\perp e} = \pm 2M_oC/(2L_o/C) = \pm M_oC^2/L_o$ and finally $f_{\perp e} \approx \pm 6{,}7$kg!

The (D+1) nature of the Higgs mechanism. Note, that the $L^5{}_o$-layer is the literal waveguide analog of the famous Einstein mirror clock (where $\mid C \mid$ = const) and automatically contains special relativity and very simple (3+1D)-mass M_{oe} and charge Q_e appearance (caused by the $P_{le} \neq 0$) as universal physical sense of the Higgs mechanism!

The relativistic nature of the fermionic spin h/4π. The orthogonal pressure $\pm f_\perp$ inside the $\pm L_o$-layers creates a local non-parallelism between outside framing membranes $(x,y,z,\pm L_o)$ and the middle one (x,y,z, L = 0), (we have $-\delta L_o$ for particle and $+\delta L_o$ for antiparticle and assume that only the middle membrane is deforming. Such inevitable, naturally local swellings will further concentrate the photowave energy by the mentioned above mechanism of photoacceleration $g = \beta C^2/L_o$, directed towards the swelling elevation! This

creates the crucially important phenomenon – the self-organizing *self-focusing dynamics, -self-localizing the photowave energy* in the form of the tiny quantum attractor – „quantum topological defect" – the spinning, non-dissipative quantum vortex – building the almost *point-like particle*, but now with the definite-finite quantum loop radius $R = h/4M_{oe}C$, expresses the *generic spatial structure of the elementary photoparticle*. If the photowave is self-focused and stabilized in the plate ($x \approx 0, y \approx 0, z, 0<L<L_o$) into a quantum attractor, and moves along OZ, the full photowave vector remains $|C| = \text{const}$; but it will have symmetric rotational components $C_y(t)$ and $C_x(t)$. This will provide the same spin directed along the axes OZ. In the non-relativistic frames the minimal resonance loop $2\pi R_o$ must contain *only one length* of $\lambda_{deBroglie}$: $2\pi R_o = \lambda_{deBroglie} = \lambda/\sin\alpha$, where $\sin\alpha = \sqrt{(C^2_x+C^2_y)}/C$. But for very small loop (and very small $\lambda_{deBroglie}$) we will reach relativistic rotating speed $\sqrt{(C^2_x+C^2_y)} = C_{||}$ comparable with C and we must take in account relativistic loop length shortening $2\pi R_o\sqrt{(1+C^2_{||}/C^2)}$! Now the same $\lambda_{deBroglie}$ will cover longer interval $l_{rel}>2\pi R_o$, where the $l_{rel} = 2\pi R_o\sqrt{(1-C^2_{||}/C^2)}+\Delta l=\lambda_{deBroglie}$. Obviously, that the search relativistic length l_{rel} will be derived at $\sqrt{(1+C^2_{||}/C^2)} = 1/2$, giving corresponding resonance condition $l_{rel} = 2\pi R_o/2+2\pi R_o/2$, where $R_{o/rel} = R_o/2$. Now we derive $4\pi R_{o/rel} = \lambda_{deBroglie}$. This means that the $C_l = C/2$, $C_{||} = C\sqrt{3}/2$ and $\alpha = 60°$ in the *relativistic* electron attractor. The searched spin $S_{ez} = M_e(\pm C_{||})R_{o/rel} = \pm M_eC\sin\alpha R_{o/rel}$ and then $S_{ez} = \pm M_eC\sin\alpha\lambda_{deBroglie}/4\pi$. We recall that the $\lambda_{deBroglie} = \lambda/\sin\alpha$ and $M_eC^2 = h\nu=hC/\lambda$, thus the $S_{ez} = \pm h/4\pi$ and $R_{o/rel} = h/4\pi M_{oe}C$. This radius corresponds to the magnetic moment $\mu_{oe} = eh/4\pi M_{oe}C$ for electron.

The nature of the photon and neutrino spin. The resonance $\lambda_{deBroglie}$ wave is twisted *two times* around the cylindrical electron attractor. This relativistic coaxial double-loop could be formally considered as consisting of two half-spinors $S_e = h/8\pi+h/8\pi$. Thus, e-/e+ coupled pair has zero spin $S_{coupl} = h/8\pi+h/8\pi–h/8\pi–h/8\pi = 0$, which could be disturbed as $S_{dist} = S_{photon} = h/8\pi+h/8\pi+h/8\pi+h/8\pi = h/2\pi$, or as $S_{neutrino} = h/8\pi+h/8\pi–h/8\pi+h/8\pi = h/4\pi$.

The fractal-like multilevel leptonic quantum vacuum paradigm. Fundamental ideas of D. R. Finkelstein that „physical space-time is a locally finite assemblage of discrete finite quantum elements" and that „spacetime structure is already quantized" (Finkelstein 1996, pp. 478, 482) are realized in our conception of the fractal-like quantum vacuum microstructure:

$V^4 = V^3+1$ *(e-/e+)* is our global $\pm M_{oe}$-hypersymmetric e-/e+ quantum liquid level, filled by it's the biggest „V^4-atoms"- the e-/e+ coupled pairs, providing

the common global Einstein-Lorentz invariant and the global QED-gauge invariance for photons and electron neutrino. This global nongravitating vacuum must have its locally massless mother-vacuum, consisting of the more fine-grained „atoms" filling its $\pm L_{oe}$ waveguids – building bricks for e-/e+ attractors.

$V^5 = V^4+1$ (mu-/mu+). We connect this mother-vacuum with leptonic muon/antimuon composites – building mu-/mu+ locally massless quantum liquid, where our electron C-photowave has the same maximal velocity C. The μ-/μ+ Cooper-like coupled muonic attractors have much more thin muonic waveguids with $\pm 2L_{o\mu}=\lambda_{\mu oCompt}$

$V^6 = V^5+1$ (tau-/tau+). We could extend this principle to ever deeper leptonic generations and propose that the local grandmother of the e-/e+ vacuum is the $\pm M_{o\tau}$ quantum liquid and so on.

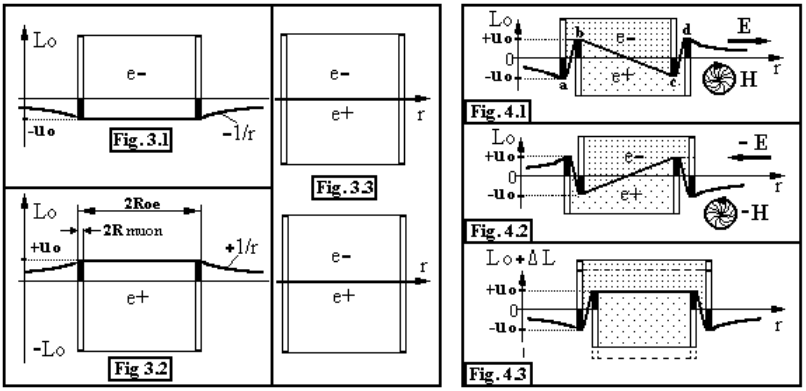
Unification gravitational and electrostatics forces

The ±Q-electromechanical-membrane analogy. R. Feynman showed that a thin, elastic two-dimensional flat membrane (x,y), having very strong surface tension τ = const, is the full analogy to electrostatic potential – with a static membrane deviation from its flat state (Feynman et al. 1966, v. 2/5 p. 243–246). The orthogonal mechanical force $f_\perp$ is here the full analog of „electrical charge" (imagine cylindrical pencil with radius R_o, pressing the membrane surface with the force $\pm f_\perp$). The ±Q charges (and ±potentials) are realized here by the opposite ±f pressure – from two different sides of this membrane! (Id. p. 243). If deviation is $\delta L(x,y) \approx 0$, the membrane tension $\tau(x,y) \approx$ const and we have $\nabla^2\delta L(r) = - f_\perp/\tau$. It is the exact analog of electrostatic potential U(r) for charge ρ/εo in the equation $\nabla^2 U = -\rho/\varepsilon_o$, (Id. p. 245). This deviation corresponds to the electrostatic potential of the regularly charged endless cylinder with the radius R_o. Feynman notes, that the equation $\nabla^2\delta L(r) = -f_\perp/\tau$ will be the same also in the case of the 3D-membrane, realizing now the deformation of the 3D-elastic body. Thus, we obtain now the very important 3-dimensional membrane analog $\delta L(x,y,z) = \delta L(r) \approx \pm 1/r$, strictly corresponding to the 3D-potential of a regularly charged sphere with radius R_o. We have no singularities $U(r = 0) = \pm\infty$ here, $U(r \sim 0) = \pm 1/R_o = \delta L(0<r<R_o) =$ const!

The ±M-gravitomechanical-membrane analogy. If the middle membrane (x,y,z,L = 0), strictly dividing e- and e+ wave-guides in our vacuum space, has very small deviations $\pm\delta L(x,yz) \approx 0$, we would have gravity potential

$U_{gr}(x,y,z) \approx \pm\delta L(x,y,z)C^2/L_o$, mentioned earlier (Gribov 1999, 2003). Thus, we identify both electrostatic and gravity potentials with the same middle 3D-membrane deviations $\pm\delta L(x,y,z)=\pm\delta L(r)\sim\pm 1/r$! Thus, the Newton (gravity) and Coulomb (electrostatic) laws could have the same 1/r character!

The „hidden" reciprocal ±M symmetry creates the relation $F_{el}/F_{gr} \approx 4\times10^{42}$. We can estimate some geometrical characteristics of the 1/r attractors form (Fig. 3.1; 3.2), if we compare our „photogravity" potential $\delta L(r)C^2/L_{oe}$ with the common gravity potential for an electron $U_{gr}(r) = GM_{eo}/r = \delta L_{gr}(r)C^2/L_{oe}$, where G is the gravitational constant.



Thus, now the membrane deviation $\delta L_{gr}(r) \equiv u_{gr}(r) = -(GM_{oe}L_o/C^2)/r$. Within the interval $R_{oe} \geq r \geq 0$, ($R_{eo} = 2\pi L_o$) we have now $u_{gr}(R_{oe}) = u_{max} \equiv u_{ogr} = -2\pi GM_{oe}/C^2$, where $u_{ogr} \approx -4{,}2\times10^{-55}$cm. The relation $\delta L_{gr}(r)/L_{oe} \approx 10^{-55}/10^{-10} \approx 10^{-45}$, that keeps $\nu_{oe} = C/2L_o = \text{const}$.

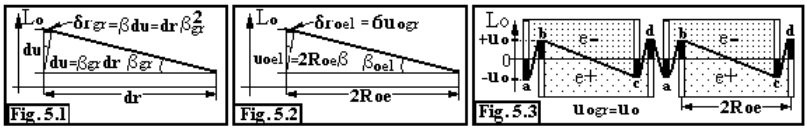
Now we will combine the very smooth gravity deviation U~−1/r potential (Fig, 3.1; 3.2), described above, with the (e-/e+) quantum vacuum polarization under this oppositely acting gravitational force **F**, ($\mathbf{F}_{e-} = +\mathbf{g}_{gr}M_{oe-}$) for electron, and the opposite $\mathbf{F}_{e+} = -\mathbf{g}_{gr}M_{oe+}$ for positron respectively). Here will be derived the geometrical sense of the electrostatic tension energy, deeply hidden from common physics. The enormous density of electrostatic energy arises here as the unexpectedly very strong reciprocal ↓↑ membrane deformation ⎽/‾ or ‾\⎽ caused by the axially shifted cylindrical attractors in the coupled e-/e+ pairs under the smooth 1/r membrane deviance! We associate the smooth 1/r membrane tensions ⎽⎽(and)‾‾\ with the gravity energy E_{gr} and the accompanying reciprocal polarizing membrane tension ⎽/‾ with

the electrostatic vacuum energy E_{el} related to our free electron or positron attractors. Earlier we described this very simple geometric picture of the basic classical forces similarly but only qualitatively (Gribov 1999, 2003), without evaluation of the above mentioned _/‾ deformation energy.

The local membrane straining $\delta r(r)$, connected with its full deviations $\delta L(r)$, could be consider independently for the smooth membrane deviation $u_{gr}(r) = -(GM_{oe}L_o/C^2)/r$ – for the straining δr_{gr}, and for the reciprocal _/‾ deviation – the straining δr_{el} . Now we can acquire the enormous relation E_{el}/E_{gr} between these two membrane strainings, if we assume that:

(1) The local smooth membrane straining $\delta r_{gr}(r)$ is connected with the very small deviation from the parallelism on an angle $\beta_{gr}(r) \approx \partial u_{gr}(r)/\partial r \approx 0$ and is approximately $\delta r_{gr} \approx \beta^2_{gr}(r)dr$ (Fig. 5.1). We recall that the photoacceleration $g_{gr}(r)=\beta_{gr}(r)C^2/L_{oe}=GM_{oe}/r^2$, thus the $\beta_{gr}(r) = (GM_{eo}L_{oe}/C^2)/r^2$, or $\beta_{gr}(r) = u_{ogr}R_{oe}/r^2$. Here $dE_{gr} = \sigma\delta r_{gr}4\pi r^2 = \sigma\beta^2_{gr}(r)4\pi r^2dr$; $dE_{gr} = \sigma u^2_{ogr}R^2_{oe}4\pi r^2dr/r^4 = \sigma u^2_{ogr}R^2_{oe}4\pi dr/r^2$, where $\sigma(r) = \sigma$ = const is a very strong constant bulk tension of our 3D-membrane. The full tension energy $E_{gr} = \int^{\infty}_{Roe}dE_{gr}$, $= 4\pi\sigma u^2_{ogr}R_{oe}$, (where $u_{ogr} = 2\pi GM_{oe}/C^2$ and $R_{oe} = L_o/2\pi$): $E_{gr} = 4\pi\sigma u^2_{ogr}R_{oe}$,

(2) This smooth gravitational potential $u_{gr}(x)\sim 1/r$ will provide polarization of e-/e+ vacuum pairs around of the free electron attractor R_o, that will create reciprocal *radial* _/‾ membrane strainings in the each e-/e+ pair of vacuum (Fig. 4,1;4,2;5,3). This reciprocal local _/‾ membrane straining δr_{el} must be also distantly reduced as $1/r^2$, as is reduced the polarizing reciprocal gravitational force $g(r) = \pm\partial u_{gr}(r)/\partial r \sim \pm 1/r^2$, (see Fig. 2,2). The δr_{el} consists approximately of 2 identical quasi-orthogonal intervals **ab** $\approx 2u_{ogr}$ and **cd** $\approx 2u_{ogr}$ for each single e-/e+ pair (see Fig. 4.1; 4.2). But we must take in account additional straining interval **da** $\approx 2u_{ogr}$, arising between two neighboring e-/e+ pairs, placing along radius r. (Fig. 5.3).



We could imaginary unfold these *radial* _/\/‾ membrane $(2u_{ogr}+2u_{ogr}+2u_{ogr})$-strainings, related to each e-/e+ pair, into the smooth elements, building now imaginary smoothed function $U_{el}\sim k_{el}/r$ (see Fig. 5,2). This imaginary smooth function U_{el} has its local very small angle $\beta(r)_{el} = \partial U_{el}(r)/\partial r \approx 0$, and it is changed as $\beta(r)_{el}\sim 1/r^2$. We have $\beta_{max}(r = R_{oe}) \equiv \beta_o$

and thus, $\beta(r)_{el} = \beta_o R^2_{oe}/r^2$, with very small angle $\beta_o = \sqrt{(6u_{ogr}/2R_{oe})} \approx 0$, (see Fig. 5,2). Thus, $\beta(r)_{el} = \sqrt{(6u_{ogr}/2R_{oe})}R^2_{oe}/r^2$ and electrostatic straining $\delta r_{el}(r) \approx \beta^2(r)_{el}dr = [(6u_{ogr}/2R_{oe})R^4_{oe}/r^4]dr$. Walls of our e- and e+ cylinders R_{oe} have a small thickness, they cannot be thinner as the $2R_{omu}$, while these walls are built from the corresponding muonic vacuum „atoms" (see our fractal vacuum concept above). It is proposed that this thickness $d_{ewall} = d_{min}$ and is exactly the $d_{ewall} = 2R_{omu}$. Thus, the electron/positron orthogonal reciprocal straining is distributed in each polarized e-/e+ pair along two thin ring-strip areas $2\Delta S_o = 2(2\pi R_{oe}2R_{mu})$. In the further integral account we must use these strainings, averaging on the full approximately quadratic e-/e+ micro-space-cell $\Delta S_{sq} \approx 2R_{oe}\times 2R_{oe}$, containing these straining ring-strips, i.e. we must use averaging multiplicand $2\Delta S_o/\Delta S_{sq} = 2\pi R_{omu}/R_{oe}$ for each e-/e+ ring-straining, thus, the local straining $\delta r_{el}(r) \approx [(6u_{ogr}/2R_{oe})R^4_{oe}/r^4]dr$ will be written as the $\delta r_{el}(r) \approx (2\pi R_{omu}/R_{oe})[(6u_{ogr}/2R_{oe})R^4_{oe}/r^4]dr$, Now we form the $4\pi r^2$ spherical layer with $dE_{el} = \sigma\delta r_{el}(r)4\pi r^2$ and then write the final integral form $E_{el} \approx \int^{\infty}_{Roe}\sigma(2\pi R_{omu}/R_{oe})(6u_{ogr}/2R_{oe})R^4_{oe}4\pi r^2dr/r^4$. Thus, we derive: $E_{el} = 24\pi^2\sigma R_{mu}R_{oe}u_{ogr}$ .The search relation $E_{el}/E_{gr} = 24\pi^2\sigma R_{omu}R_{oe}u_{ogr}/4\pi\sigma u^2_{ogr}R_{oe}$, and finally $E_{el}/E_{gr} = 6\pi R_{omu}/u_o$ where $R_{omu} = h/4\pi M_{omu}C = 0{,}934\times10^{-13}$cm, $u_{ogr} = 2\pi GM_{oe}/C^2 = 4{,}235\times10^{-55}$cm. The numerical computation gives $(E_{el}/E_{gr})_{EMMA} = F_{el}/F_{gr} \approx 4{,}145\times10^{42}$. This means that we derive almost the same (with only 0.5% difference) value as the empirical value $(E_{el}/E_{gr}) \approx 4{,}169\times10^{42}$! We recall that $F_{el}/F_{gr} = (e^2/r^24\pi\varepsilon_o)/(Gm^2_e/r^2) = U_{el}/U_{gr}$ and is compared with the $(E_{el}/E_{gr})_{EMMA}$. The electron charge comes from the last equation as $e^2/\varepsilon_o = 3hCM_{oe}/M_{omu}$. If $E_{el}=24\pi^2\sigma R_{omu}R_{oe}u_{ogr} \approx M_{oe}C^2$ we have $\sigma \approx 9{,}45\times10^{72}$ [gcm/sec²cm²]!

New paradigm of liquid quantum ether supports our concept

Hu 1996; Padmanabhan 1999; Laughlin and Pines 2000; Volovik 2003 showed that „properties of our world such as gravitation, gauge fields, elementary chiral fermions, etc., all arise in the low energy corner as low energy soft modes of die underlying Planck condensed matter" (Volovik 2003, p. 7). „It is assumed that the quantum vacuum of the Standard Model is also a fermionic system, while the bosonic modes are the secondary quantities, which are the collective modes of this vacuum". „Its physical structure on a ‚microscopic' trans-Planckian scale remain unknown, but from topological properties of elementary particles of the Standard Model one might suspect that the quantum vacuum belongs to the same universality class as 3He-A. More exactly, to reproduce *all the bosons and fermions of the Standard Model*", „but

the effective gravity still remains a caricature of the Einstein theory. (Id., p. 5, p. 8). Two mentioned above condensation concepts totally support our vacuum architecture, consisting of the hypersymmetric-condensed ±electrons vortexes – Fermi quantum liquid, keeping the Standard Model complex with its U(I)×SU(2)×SU(3) symmetry, really consisting „of some discrete elements – bare particles – whose number is conserved" (Volovik 2003, p. 18). This vacuum keeps global Lorentz and U(I) gauge invariance at the low T for its quasiparticles!

The paradigm of the non-gravitating equilibrium vacuum is exactly „at home", it is the straight result of the underlying ±space-geometry, but with the immediately arising anti-gravity with its symmetrical „anti-Minkowski space". This paradigm „cannot be derived within the effective theory. *It can follow only from the still unknown fundamental level." /I.G./* (Id., p. 8). We need a *‚perfect' quantum liquid*, „where in the low-energy corner the symmetries become exact to a very high precision as we observe today in our Universe." (Id., p. 463).

Why the most profound physical idea of ±M-symmetry of P. Dirac was lost? If we change simultaneously the sign of mass and charge, our now fully „hypersymmetric" positron will fly in the same direction as the electron! But this is common nonsense while they are revolved in the opposite directions. But in the frames of our space-anti-space symmetry it is easy to show that not only the signs of mass and charge are switching, *the sign of the acting field* ***H***, ***E*** *and* ***g*** for our positron is *switching simultaneously as* $-\boldsymbol{H}$, $-\boldsymbol{E}$, $-\boldsymbol{g}$ (see Fig. 1.2 and Fig. 4.1; 4.2). The positron „senses" all these fields as the opposite! This *essential „field signs" correction* fully rehabilitates the unjustly „forbidden" and forgotten Diracian ±M-symmetry. Now we have two absolutely correct equations:

For magnet field ± H: $a_{e-} = -QVH/M$, $a_{e+} = +QV(-H)/(-M) = +QVH/M$. (Fig. 4.1 and Fig. 4.2). *For electrostatic field ± E:* $a_{e-} = -QE/M$; $a_{e+} = +Q(-E)/(-M) = +QEM$. (Fig. 4.1 and Fig. 4.2).

For gravity field ± g: $a_{e-} = (M/M)g$, or $a_{e-} = +g$; $a_{+} = (-M/-M)(-g) = -g$. (Fig. 1.2);

The waveguide nature of the Yukawa potential. The Yukawa's exponential suppressing factor e^{-mr} has the straight analog with our wave-guided vacuum: there is the same exponential suppressing factor e^{-kr} for the electromagnetic (EH) wave propagation in the rectangular waveguide for the EH waves $E_y = E_o \sin K_x x \, e^{i\omega t} e^{-kz}$ (Feynman et al. 1966 v. 2/6, p. 228).

The universal sense of the fundamental Planck constant h. All possible bosonic Cooper-like-composites of our physical quantum vacuum (e-/e+, mu-/mu+, tau-/tau+, …, (x-/x+)…attractors) have the same quantum bosonic spin structure $S_o = h/4\pi h/4\pi = 0$ or, after the perturbation $S_1 = h/4\pi + h/4\pi = h/2\pi$ that explains the universality of the minimal action h.

The geometrical sense of unified fields. After annihilation – then the photoparticles e- and e+ are coupled in our sense – their summary membrane straining energy $2E_{membr} = |2M_oC^2| = |2E_{gr}| + |2E_{el}|$ is liberated and is *fully conversed into radiation*, but both generic quanta $h\nu_{oe-}$ $h\nu_{oe+}$ do not disappear. They realize „the ghosts of the theory of gauge fields", they „are scalars (spin 0) and yet obey odd statistics" (Finkelstein 1996, p. 436).

The self – renormalizability. The common theoretical estimate $\rho_{theor}/\rho_{experim} = 10^{123}$ for vacuum energy density! But in our ±M-vacuum – it is now $\rho_{vacuum} \approx 0$, as it is for quantum liquids.

The nature of the Einstein Equivalence Principle. The gravity has *always-dynamical (equal) sense* in our waveguide system. *Dynamical* quanta pressure $f_\perp = M_oC^2/L_o = h\nu_o/L_o$ causes (1) the 1/r gravity potential $\delta L(r) \sim U(r) = -GM/r$ (as the 3D-membrane deviation $\delta L(r)$ and (2) this very smooth β_{gr}-deformation provides *dynamical* photoacceleration $F_{gr} \approx \beta_{gr}MC^2/L_o = \beta_{gr}h\nu/L_o$ of this quanta under an outside gravity field.

Where is the Goldstone boson from? If we look attentively into the structure of the coupled e-/e+ quantum attractor (Fig. 3.3), we note that its strictly reciprocal coaxial state looses its confining frames (Fig. 3.1; 3.2) – the middle membrane becomes flat. Thus, a potential energy $U(\Delta r)$, coupling these interacting e-/e+ attractors, has its unstable equilibrium state at $\Delta r = 0$ and looks exactly like common „hat-like" potential for the Goldstone boson ⌣⌒⌣. It means that the two coupled coaxial e-/e+ attractors could jump off into a kind of stable equilibrium asymmetric (degenerate) state, $U(\Delta r_o \neq 0) = U_{min}$. This hidden radius is approximately the $\Delta r_o = 2R_{omu}$ (Fig. 4,1; 4,2). This asymmetry allows all possible $\Delta\mathbf{r_o}$ orientations of this slightly quasi-polarizating coupled pair. This degree of freedom has common QED-association with the massless Goldstone boson and the Goldstone mode. This spatial asymmetry $\Delta\mathbf{r_o}$ will have random distribution in the flat e-/e+ quantum vacuum, filled by the coupled e-/e+ pairs. If a free electron and deviation $u(r) \sim k/r$ arise, the previous zero random vacuum polarization $\Delta\mathbf{r_o}$ will get corresponding radial order proportional to the $\mathbf{g}(r)$, i. e, $\Delta\mathbf{r_o} \sim k/r^2$ and we derive the same E_{el}/E_{gr} calculation, $E_{el}/E_{gr} \approx 4\times10^{42}$, see above. If this Goldstone boson arises in the

muonic vacuum with $C_{\perp} \neq 0$, it will become mass, – the Goldstone's potential „hat" will be turned!

The further direct examination of the above proposed ±M-symmetry. Only now *the first direct experimental examination of presented physical concept arises*, connected with the *neutral anti-hydrogen* atoms studies, provided recently in *CERN* (*ATHENA*-research group of *R. Landua*), where enough cold *neutral antimatter* is created.

Cosmology with the ±M baryonic symmetry

The Global ±M-Neutral Cosmological Symmetry Paradigm. This paradigm (Gribov 1999, 2003; Ripalda 2001) provides a solution for the most fundamental cosmological problems (the *Horizon Problem*, the *Flatness Problem*, the *Repulsive Dark Energy Problem*, the *Accelerating Expansion Problem*; the large-scale *Foam-like Structure Problem*). We suppose the large-scale baryon-antibaryons matter *symmetry*, i.e. $\sum(+M_{bar.}-M_{antibar.}) = \sum M_{Universe} = 0$. These fundamental symmetry is crucial not only for the elementary particle physics, including the Standard Model, they become crucial for understanding the ±M-neutral (on the large-scale) universe.

The Horizon Problem. The mixture of the ±M baryonic matter creates the large-scale *repulsive potential*, common, e.g., in the electrically neutral liquids with positive and negative ions (see Ripalda 2001). This negative pressure was much higher in the early more dense earlier universe, providing a very high expansion rate $R(t) \rightarrow t^n$ (n>1).

The Accelerating Expansion Problem. The repulsive +/-M gravity potential – the negative pressure – explains the resent observations data of the accelerating universe expansion. But this acceleration is impossible from the point of view of the common asymmetrical +M physics, if not proposed some unknown repulsive material agent (Caldwell et al. 1998).

The Flatness Problems is easy explained by the zero baryonic mass $\sum M_{Universe} = 0$ of the universe. The –M baryonic matter must build exactly the 1/2 of all visible galaxies clusters, distributed in the universe but we cannot distinguish the +M or -M galaxy clusters, using observational radiation, while photons and are the same for the +M and -M radiating matter!

The „Bubbles Structure" Problem. For recent observations of the very large-scale universe structure consisting of giant and surprisingly empty „foam bubbles" „no exhaustive and fully consistent theory has been found". (Ca-

pozziello et al. 2004). But the +/-M repulsive expansion (Ripalda 2001) will create plenty of „local" empty bubbles. It is simply energetically profitable to devastate local cosmic areas being initially homogenously filled by the ±M matter.

Parallel Universes – Hyperinternet. Thus, it is quite possible that we live on the „single 3D-page of a giant hypersymmetric hyper-book", live between parallel ±universes, physically similar to each other, glued together and pakked very densely with density $N_L = 1/L_o \approx 10^{10}$ universes/cm) (Gribov 1999, 2003). We could have very near (e.g., around $R = x^2+y^2+z^2+L^2 < 3\times10^{10}$cm, ΔT_{comm} = 1sec) intelligent „brothers" somewhere within neighboring $N = 10^{20}$(!) similar parallel universes and can possibly become members of their hyperinternet system.

Cosmological résumé. Our concept finds the cosmological confirmation in the *large-scale phenomenology* – the ±M-neutral cosmic matter providing the „impossible" Accelerating Repulsive Energy, Flatness and Bubble universe Structure.

Acknowledgment. Author thanks a lot Vladimir Koslowskij, for his very long friendly interest and many fruitful discussions on the subject, David Ritz Finkelstein and Grigorij Volovik for supporting books about „quantum relativity" and „quantum ether", my thanks to Hagen Kleinert and Constantine Glaum for useful critics and David Brown for preparing this English text.

References

Born, M. 1926. Quantenmechanik der Stoßvorgänge. Zeitschrift für Physik, 38, 803.

de Broglie, L. 1924. Theses. Paris. Masson et Cie.

Caldwell, R. R., Dave, R., Steinhardt, P. J. 1998. Cosmological Imprint of an Energy Component with General Equation of State. Physical Review Letters, 80/8, 1582–1585.

Capozziello, S. Funaro, M. Stornatolo, C. 2004. Cosmological black holes as seeds of voids in the galaxy distribution. A&A 420, 847–851 2004.

Coleman, S. 1993. Diskussionen über den Anfang des Universums. In: R. Breuer, ed. Immer Ärger mit dem Urknall. Rowohlt. Hamburg.

Dirac, P.A.M. 1930. Proc. Cambr. Phil. Soc. 26, 376.

Einstein, A. 1905. Elektrodynamik bewegter Körper. Ann. d. Phys. 17, 891–921.

Einstein, A. 1920. Ether and the theory of relativity. May 5th, University of Leiden.

Einstein, A. 1942. Letter to M. Besso; August 1942 // EB.-p.336.

Feynman R.P., Leighton R B., Sands M. 1966. The Feynman lectures on physics, v. 2.5, 2.6. Electricity and magnetism. MIR, Moscow.

Finkelstein, D. R. (1996). Quantum Relativity. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.

Fock, V. 1926. Über die invariante Form der Wellen- und der Bewegungsgleichungen für einen geladenen Massenpunkt. Zeitschr. f. Phys. 39, 226.

Gribov I. 2003. The photostring universe and antigravity of the antiparticle. In: Abhandlungen der WIGB, Hrsg. V. Mairanovski, Berlin, v. 3. 37–46.

Gribov, I. 1999. About the nature of wave function in quantum mechanics. In: Abhandlungen der WIGB, Hrsg. V. Mairanovski, Berlin, v. 2. 15–28.

Hargittai, M. Hargittai, I. 2004. Candid science IV. Conversations with famous physicist. Imperial College Press. London.

Hu B. L. 1996. General relativity as geometro-hydrodynamics', Expanded version of an invited talk at 2nd International Sakharov Conference on Physics. Moscow 20–23 May 1996.

Isham, C.J. (1993). Prime face questions in quantum gravity. Imperial /TP/93-944/1. London.

Kaluza, T. 1921. Sitzungsberichte. d. Preuss. Akad., p. 966.

Klein, O. 1926. Quantentheorie und 5-dimensionale Relativitätstheorie. Zeitschr. f. Phys. 37, 895.

Laughlin R. B., Pines D. 2000. ‚The Theory of Everything', Proc. Natl Acad. Sci. 97. 28–31.

Padmanabhan T. 1998. Conceptual issues in combining general relativity and quantum theory hep- th/9812018.

Planck, M. 1900. Verh. Deutsch. Phys. Ges. Bd. 2, 202–237.

Ripalda, J.M. 2001.On the possibility of repulsive gravitational interaction between matter and antimatter. arXiv:gr-qc/9906012, (2001) v. 7.

Rumer, J. B. 1956. Investigations in 5-optics. Moscow.

Zee A. 2003. Quantum field theory in a nutshell. Princeton Uni. Press. Princeton, Oxford.

Volovik G. E. (2003). The universe in a helium droplet. Clarendon press. Oxford univ. press.

Witten, E. 2003. The past and future of string theory. In: The future of theoretical physics and cosmology. Eds. G.W. Gibbons, E.P.S. Shellard, S.J. Rankin. Cambridge Uni. Press.

Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät *78/79(2005), 209–214*

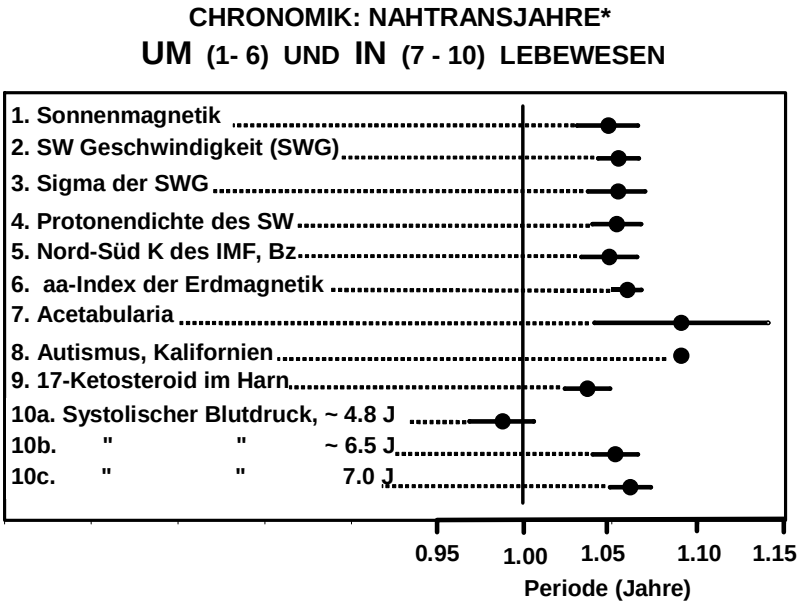
Franz Halberg, Germaine Cornelissen, Hans W. Wendt, Othild Schwartzkopff, Sigrid Berger und Hans-Georg Schweiger

Erweiterung transdisziplinärer photisch-nichtphotischer Spektren. Sich gegenseitig stützende Nah- und/oder Ferntransjahre in Sonnenmagnetik, Sonnenwind, Interplanetarmagnetik, Erdmagnetik und Biologie. Drei Magnetozyklizitäten im Autismus (Zusammenfassung)[1]

In den über 40 Jahre umfassenden Registrierungen der Geschwindigkeitsänderungen der Partikel, die an Satelliten vorbei strömen und als ein angeblich von der Sonne ausgestoßener Sonnenwind (SW) betrachtet werden (und zwar im Sigma dieser Änderungen und in der Protonendichte des SW), haben wir eine Spektralkomponente mit einer mittleren Periode τ von circa 1,053 Jahren gefunden. Ihr nach Marquardt konservativ berechnetes VI (95%iges Vertrauensintervall) liegt zwischen 1,045 und 1,062 Jahren, vgl. Abb. 1. Eine ähnliche Zyklizität zeigt sich im Magnetismus der Sonne selbst in den letzten 29 Jahren mit einem τ von 1,048 Jahren (VI zwischen 1,030 und 1,056 Jahren). Auch in den ersten 131 Jahren der Datei des antipodalen (in entgegengesetzten Orten der nördlichen und südlichen Hemisphäre gemessenen) geomagnetischen Indexes aa sowie in den Zeitreihen einer Variablen eines Einzellers und eines Mannes und in der Epidemiologie finden sich solche bisher nicht erkannten „Jahre“, wobei deren zeitvariable Kennzeichen einschließlich τ sehr schwanken, wie man sieht, wenn man ein globales Spektrum der längsten jeweils verfügbaren Zeitreihe mit einem gleitenden Spektrum ergänzt. Diese Spektralkomponente wird von den Physikern in den Arbeiten über den SW und den Sonnendynamo in der uns verfügbaren Literatur ([1]–[3]) nicht erwähnt (und wurde auch in den Wolfschen Sonnenfleckenrelativzahlen und in der Helioseismologie bisher weder von uns noch anderen gefunden). Sie hat eine τ, die sehr nahe, jedoch jenseits (trans) der genauen Länge eines Kalenderjahres liegt, deshalb als „Transjahr“ bezeichnet wird. Sie ist signifikant

1 Ein ausführlicher Beitrag des Autors zu dieser Thematik erscheint demnächst in den Abhandlungen der Leibniz-Sozietät.

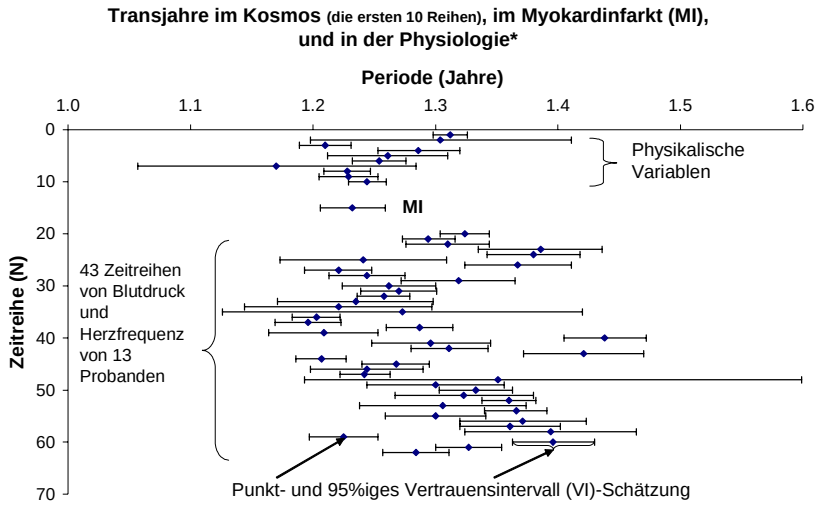
verschieden, zumindest ordnungsstatistisch, von der von uns in der gleichen SW-Zeitreihe berechneten τ von 1,31 Jahren (VI: 1,29–1,32 Jahre). Sie unterscheidet sich auch in den biologischen Zeitreihen ([4], [5]) vom dort gefundenen 1,3-Jahr, das in der Länge den früheren Entdeckungen der Physiker in kürzeren Reihen im SW und am Sonnenäquator (ohne VI) ([1]–[3]) voll entspricht.



***als separate Komponenten (aber wahrscheinlich nicht als ein Seitenlappen der circannualen Variation, der auf eine Amplituden- oder Phasen-Modulation durch eine niederfrequentere, nicht gezeigte Zyklizität hinweisen würde).**
1 aus National Oceanic and Atmospheric Administration (www.noaa.gov), May 10, 1975 - April 30, 2002; 2- 4 = SW = Sonnenwind; 2- 5 aus der Omni-2 Serie berechnet (1963-2003); 3 - Standard-Abweichung des SW; 5 = Bz = Nord-Süd Komponente des interplanetären Magnetfeldes (IMF); 6 = 131 Jahre (1868-1998); 7 = Sauerstoffevolution (1980-1994); 8 = Vorkommen, 10.5 Jahre (1994-2004); 9 = Ausscheidung von Steroid-Metaboliten während 15 Jahren (CH, October 25 1948 - October 22 1963); 10a = halbstündige Messungen von März 31, 1998; Mann (GSK), 72 Jahre alt am Anfang der Messungen; 10b - gleiche Zeitreihe, verlängert bis December 10, 2004; 10c - verlängert bis April 1, 2005 (ein zunächst fehlendes Transjahr kommt mit der Länge der Zeitreihe und/oder dem Alter zum Vorschein).
Kreis = Periodenlänge (Punktschätzung); durch den Kreis gezogene horizontale Linie = 95%iges Vertrauensintervall (VI) einer prominenten Spektralkomponente; unterbrochene Linie: VI einer nicht-prominenten Spektralkomponente.

Abb. 1

In biologischen Zeitreihen auf verschiedenen Ebenen der Organisation und auch in der rein physikalischen Omni-2-Datei, die von Satelliten gesammelte Daten kombiniert und Bodenbeobachtungen im Zeitraum von 1962 bis 2004 enthält, lassen sich Zyklizitäten von „Transjahren“ mit mittleren Perioden τ, die mit ihren VI zwischen 1,0 und 2,0 Jahren liegen und diese Grenzen nicht überschreiten, finden. Dabei lassen sich Nahtransjahresperioden, kurz „Nahtransjahre“, mit $\tau > 1{,}0$ Jahr, aber VI < 1,2 Jahre (Abb. 1) von Ferntransjahresperioden, oder kurz „Ferntransjahre“, mit $\tau > 1{,}2$ Jahr, aber VI < 2,0 Jahre (Abb. 2) unterscheiden, wobei aber das VI des Ferntransjahres 1,20 Jahre überlappen kann.



*** Alle unterscheiden sich durch sich nicht-überdeckende 95%ige VIe vom genauen Kalenderjahr und viele von einander; Letzteres ist ein Hinweis auf Endogenizität.**

Abb. 2

„Nah-“ und „Ferntransjahre“ finden sich transdisziplinär in Reihen verschiedenartiger Variablen mit einer Amplitude A, deren VI den Null-Wert für A (keine Zyklizität) nicht erreicht. Sowohl ein „Nahtransjahr“ als auch „Ferntransjahre“ wurden nichtlinear bestimmt, also konservativer als nur linear, in einer 15-jährigen Zeitreihe der täglichen 17-Ketosteroidausscheidung im menschlichen Harn (mit Lücken) und in der in einem anderen Zeitintervall über 14 Jahre belegten Sauerstoffproduktion einer einzelligen Riesenalge, *Acetabularia acetabulum*. Wenn die τ nur linear bestimmt ist, bedarf es zusätzlicher Belege zur Aufnahme von „Nahtransjahren“ als eine spezielle Ka-

tegorie von „Transjahren“ in eine erste provisorische Kartographie. Dies gilt für begrenzte Daten über den Autismus in Kalifornien. Da ist die Nahtransjahrperiode nur linear zu belegen und somit versagt die nichtlineare Berechnung eines VI. Dies wird in der Abb. 1 durch einen leeren Kreis ohne die dem VI entsprechende horizontale Linie gezeigt. Im Autismus lassen sich aber noch zusätzlich sowohl eine Halbjahres- als auch eine circa 21-Jahre-Spektralkomponente nachweisen. Deswegen ist der Autismus in die Abb. 1 mit Vorbehalt aufgenommen worden.

Photisch-nichtphotische Spektren enthalten transdisziplinär Komponenten mit einer Länge, die sowohl den gesehenen (und gefühlten) photischen Tages- und Jahresgängen als auch einer Reihe von ungesehenen (die Aurora ausgenommen) Magnetozyklizitäten entsprechen [4]. Diese Spektren bestehen aus einer Fülle reziproker Perioden, die sowohl die Umwelt als auch die Lebewesen kennzeichnen. Diese sehr schwankenden Zyklizitäten stützen sich gegenseitig. Die somit erheblich erweiterten Spektren können als Ganzes sowohl zur Physik als auch zur Physiologie und Pathologie von Individuen, Gesellschaften und Ökosystemen und darüber weit hinaus zur Ethik (die Kriegsführung mit inbegriffen) transdisziplinär beitragen. Die folgende Tabelle zeigt im Bereich der Jahresperiode, was auch für circadiane Rhythmen statistisch signifikant belegt ist: daß verschiedene biologische Zeitmessungen gleichzeitig im gleichen Individuum oder in der gleichen Bevölkerung nebeneinander laufen können – eine andere Relativität der Zeit, die aber auch, wie die Korrektur der Uhren auf Satelliten bei einer globalen Positionsbestimmung, in Betracht gezogen werden sollte. Zusätzlich zu einer geophysikalischen ist auch eine Bestimmung der ethischen Haltung anhand von Zyklizitäten in Verbrechen versus Wohltaten und anderen quantitativ erfaßten Bestimmungen von Gut und Böse (wegen einer Diskussion siehe [7]) einer wissenschaftlichen Analyse zuzuführen.

Ort (Zahl der Daten, der Fälle)	Lineare Analyse		Nichtlineare Analyse	
	T	P	T (VI)	A (VI)
Plötzlicher Herztod				
Minnesota (MN) (1826/343)	FT	0.014	1.39(1.17,1.61)	0.04(0.00,0.09)
Arkansas (AR) (1826/273)	FT	0.043	1.68(1.29,2.08)**	0.03(0.00,0.07)
	J	0.045	1.095(0.935,1.255)***	0.03(0.00,0.07)
Tschechien (1826/1006)	J	0.007	0.974(0.856,1.091)	0.08(0.00,0.16)

	FT	0.010	1.759(1.408,2.110)***	0.08(0.00,0.15)
-------"-------- (3652/1792)	FT	<0.001	1.726(1.605,1.848)	0.074(0.02,0.13)
	J	0.010	1.000(0.944,1.056)	0.052(0.00,0.10)
South Carolina (SC) (1826/752)	J	0.007	0.929(0.834,1.023)	0.069(0.00,0.14)
Tbilisi, Rep. Georgien (1505/130)	J	0.007	0.988(0.862,1.114)	0.035(0.00,0.07)
Litauen —	J	—	—	—
Lettland —	J	—	—	—
Myokardinfarkt				
Tschechien (1826/52598)	J	<0.001	1.014(0.989,1.038)	2.85(2.22,3.48)
	FT	<0.001	1.354(1.252,1.456)	1.35(0.69,2.02)
-------"-------- (3652/115520)	J	<0.001	0.998(0.988,1.009)	3.03(2.47,3.60)
	FT	<0.001	1.453(1.417,1.489)	1.91(1.34,2.49)
	NT	<0.001	1.15(1.116,1.184)	1.23(0.64,1.82)
SW (1826/NZ), Geschwindigkeit	FT	<0.001	1.70(1.60,1.80)	31.95(22.13,41.76)
EM (1826/NZ), Kp	FT	<0.001	1.67(1.51,1.83)	0.23(0.11,0.35)

*Definiert im Sinne der 10. Revision der internationalen Klassifikation von Krankheiten, ICD 10, Code 146.1, für Bewohner in MN und AR, unter Ausschluss von durch Lungenembolie und Lungenkrebs verursachten PHT. NZ: nicht zuständig; Kp: Planetarischer erdmagnetischer Index; T: Periode (in Jahren); (P: P-Wert vom Null-A, d.h. „kein Rhythmus"-Test); A: Amplitude (in der Durchschnittszahl/Tag für PHT und MI bzw. in km/s für die Geschwindigkeit des SW; in arbiträr festgesetzten Einheiten für Kp); VI: 95%iges Vertrauensintervall, wenn die T anhand von früheren Belegen in gewisse weite Spektralregionen zwischen 1.0 und 1.2 bzw zwischen 1,2 und 2,0 Jahren.
** Diese geographisch unterschiedlichen Befunde einer nicht-linearen und somit nach Marquardt konservativen Analyse an den wenigen verfügbaren verhältnismäßig sehr kurzen Zeitreihen sollten an viel größeren Proben weltweit geprüft werden.
***Vielleicht übersteigt nur wegen der relativen Kürze der Zeitreihe hier das VI der T die genaue 2- bzw. 1-Jahrlänge.

Tab. 1: Geographische Unterschiede im Spektrum des plötzlichen menschlichen Herztodes (PHT) und des Myokardinfarktes (MI) in 3 nordamerikanischen Staaten (1999–2003). „Ferntransjahre" in Arkansas, aber nicht in Minnesota, entsprechen numerisch der Länge von gleichzeitig registrierten (einem 1,70 und 1,67 Jahr) im Sonnenwind (SW) und in der Erdmagnetik (EM), unterscheiden sich aber durch das Vorkommen im Spektrum nur eines „Ferntransjahres" (in Minnesota) oder auch von einer Kalendarjahr-Komponente (in Arkansas), die sich in einer längeren Reihe als ein „Nahtransjahr" entpuppen könnte**. Unterschiede sind in der Periode (T) und Amplitude sowohl als Funktion der Geographie als auch der Krankheit (PHT vs. MI) ersichtlich.*

Literatur

[1] Richardson J.D., Paularena K.I., Belcher J.W., Lazarus A.J.: Solar wind oscillations with a 1.3-year period. Geophys. Res. Lett. 1994; 21: 1559–1560

[2] Mursula K., Zieger B.: The 1.3-year variation in solar wind speed and geomagnetic activity. Adv. Space Res. 2000; 25: 1939–1942

[3] Howe R., Christensen-Dalsgaard J., Hill F., Komm R.W., Larsen R.M., Schou J., Thompson M.J., Toomre J.: Dynamic variations at the base of the solar convection zone. Science 2000; 287 (5462): 2456–2460

[4] Halberg F., Cornélissen G., Stoynev A., Ikonomov O., Katinas G., Sampson M., Wang Z.R., Wan C.M., Singh R.B., Otsuka K., Sothern R.B., Sothern S.B., Sothern M.I., Syutkina E.V., Masalov A., Perfetto F., Tarquini R., Maggioni C., Kumagai Y., Siegelova J., Fiser B., Homolka P., Dusek J., Uezono K., Watanabe Y., Wu J.Y., Sonkowsky R., Schwartzkopff O., Hellbrügge T., Spector N.H., Baciu I., Hriscu M., Bakken E.: Season's Appreciations 2002 and 2003. Imaging in time: The transyear (longer-than-the-calendar year) and the half-year. Neuroendocrinol. Lett. 2003; 24: 421–440

[5] Cornélissen G., Masalov A., Halberg F., Richardson J.D., Katinas G.S., Sothern R.B., Watanabe Y., Syutkina E.V., Wendt H.W., Bakken E.E., Romanov Y.: Multiple resonances among time structures, chronomes, around and in us. Is an about 1.3-year periodicity in solar wind built into the human cardiovascular chronome? Human Physiology 2004; 30 (2): 86–92

[6] Halberg F., Cornélissen G., Katinas G., Syutkina E.V., Sothern R.B., Zaslavskaya R., Halberg F., Watanabe Y., Schwartzkopff O., Otsuka K., Tarquini R., Perfetto P., Siegelova J.: Transdisciplinary unifying implications of circadian findings in the 1950s. J Circadian Rhythms 2003; 1: 2. 61 pp. www.JCircadianRhythms.com/content/pdf/1740–3391/1/2.pdf

[7] Poskozim P.: Do Adam and Eve really matter? The Scientist 2000; 14 (8): 6; Science and religion: two views. The Scientist 1999; 14 (24): 18. (Responses to Bunk S. Is science religious? The Scientist 1999; 13 [22]: 10–11.)

Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät *78/79(2005), 215–220*

Werner Holzmüller

Dualismus und Komplementarität im Weltgeschehen

Um die folgenden Ausführungen widerspruchsfrei zu verstehen, ist es wichtig, die Begriffe Dualismus und Komplementarität eindeutig festzulegen und die Verknüpfung von zwei Größen durch Ursache, Identität und Erwartung zu erläutern. Auf falsch verstandenem Begriffsumfang beruhen viele überflüssigen Streitgespräche und Vorurteile.

Dual hat dabei den weitesten Begriffsumfang und sagt aus: Zwei Dinge oder Erscheinungen sind durch Anwendung, Bedeutung, Entstehung oder Gleichheit der Wirkungen miteinander verknüpft: So sind Partitur und Sinfonie, Blitz und Donner, Ribonukleinsäure und Proteine zueinander dual. Dabei sind in den Naturwissenschaften unterschiedlich gebrauchte Worte üblich, die alle hier einzuordnen sind.

Man spricht von Korrelation und versteht darunter den kausal ermittelten gesetzmäßigen Zusammenhang von einander bedingenden Zufallsgrößen. Abergläubige Menschen beharren auf solchen Zuordnungen, obwohl der formelmäßig und durch viele Beobachtungen festgestellte Korrelationskoeffizient hier den Wert 0 besitzt. Das gilt z.B. von einem Wetterwechsel bei Änderung der Mondphasen, oder dem Schicksal in Abhängigkeit von der Stellung der Planeten bei der Geburt eines Menschen.

Auch das Wort: Reziprok ($a = 1/b$; a und b sind reziprok) hat in der Physik unterschiedlichen Bedeutungsumfang, z.B. in der Thermodynamik (Onsager). So ist die Wärmeleitfähigkeit eines Stoffes unabhängig von einer bestehenden Magnetisierung. Onsager spricht auch von Reziprozität in der Elastizitätslehre bei Vertauschung äußerer Einwirkungen. Reziprok im Sinne von vertauschbar sind aber auch Abbildung und Gegenstand in der Optik, oder Empfangs- und Sendeantennen in der Nachrichtentechnik oder Spaltgröße und Abstand der Beugungsbilder usw. Bohr wollte ursprünglich für die Zuordnung von Welle und Korpuskel beim Licht das Wort reziprok verwenden.

Der Begriffsumfang von komplementär ist kleiner. Ursprünglich bedeutete das Wort „Komplementarität“ sich zum Ganzen vereinigend. Grün und Rot vereinigen sich zu Weiß. Bohr erweiterte den Begriff auf identisch gleiche

Größen, die aber in unserer Beobachtungswelt ein unterschiedliches Erscheinungsbild aufweisen.

So wird Licht als Welle und Korpuskel beobachtet. Compton- und Photoeffekt beweisen den Charakter des Lichtes als Teilchen, ebenfalls die Ablenkung der Photonen in der Nähe von Sternen (Allgemeine Relativitätstheorie). Gegensätzlich hierzu beweisen Beugung und Interferenz eindeutig den Charakter des Lichtes als Welle. De Broglie konnte zeigen, daß bewegte Teilchen komplementär zu deren beobachtbarem Wellenfeld sind. Darauf beruht die für Oberflächenuntersuchungen wichtige Elektronenbeugung. Aber auch Elektron und die dessen Feld zugeordnete Energie sind komplementär.

Die genannten Deutungen schließen sich jeweils wechselseitig aus. Auf dieser Ausschließbarkeit beruht die in der theoretischen Physik jetzt verwendete Anwendung des Komplementaritätsbegriffes. So ist die gleichzeitige genaue Beobachtung von Ort und Impuls eines Teilchens unmöglich. Die Heisenbergsche Ungenauigkeitsrelation verlangt, daß kanonisch einander zugeordnete Größen, z.B. Ort und Impuls oder Energie und Zeit, eine durch das Plancksche Wirkungsquantum h gegebene Ungenauigkeit aufweisen. Darauf beziehen sich auch die Arbeiten von Buchheim über Komplementarität.

Im Buch von Holzmüller „Hat Einstein recht?“ wird gezeigt, daß die Gravitationsenergie des Kosmos 10^{69} Joule beträgt. Die mit c^2 multiplizierte Gesamtmasse von 10^{52} kg aller Sterne ergibt ebenfalls 10^{69} Joule. Also sind Masse und Gravitation ebenfalls komplementär. Das ist eine weitere Bestätigung der Aussage Einsteins: Träge und schwere Masse sind gleich. Gleichberechtigt dazu ist: Träge und schwere Masse sind zueinander komplementär.

Bisher beruhen die Kenntnisse über Sterne auf deren Ausstrahlung elektromagnetischer Wellen, (Radiosterne, Röntgensterne und leuchtende Objekte). Nach Ausmessung der von ihnen verursachten örtlichen Schwankung des kosmischen Gravitationsfeldes wird man vielleicht die Lage von Kaltsternen, Neutronensternen und schwarzen Löchern in die Sternkarten einzeichnen können.

Der Begriff „komplementär“ ist nur auf identisch gleiche Objekte, aber auch im Sinne von Bohr auf kanonisch zugeordnetes, sich wechselseitig ausschließendes Verhalten anzuwenden.

Die zeitliche und begriffliche Zuordnung von dual miteinander verknüpften Größen

Alle beobachtbaren und meßbaren Geschehnisse der unserer Forschung zugänglichen Welt sind kausal bedingt. Immer fragt man nach der Ursache. Bei

gleichen Vorbedingungen werden stets die gleichen meßbaren Veränderungen erzielt. Ohne Kausalität gäbe es keine Naturwissenschaft und keine Naturgesetze. Der Begriff: Kausalität ist vergangenheitsbezogen. Das gilt für alle stofflichen, räumlichen, zeit- und temperaturabhängigen sowie elektromagnetischen Erscheinungen. Das Kausalgesetz umfaßt alles Geschehen der makroskopischen Welt. Im atomaren Geschehen gibt es scheinbare und wirkliche Abweichungen. Es gibt keine Begründung, warum ein Radiumatom jetzt, das benachbarte aber erst nach 700 Jahren zerfällt. Ersetzt man aber unser, zur Zeit bevorzugtes Teilchen-Denken durch Ausdehnung unserer Aussagen auf Teilchenkollektive, so bestätigt die Aussage „Von einem kg Radium zerfällt die Hälfte in 1580 Jahren" ebenfalls das Kausalgesetz. Viel diskutiert werden Abweichungen von der Kausalität beruhend auf der Heisenbergschen Ungenauigkeitsrelation.

Völlig gleichwertig mit „kausal" ist „determiniert". Gleiche Voraussetzungen bedingen gleiche Folgen. Der Begriff „determiniert" ist zukunftsbezogen. Im mechanischen Materialismus sind alle Lebensvorgänge und Erscheinungen determiniert. Die Lage der Atome, deren wechselseitige Zuordnung und Bewegung soll alle zukünftigen Handlungen und Lebensvorgänge in der Welt bedingen. Diese auf Laplace zurückgehende Auffassung führt zum Fatalismus des Islam und einer Vorausbestimmbarkeit alles zukünftigen Geschehens.

Die Naturgesetze bestimmen das wechselseitige Verhalten der dual einander zugeordneten Größen. Das kann in reversibler (vollständig zurückführbarer) Form oder in zeitlich richtungsbezogener (irreversibler) Weise geschehen. So sind alle Energieformen E und über das Einstein-Gesetz $E = mc^2$ auch die Masse m dual miteinander verbunden. So wird z.B. die kinetische Energie eines Pendels in die Gravitationsenergie des Erdfeldes und reversibel

dazu wieder in kinetische Energie gewandelt. Dabei bestimmt die Stärke des Gravitationsfeldes den Zeitverlauf des Geschehens. Ebenso richtet ein elektrisches Feld ein polares Molekül in Feldrichtung aus. Das kann als Trägheitseffekt sehr schnell geschehen oder im Falle der Behinderung durch andere Moleküle erst beim Vorliegen kräftiger Wärmestöße erfolgen. Elektrische Feldstärke und Polarisation sind dual miteinander verbunden.

Reversible Vorgänge erlauben in Anlehnung an die Aussagen der Relativitätstheorie eine Spiegelung an der Gegenwartsebene. Irreversible, das heißt zeitlich richtungsbezogene Zustandsänderungen gehorchen nicht der Lorentz-Transformation. So kann die beobachtete Rotverschiebung der Spektral-

linien entfernter Sterne als irreversibler Übergang der Photonenenergie hν an das kosmische Gravitationsfeld in Bestätigung der Allgemeinen Relativitätstheorie gedeutet werden und die Vorstellung einer expandierenden Welt verneinen. Auch dieser mit Notwendigkeit erfolgende Übergang der Energie hν der Photonen in das kosmische Gravitationsfeld ist eine zeitlich einseitig gerichtete duale Zuordnung.

Duale Verknüpfung der einer naturwissenschaftlichen Forschung zugänglichen materiellen Welt mit einer das Leben beherrschenden übergeordneten geistigen Welt

Alle Lebensvorgänge sind mit materiellen Trägern verknüpft. Diese gehorchen den Naturgesetzen uneingeschränkt. Bildung und Wirksamkeit dissipativer Systeme, Energietransfer, Selbstreproduktion und Evolution sind entscheidend. Dabei befinden sich die das Leben beherrschenden dissipativen Systeme in labilen, weit vom thermodynamischen Gleichgewicht entfernten Zuständen, wobei die Zufuhr freier Energie und Abgabe von Entropie an die Umwelt entscheidend ist. Die Zufuhr freier Energie erfolgt bei den grünen Pflanzen durch Umwandlung der Strahlungsenergie der Sonne (Photosynthese) in organische Substanzen, bei allen anderen Lebewesen durch isotherme Verbrennung organischer Stoffe, bei Kleinlebewesen zuweilen unter Ausnutzung möglicher anorganischer Energielieferanten, z.B. der Schwefelbakterien. Darüber hinaus können Lebewesen Sonnenenergie über ihre Lebenszeit hinaus z.B. als Fossilien speichern. Die abgegebene Entropie ist durch Wärmeverlust an die Umgebung, Reibungswärme, Stoffumwandlungen usw. thermodynamisch begründet.

Das wichtigste Kennzeichen des Lebens ist jedoch: Die Einleitung, Durchführung von Prozessen und Speicherung von Fakten ist nicht durch das für das Naturgeschehen der anorganischen Welt maßgebende Kausalitätsgesetz bedingt. Zwischen den materiellen Trägern und dem einer „geistigen Welt“ zuzuordnenden Getragenem (Völz, von Weizsäcker) besteht Dualität und Akausalität. Die folgende Tabelle nennt einige hier bestehende duale Verknüpfungen:

Träger (Naturwissenschaften)	*Getragenes* (Geisteswissenschaften)	*Dauer des Bestandes*
Muskeln, Organe, Gehirn	Lebensprozesse (Energieversorgung, organische kreisläufe)	Lebensdauer Lebensdauer
Gehirn	Bewußtsein, Gedächtnis	Lebensdauer Lebensdauer, evtl. Vergessen schon vorher
	Logische Verknüpfungen, Denken	
Auge, Ohr, Nase, Tastorgane	Informationen aus der Umwelt	
Stammzellen	alle organischen Erbinformationen (biologischer Erbschatz) Instinkt	(Übergang an Folgegenerationen)

Als weitere Beispiele werden einige unser Leben mitbestimmenden dualen Verknüpfungen einer anorganischen Welt, den Trägern und einer geistigen Welt, dem Getragenen, genannt

Buchstabe, Wort	Begriff
Buch, Schriftstück	Roman, Gedicht, Gesetz
Musikinstrument	Sonate, Lied
Partitur	Sinfonie
Diskette, Kassette	beliebige Informationen

Die das Leben bestimmenden und erhaltenden Tätigkeiten werden willkürlich, aber auch unabhängig vom Bewußtsein (Herzschlag, Atmung, Verdauung) vom Gehirn ausgelöst. Alle Lebewesen besitzen im Rahmen ihres Lebensraumes und unter strengster Einhaltung der Naturgesetze Willensfreiheit. Ein Hase kann die Flucht ergreifen, wenn er einen Fuchs bemerkt. Der Bereich der menschlichen Willensfreiheit ist ungleich größer. Unser Handeln ist nicht vorbestimmt. Wir lösen aber durch unsere Tätigkeit Kausalketten aus. Alle Folgeprozesse erfüllen die naturgesetzliche Kausalität. Diese ist zu

unterscheiden von den an sich willkürlichen Handlungen der Lebewesen, die durch äußere Umstände begründet sind.

Gegenstand unserer naturwissenschaftlichen Forschung ist der durch die Naturgesetze bestimmte kausale Ablauf des materiellen Geschehens. Die mit dieser materiellen Welt verbundene geistige Welt ist das Arbeitsgebiet der Geisteswissenschaften. Beide sind dual miteinander verknüpft und verlangen gegenseitige Rücksichtnahme und Bewunderung.

Literatur

[1] Werner Holzmüller: Hat Einstein recht? Versuch einer Kosmologie. Verlag im Wissenschaftszentrum Leipzig, 2000

Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät *78/79(2005), 221–227*

Werner Holzmüller

Über das Euklidische Weltbild und das der Allgemeinen Relativitätstheorie

Wir leben der Theorie nach in einer „doppelten“ Welt. Dabei handelt es sich einesteils um die Euklidische, also nach den Gesetzen unserer gewohnten Geometrie gestaltete und mit Sternen besetzte Welt in einem unbegrenzt großem Raum. Zum anderen liefern uns elektromagnetische Wellen, also Licht, Röntgenstrahlen, Radiowellen und Wärmestrahlen, Kenntnisse über einen Kosmos, der weder zeitgleich mit unserem Zeitgefühl noch räumlich mit unseren geometrischen Vorstellungen übereinstimmt. Die „Euklidische Welt“ wird bei Berücksichtigung der Laufzeit der sich „geradlinig“ ausbreitenden Wellen durch die Aussagen der Speziellen Relativitätstheorie bestätigt und führt bei Annahme eines Urknalls, begründet durch einseitige Erklärung der Rotverschiebung der Spektrallinien durch Doppler-Effekt, zu dem jetzt als richtig angenommenen „Standardmodell“. Das Einsteinsche Weltbild jedoch berücksichtigt die Krümmung der Ausbreitung der elektromagnetischen Wellen, insbesondere der des Lichtes, und führt zu einer den Riemannschen Rechnungen folgenden, auf der Gravitationswechselwirkung mit den kosmischen Objekten begründeten gekrümmten Welt. Es unterliegt der Allgemeinen Relativitätstheorie und bestätigt die von Einstein bereits 1916 vorgeschlagene endliche und ewig ohne Singularitäten bestehende statische Welt.

Die Euklidische Welt

Dieses gegenwärtig als richtig angenommene Weltmodell ordnet sich in die Vielzahl der möglichen Lösungen der Einsteinschen Feldgleichungen ein (flache, d.h. Euklidische Welt), ausgehend von einer mathematischen Singularität und einem hypothetischen Mittelpunkt des Weltgeschehens. Es wird begründet durch die Deutung der gemessenen Rotverschiebung der Spektrallinien entfernter Sterne durch Doppler-Effekt und damit verbundener Expansion der Sternenwelt. Diese scheinbar einzige Erklärungsmöglichkeit

führt zu einem „heißen“ (10^{12} K), auf kleinstem Raum konzentrierten Weltanfang. Es gibt nur Strahlungsenergie von $\geq 10^{73}$ J und keinerlei das kausale Weltgeschehen der Zukunft speichernde Informationsträger. An diesen phantastischen Weltanfang schließt sich eine alle Naturgesetze, insbesondere eine mögliche Maximalgeschwindigkeit c leugnende, inflationäre Phase an, die in wenigen Sekunden zur Bildung von Quarks, Leptonen, Hadronen usw. führen sollte. Der Beweis ist von rein mathematischer, gänzlich unanschaulicher Art, wobei Aussagen wie „angenommen, daß“ oder „wie man sieht“ oder „ohne Beweis wird vorausgesetzt, daß“ häufig auftreten. Der aus der rein hypothetischen Grundannahme einer heißen, auf engstem Raum konzentrierten Strahlungswelt angeblich bestehende Überschuß an Strahlungsquanten dient zur Deutung der durch viele Messungen bestätigten 3K-Strahlung. Der angenommene heiße Beginn des Urknallgeschehens führt zur angeblich nur so möglichen Begründung der wirklich existierenden 3K-Strahlung, wobei man dann rückwirkend auf einen weiteren „Beweis“ des Urknallgeschehens schließt. Die hier geäußerten Zweifel führten viele Forscher (Hoyle, Bondi, Schmutzer, Milne, Gödel) zu anderen Vorstellungen der Weltentwicklung.

Nicht beantwortet werden im „Standardmodell“ viele weitere Fragen: Was war vor dem „Urknall“?, Wer oder was löste diesen aus?, Wann geschah das?, Was geschieht am Ende der Expansion der Welt?, Wie entstanden die Naturgesetze?, Ist unsere Welt ein rein zufälliges Ereignis?, Woher kam die unermeßlich große Primärenergie?, Gibt es eine den Urknall überlebende Göttlichkeit, die nach der inflationären Phase die Naturgesetze und Kausalität schuf? Statt einer Antwort erhält der am Ursprung und Verlauf des Weltgeschehens Interessierte zahlreiche neue ungelöste Fragen. Vor ihm steht eine Hydra, die immer weitere Rätsel gebiert.

Die hier geschilderte Auffassung über die Weltentstehung vor etwa 10 Milliarden Jahren durch Urknall wurde zum Dogma erhoben. Wer daran zweifelt, betreibe historisch überwundene Populärphysik. Er sei ein Ketzer. Er wird zwar nicht mehr verbrannt, aber totgeschwiegen und belächelt.

Zweifellos beschreibt die Euklidische Weltanschauung die uns umgebende Welt in räumlicher und zeitlicher Hinsicht im meßbaren Bereich richtig, wenn man sich auf unsere Galaxis beschränkt und Spekulationen über einen Weltanfang vermeidet. Auch die beobachtete Abnahme der Dichte der Sternbelegung mit wachsender Entfernung von uns wird im Euklidischen (Abb. 1) und Einsteinschen Modell (Abb. 3) richtig wiedergegeben.

Das Weltbild der Allgemeinen Relativitätstheorie

Informationen über die uns umgebende Welt außerhalb unseres Sonnensystems erhielten wir bisher nur von uns erreichenden elektromagnetischen Wellen aller Wellenlängen, insbesondere dem Licht der Sterne. Erst Newton führte die zwischen den Sternen wirkende Gravitation in die Wissenschaft ein. Ausmessungen der außerirdischen Gravitationsfelder waren bisher nicht möglich. Die Struktur der Welt wird aber durch die Gravitation weitgehend bestimmt. Diese wird durch die Allgemeine Relativitätstheorie wiedergegeben und weicht von der Euklidischen Struktur ab. Ganz wesentlich sind dabei:

1. Das Licht bewegt sich auf geodätischen, also durch das kosmische Gravitationsfeld bedingten, nicht geradlinigen Bahnen im Weltall. (Die von uns in einen Euklidischen Raum übertragene Transformation des Kosmos ist falsch.) Meßbare Abweichungen betreffen jedoch erst große Entfernungen. Das Euklidische Bild der Speziellen Relativitätstheorie berücksichtigt die durch die Laufzeit der Lichtquanten eintretende Zeitverschiebung und ist innerhalb unserer Galaxis durchaus anwendbar.
2. Die mögliche Höchstgeschwindigkeit c im Weltgeschehen ist die Lichtgeschwindigkeit c.
3. Die Einsteinformel $E = mc^2$ bestimmt die Äquivalenz von Masse m und Energie E.
4. Alle Massen unterliegen der Gravitation. Auf ein Lichtquant der Masse $m = h\nu/c^2$ wirkt in einem Gravitationsfeld eine allen anderen Körpern äquivalente Gravitationskraft. Das führt zu der beobachteten Verschiebung der uns erreichenden Strahlung bei Sonnenfinsternissen und zu der gravitations-optischen Abbildung von Sternen hinter starken Gravitationsfeldern (z.B. hinter Galaxien), aber auch zu der beobachteten Änderung der Perihelbahnen.
5. Alle reversiblen Strukturänderungen, auch die elektromagnetischen, gehorchen der Lorentz-Transformation. Irreversible Prozesse erlauben keine Spiegelung an der Gegenwartsebene.

Der Beweis dieser Aussagen erfolgt durch die von Riemann gegebene und von Einstein weiter entwickelte Tensorrechnung [1], die an dieser Stelle nicht wiederholt wird.

Einstein errechnet ein sich mit der Geschwindigkeit c vom Ursprungsort ausbreitendes Gravitationsfeld. In unserem Inertialsystem kann das, dem Photon zugeordnete Gravitationsfeld das Photon selbst nicht überholen. Sein Gravitationsfeld muß gegenüber dem dieses Feld erzeugenden Photon unsymmetrisch sein und in unserem Inertialsystem etwa die Gestalt der Abb. 2

besitzen. (Im Inertialsystem des Photons selbst ist es selbstverständlich gegenüber diesem radialsymmetrisch.) (Schallwellen, die von einem mit Schallgeschwindigkeit fliegenden Flugzeug ausgehen, können diesem auch nicht vorauseilen).

Die in Abb. 2 dargestellte Unsymmetrie führt zu einem zeitlich richtungsbezogenen, also irreversiblen Energietransfer an den Vergangenheitsraum. Da die Lichtgeschwindigkeit unabhängig von der Bewegung des Beobachters c ist, kann das nur durch Frequenzverminderung, also Rotverschiebung, geschehen. Da das Gravitationsfeld niemals eine Emission von elektromagnetischer Strahlung aufweist, wird die Irreversibilität des Energietransfers an das kosmische Gravitationsfeld auch durch die Beobachtung bestätigt. (In der statischen Welt Einsteins und Hoyles wandelt sich in einem zyklischen Verlauf des Weltgeschehens die kosmische Gravitationsenergie in kinetische Energie um.) Auf den Newtonschen Aussagen aufbauend, bestätigt der aus der Einsteinschen Allgemeinen Relativitätstheorie folgende Energietransfer der Photonenenergie an das kosmische Gravitationsfeld die beobachtete Rotverschiebung und das Hubble-Gesetz. Wie in [2] und [3] ausgeführt, erhält man für eine etwa der Beobachtung entsprechende Dichte von 10^{-26} kg/m^3 im Kosmos eine vollständige irreversible Übertragung der Photonenenergie an das kosmische Gravitationsfeld für einen Lichtweg von 1,16 10^{26} m ,was einer Hubble-Konstanten von ca. 75 km/s je Megaparsec entspricht. Die bisher vorliegende Rechnung ist dem Bohrschen Korrespondenzprinzip analog und dürfte durch Anwendung der Tensorrechnung besonders im Hinblick auf die sich ausbildende Unsymmetrie und Irreversibilität noch verfeinert werden.

Überträgt man den Einsteinschen Raum der Allgemeinen Relativitätstheorie in das uns geläufige Bild, so erscheinen die Lichtstrahlen als Kreise in einer mit Steinen (Galaxien) besetzten Weltkugel von 10^{26} m Radius (Abb. 3). Nach außen zu nimmt die Dichte der Belegung mit Sternen stetig bis Null ab. Dabei ist vorauszusetzen, daß das der Welt zugeordnete Gravitationsfeld noch weit in den durch Schraffur angedeuteten Raum außerhalb des mit Sternen besetzten und beobachtbaren Kosmos reicht. Für Lebewesen in den „Randzonen“ des in unseren Beobachtungsraum übertragenen Bildes erscheinen dann Sterne S1, S2, S3 als über den ganzen Himmel gleichmäßig verteilt, so daß das kosmologische Postulat „Jeder Punkt der Welt ist gleichzeitig deren Mittelpunkt“ veranschaulicht wird. Das gilt auch für die Richtungsabhängigkeit der Gravitationskräfte.

Schlußfolgerungen

Für die beobachtete Rotverschiebung der Spektrallinien ferner Sterne gab es vor der ART Einsteins außer durch Doppler-Effekt und Weltexpansion keine Erklärungsmöglichkeit. Die Ausbreitung des Lichtes wird, wie die Optik lehrt, weitgehend von der Materie beeinflußt und geschwächt. Im absolut leeren Raum gibt es aber keine Effekte, die auf eine solche Beeinflussung hinweisen. Erst die Wechselwirkung der Photonen $h\nu/c^2$ mit den Gravitationsfeldern der Sterne zeigte eine Beeinflussung der Lichtausbreitung im leeren Raum z.B. bei Sonnenfinsternissen. Das kosmische Gravitationsfeld ist nicht konstant, sondern erreicht in Sternnähe Maximalwerte. Für die Photonen kommt jedoch die Temperaturbewegung der emittierenden Atome (bis 10^5 K in der Sonnenkorona) und die sehr große Turbulenz im Entstehungsgebiet der Sonnenstrahlung hinzu, so daß die primäre „Rotverschiebung" am Entstehungsort der Photonen durch die Gravitation der Sonne in der Doppler-Verbreiterung der Emissionslinien untergeht. Man hat bisher eine primäre Verschiebung ins Rote nur bei Sternen mit großer Gravitationswirkung gemessen. So wurde der in dieser Arbeit beschriebene Effekt an weißen Zwergen großer Dichte eindeutig nachgewiesen.

Man beschränkte sich bisher auf Doppler-Effekt und Weltexpansion als „einzig" mögliche Ursache. Das führte in mathematisch einwandfreier und nicht widerlegbarer Weise zu den, die ganze Physik in Frage stellenden Aussagen der Urknalltheorie. Wenn man in der Mathematik eine Behauptung widerlegen will, dann führt man einen Beweis durch Zurückführung auf „ad absurdum" durch. Die im Urknallgeschehen angeblich eingetretenen Verzerrungen der Physik sind ein solcher Beweis. Man muß also nach einer anderen Ursache suchen. Das leistet die ART.

Auch die zeitlich nicht umkehrbare Transformation der Lichtenergie in Gravitationsenergie ist ein Beweis für den irreversiblen Charakter des Transfers der Energie des Lichtes in die Energie des kosmischen Gravitationsfeldes. Damit gehorcht dieser Prozeß wie alle anderen zweifellos existierenden irreversiblen Zustandsänderungen nicht der Lorentz-Transformation: Keine Spiegelung an der Gegenwartsebene, also unsymmetrische Form des Gravitationsfeldes der Photonen!

Natürlich ist auch eine Verzerrung der Metrik im All als Ursache denkbar. Das ist aber eine reine Hypothese und nicht durch Beobachtungen, wie das bei der ART der Fall ist, beweisbar.

Darauf wurde in späteren Arbeiten Bezug genommen (Eddington, Treder, von Borzeszkowski, Weyl, Schmutzer). Einstein weist in einer neuen Auflage

seiner „Grundzüge der Relativitätstheorie“ darauf hin, daß für Licht als Welle keine Wechselwirkung mit dem kosmischen Gravitationsfeld besteht, daß jedoch für Licht als Teilchen ($h\nu/m^2$) durchaus ein solcher Zusammenhang anzunehmen ist. Die Leugnung der Gravitationswechselwirkung der Photonen mit dem kosmischen Gravitationsfeld steht darüber hinaus im Widerspruch zu den mit Sicherheit beobachteten Effekten der ART (z.B. Ablenkung der Lichtstrahlen durch das Gravitationsfeld der Sonne, beobachtet bei Sonnenfinsternis). In der vorliegenden Arbeit wird Licht ($h\nu/c^2$) als der Gravitation unterworfenes Teilchen im Sinne der ART betrachtet.

Einstein geht nicht auf irreversible Prozesse ein. Zeitlich richtungsbezogene (irreversible) Prozesse erlauben keine Spiegelung an der Gegenwartsebene der Relativitätstheorie: Das ist aber zweifellos auch der erörterte Energietransfer (Rotverschiebung der Spektrallinien). Auf die Existenz nichtsymmetrischer Felder weist Einstein im Anhang II seines Buches hin. Er zeigt, daß eine solche, weit über den Rahmen der ART hinausgehende Mathematik auch für die Deutung der Absurditäten eines angenommenen Urknallgeschehens notwendig ist.

Man glaubt jetzt an eine Mathematisierung des Weltgeschehens. Das ist aber kennzeichnend für die bestehende Überheblichkeit der Menschheit. Warum sollte unsere irdische Welt, die ein ungestörtes Leben und so reiche Entwicklungsmöglichkeiten bietet, nach den in unseren Gehirnen gestalteten mathematischen Denkmöglichkeiten gebildet sein? Die fortschreitende und das Leben und die Evolution erkennende Wissenschaft führt zu immer komplizierteren und auf unbewiesenen Axiomen aufgebauten Weltformeln. Einstein erkennt die Grenzen der Wissenschaft, indem er in seinem wundervollen Buch „Mein Weltbild“ [4] eine „kosmische Religion“ an das Ende der menschlichen Erkennbarkeit stellt.

Literaturhinweise:

[1] Einstein, A.: Grundzüge der Relativitätstheorie, 5. Auflage, herausgegeben von H. J. Treder, Berlin: Akademie Verlag 1969
[2] Holzmüller, W.: Hat Einstein recht? Verlag im Wissenschaftszentrum Leipzig 2000
[3] Holzmüller, W.: Energietransfer und Komplementarität im kosmischen Geschehen. Berlin, Sitzungsberichte der Leibnitz-Sozietät, Band 61, 2003
[4] Einstein, A.: Mein Weltbild. Ullsteinbuch 65, Frankfurt Main, Verlag Das Goldene Vlies, letzte Ausgabe 1955

Die im Text erwähnten Abbildungen können vom Autor bezogen werden.

Abb. 1 veranschaulicht das Weltbild des Euklidischen Kosmos. Die Lichtstrahlen reichen geradlinig auch in den „Außenraum", wo die Sterndichte 0 ist. Die Lage der nahezu punktförmig angenommenen Galaxien ist identisch mit ihrem durch den Beobachter B registrierten Ort. Der Weltradius beträgt rund 10^{26} m.

Abb. 2 veranschaulicht, daß sich ein Photon mit der Geschwindigkeit c bewegt und im Inertialsystem der Sternenwelt ein in den Vergangenheitsraum gerichtetes Gravitationsfeld erzeugt.

Abb. 3 zeigt das Weltbild der Allgemeinen Relativitätstheorie übertragen in unsere anschauliche Weltvorstellung. In dieser Einsteinschen Vorstellung bestimmen die krummlinigen Lichtstrahlen die Geometrie der Welt. Wegen der Abnahme der Intensität der Gravitation nach außen weichen diese von der Kreisform ab. Der Beobachter vermutet die beobachteten Galaxien an völlig anderer Stelle im All. Im Raum der Galaxien sind Euklidische Welt und ART nahezu identisch.

Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät *78/79(2005), 229–238*

Vladimir Kh. Kozlovskij

Begegnungen Jakob Frenkels mit Albert Einstein und der Einfluß der Relativitätstheorie auf seine Werke

Der erste bedeutende theoretische Physiker der Sowjetunion, Jakob Iljitsch Frenkel, war mit Albert Einstein seit Ende 1925 bekannt, als er eine Dienstreise nach Deutschland unternahm. Einstein war älter als Frenkel, der Altersunterschied betrug 15 Jahre (Einstein wurde am 14. März 1879 geboren, Frenkel am 10. Februar 1894). Bei der Ankunft Frenkels in Berlin war Einstein schon ein großer und berühmter Wissenschaftler. Frenkel war damals noch wenig bekannt, und der Zweck seiner Reise war, die Wissenschaftler in Deutschland mit seinen Arbeiten bekannt zu machen. Einstein unterstützte die Arbeiten, die Frenkel ihm vorlegte, das waren die Arbeiten über die Elektronentheorie der Metalle und Arbeiten auf dem Gebiet der Elektrodynamik.

Zwischen Frenkel und Einstein entstanden freundschaftliche Beziehungen. In einem Brief nach Hause schrieb Frenkel: „Heute war ich von 12 bis 2 bei Einstein. Ich stieg die Treppe in dem Hause, wo Einstein wohnt, mit einiger Aufregung hinauf. Aber diese Aufregung verschwand sofort, als ich ihn selbst erblickte. Er erwies sich als ungewöhnlich anmutiger Mensch, der in sich die Weichheit von Abram Fjodorowitsch mit der Offenheit und Aufrichtigkeit Ehrenfests vereinigte. Ich sprach mit ihm ausschließlich über Physik, wobei ich vor allem meine eigenen Überlegungen vortrug. Die Überlegungen billigte er in hohem Maße, besonders die zu meiner Theorie der Metalle, die ich im Seminar der hiesigen Universität am Mittwochabend vorlegen werde.“ [1] Im nächsten Brief schrieb Frenkel: „Meine Unterhaltung mit Einstein hatte das Ergebnis, daß er zwar nicht den Wunsch aussprach, doch die Genehmigung gab, mich unter seine Gunst zu stellen.“ [1] Jakob Frenkel wurde zum jüngeren Lieblingskollegen Einsteins; für Frenkel war Einstein sein Lieblingslehrer. V. J. Frenkel (J. Frenkels Sohn) schreibt: „J. I. Frenkel bewahrte lebenslang im Gedächtnis seine Begegnungen mit Einstein, lebenslang blieb er unter dem Zauber seiner Persönlichkeit und ent-

zückt von seiner Einfachheit und Menschlichkeit. Einsteins Bild hing über dem Schreibtisch in seinem Arbeitszimmer.“ [1]

Jakob Frenkel schrieb über Albert Einstein und die Relativitätstheorie und förderte die Verbreitung dieser Theorie in der Sowjetunion und anderen Ländern, auch in den Vereinigten Staaten, wo Frenkel lange Zeit lebte. Schon im Jahre 1923, also noch vor seiner Reise nach Deutschland, schrieb er, dem Wunsch der Öffentlichkeit folgend, die Interesse an der Relativitätstheorie äußerte, ein Buch über diesen Gegenstand [2]. So populär wie möglich, aber immer streng wissenschaftlich, stellte er die spezielle und dann auch die allgemeine Relativitätstheorie dar. Im enzyklopädischen Wörterbuch der Genossenschaft „Granat“ schrieb Frenkel einen Beitrag über Einstein, in dem er ausführlich die Ergebnisse seiner wissenschaftlichen Tätigkeit darstellte [3].

Frenkel bezeichnete Einstein als den Newton unserer Zeit, der neue Vorstellungen über Raum, Zeit und Gravitation entwickelt hat. Die Grundlage für diese Vorstellungen bildet die Tatsache, daß die Geschwindigkeit des Lichtes den gleichen Wert in allen inertialen Bezugssystemen hat und daß die Wirkungen zwischen den Körpern sich nicht momentan ausbreiten können. Daraus werden Transformationsgleichungen für die Abstände in Raum und Zeit in einem bewegten und einem ruhenden Bezugsystem abgeleitet, die deren relative Natur enthüllen. Die Newtonschen Gleichungen der Mechanik müssen dann umgeformt werden, um sie mit den Transformationsgleichungen für Raum und Zeit in Einklang zu bringen. Daraus werden die berühmten Aussagen wie die relative Natur der Masse und die Äquivalenz von Masse und Energie abgeleitet. Auf Grund dieser Ergebnisse konnte Einstein die Natur des Lichtes untersuchen und sein dualistisches Wesen zeigen. Das Licht besteht aus Teilchen, deren Ruhmasse gleich Null ist und deren mechanische Wirkungen durch die Größen, die mit dem Wellencharakter verbunden sind, bestimmmt werden. Weiter wird der Beitrag Einsteins zur Statistik – die Erarbeitung der Bose-Einstein Statistik – beschrieben. Einstein erweiterte die Quantentheorie von Planck auf die Bewegung der Atome im festen Körper und gelangte zu der Theorie der Wärmekapazität, die die Temperaturabhängigkeit der Wärmekapazität bei tiefen Temperaturen erklärt. Einstein entwickelte die Theorie der Brownschen Bewegung, auf deren Grundlage Perrin die Zahl und die Größe der Moleküle bestimmen konnte. Einstein führte zusammen mit de Haas einen Versuch durch, um zu zeigen, daß die Magnetisierung eines Körpers mit der Drehung der Elektronen, also mit dem mechanischen Drehmoment verbunden ist. Die Drehung eines Körpers bei Magnetisierung erhielt den Namen Einstein-de-Haas-Effekt. Nachdem Ein-

stein 1905 die spezielle Relativitätstheorie für Raum und Zeit begründet hatte, verallgemeinerte er im folgenden Jahrzehnt diese Theorie, um auch die Gravitationskräfte einzuschließen. Die Grundlage für seine Verallgemeinerung besteht darin, daß die Gravitationskräfte von Trägheitskräften experimentell nicht unterscheidbar sind und als Krümmung des vierdimensionalen Raumes (drei Achsen des Raumes und eine Achse der Zeit) betrachtet werden können. So entstand im Jahre 1915 die allgemeine Relativitätstheorie, deren Konsequenzen auch experimentell bestätigt wurden.

Von den vielfältigen Ergebnissen, zu denen Einstein gelangte, war das wichtigste die Relativitätstheorie, die eine Umwälzung der Vorstellungen von den Grundlagen der Natur bedeutete. Bedeutete das den „Untergang des Abendlandes"? – wie O. Spengler meinte. Jakob Frenkel machte es zum Ziel seiner Bemühungen, die neuen Vorstellungen über den Raum und die Zeit allen deutlich zu machen, was die Entwicklung des menschlichen Lebens fördert genauso wie das allgemeine Verständnis der klassischen Begriffe eine schöpferische Rolle spielt. „Die Theorie wird zur materiellen Kraft, wenn sie von den Massen beherrscht wird." Frenkel meinte, dass die Verbreitung der Relativitätstheorie ihm besser gelingen würde als ihrem Schöpfer, da Bahnbrecher zu kompliziert an die Fragen herangehen würden, ihre Nachfolger aber einfachere Wege finden können.

Frenkel schrieb zum Buch von J. Rice [4] zwei zusätzliche Kapitel, in denen er so anschaulich wie möglich, geometrisch die Transformationsformeln für die Drehung des Koordinatensystems um die Zeit-Abszisse ableiten konnte. Diese Darstellung wurde zur Grundlage für seine weiteren Beiträge ([5], [6]). Der Übergang zum bewegten Bezugssystem wird durch die Drehung des ursprünglichen Systems dargestellt. Die Raum- und Zeitintervalle im neuen Bezugsystem sind mit den entsprechenden Größen im alten, wie die Projektionen der Koordinaten eines Punktes in den beiden Systemen verbunden. Dadurch wird die Relativität der Raum- und Zeitintervalle in beiden Bezugsystemen anschaulich. Wenn man die Forderung der Konstanz der Lichtgeschwindigkeit beim Übergang von einem Bezugsystem zu einem anderen hinzufügt, gelangt man zu den Formeln der Relativitätstheorie für die Transformation der Raum- und Zeitintervalle. Eine solche einfache Ableitung der Transformationsformeln ist für jeden, der die elementare Geometrie kennt, verständlich. Frenkel fügte noch ein anschauliches Beispiel hinzu: „Nehmen wir an, daß wir hier in Minneapolis (wo damals Frenkel lebte) eine vertikale Säule betrachten. Ihre Höhe ist der Abstand des Gipfels vom Fußpunkt, gemessen mit einem vertikalen Stab. Wenn die Säule auf dem Boden

liegt, dann kann ihre Länge, das ist der Abstand von einem Ende bis zum anderen, mit einem horizontalen Stab gemessen werden. Wenn die Säule schräg steht, ergeben die Messungen mit einem vertikalen und einem horizontalen Stab eine Höhe und eine Länge, sie stellen die Projektionen der Säule auf die vertikale und bzw. die horizontale Richtung dar. Nehmen wir an, daß wir die Säule, die in Minneapolis vertikal steht, von New York aus betrachten. Die vertikale und die horizontale Richtung in New York sind von denen in Minneapolis verschieden. Also wird diese Säule in New York als schräg stehend erscheinen, also eine Höhe und eine Länge haben. Dabei ist die Höhe von New York aus gesehen verschieden von der in Minneapolis gesehen. Wenn man diese Säule aus Moskau betrachtet, wird sie als horizontal liegend erscheinen, also keine Höhe und nur eine Länge haben. Höhe und Länge sind also relative Größen, absolut ist der Abstand zwischen den Enden der Säule an ihr entlang gemessen.

Statt der relativen Größen Raum und Zeit betrachtet die Relativitätstheorie die Geschwindigkeit des Lichtes als absolut. Der Versuch, den Michelson durchführte, zeigte, daß die Geschwindigkeit des Lichtes unabhängig von der Richtung seiner Ausbreitung in bezug auf die sich im Weltraum bewegende Erde ist. Dieser Versuch konnte noch nicht zur Schöpfung der Relativitätstheorie führen, da man für das Ergebnis andere Erklärungen vorschlagen konnte, eine davon hat Lorentz formuliert. Die Schöpfung der Relativitätstheorie hatte weitere bedeutende Gründe.

Frenkel bemerkte, daß die Relativitätstheorie keineswegs unerwartet entstand, sondern ihre Ursachen in der vorangegangenen Entwicklung der Physik hatte. Die Relativität der Bewegung hatte schon Galilei festgestellt. Die Theorie des Elektromagnetismus, die von Lorentz entwickelt wurde, führte zu Transformationsgleichungen für die Raum- und Zeitkoordinaten, aber ging nicht über die elektromagnetischen Erscheinungen hinaus.

Nicht geringere, eher größere Bedeutung für das Entstehen der neuen Vorstellungen von Raum und Zeit hatte die Entwicklung der deutschen Philosophie, besonders ihres Zweiges Naturphilosophie. Diese wurde durch die Werke von Schelling und Hegel begründet, und man kann sagen, daß sie eine „Bombe“ für die Grundlagen der Naturwissenschaft darstellte. Diese Bombe mußte früher oder später explodieren. Das geschah am Anfang des 20. Jahrhunderts, als durch Experimente bekannt wurde, daß Uranerz enorme Mengen an Bewegung enthält, also die Körper im Grunde nicht starr sind. Einstein studierte Philosophie in der Hochschule, er gründete auch einen philosophischen Zirkel zusammen mit C. Habicht und M. Solovine (letzterer arbei-

tete später bei einer philosophischen Zeitschrift). Besonders schätzte Einstein die philosophischen Überlegungen von E. Mach. Im Ergebnis stieß Einstein zur vordersten Front der Umwälzung der Grundlagen der Naturwissenschaft vor.

Die Begriffe der Relativitätstheorie werden am besten vom Standpunkt des philosophischen Begriffes der Entwicklung aus verstanden. Die Lichtteilchen haben eine Ruhmasse, die gleich Null gesetzt wird, doch besitzen sie Energie und Impuls wie Körper, können also als nicht völlig entwickelte Körper betrachtet werden. Die folgende Stufe der Entwicklung bilden die Körper im üblichen Sinne, aber da sie entstanden sind, tragen sie Spuren der Entwicklung (Relikte), sind also nicht so, wie man sie sich gewöhnlich vorstellt. Die Körper sind nicht vollkommen starr, sondern etwas „weich", das heißt veränderlich, und so sind auch Raum und Zeit, die aus den Eigenschaften der Körper abgeleitet werden. Da die Körper eine Ruhmasse bekommen haben, scheiden sie aus der Menge der Lichtteilchen aus, die letzteren verlieren also ihre Beziehung zu ersteren und hören auf, sie zu „bemerken", das heißt etwas in ihrem Benehmen infolge der Anwesenheit der Körper zu ändern. Die Geschwindigkeit der Lichtteilchen bleibt unverändert, wenn man ihre Bewegung in einem anderen Bezugsystem, das die Körper bilden, betrachtet, ist also absolut, wie Hegel formuliert. Hier kann man ein anschauliches Beispiel anfügen: Wenn sich aus den Wolken ein Regen bildet und auf der Erde Pfützen entstehen, so sind die letzteren ohne Bedeutung für das Verhalten der Wolken. So sind auch die Körper, wenn man sie als „Lichtpfützen" betrachtet, ohne Bedeutung für die Ausbreitung des Lichtes. Philosophisch kann man sagen, daß das Licht sich nicht bewegt, sondern daß die Bewegung einige Eigenschaften bekommt, die für die Bildung der Körper wichtig sind, und das wird Licht genannt. Auf die Frage „Was bewegt sich?" kann man antworten, daß die Frage Sinn hat, wenn die Körper als Grundlage der Welt betrachtet werden und die Bewegung als den Zustand der Körper, aber diese Begriffe auch ihren Platz wechseln können. Im Verhalten des Lichtes merken wir das Entstehen überhaupt.

Das Gravitationsfeld, der Gegenstand der Betrachtungen in der allgemeinen Relativitätstheorie, ist ein eigenartiges Feld. Es ist allumfassend, nicht abgesondert und stellt darum kein völlig enwickeltes Feld dar, ist demnach von manchen Arten der Bewegung nicht unterscheidbar, wird also als Raum-Zeit-Eigenschaft dargestellt. Es kann „Vorfeld" oder das Werden des Feldes genannt werden und befindet sich in der Reihe der Entwicklung von den Kör-

pern ziemlich weit entfernt, der Übergang zu den Körpern kann mit Schwierigkeiten verbunden sein.

Eine weitere Entwicklung der physikalischen Vorstellungen auf Grund der Naturphilosophie findet man im Lehrbuch der Elektrodynamik, das Frenkel in Deutschland geschrieben und veröffentlicht hat [7]. Das war ein bemerkenswert angelegtes Lehrbuch, das bald in vielen Hochschulen als Lehrbuch angenommen wurde. Im Vorwort zum ersten Band der gesammelten Werke von Jakob Frenkel schreibt der Akademiker I. E. Tamm: „Schon im ersten Kapitel der Elektrodynamik gibt der Autor eine sehr eigenwillige Darstellung der Elektrostatik, die sich nicht auf den Begriff der elektrischen Ladung, sondern auf den Begriff des elektrostatischen Dipols stützt … Der Zweck dieser Wahl der Darstellung ist die Untersuchung der Analogie zwischen den elektrischen Wechselwirkungen der Dipole und der polarisierten neutralen Körper einerseits und den magnetischen Wechselwirkungen der geschlossenen Ströme andererseits." [7] Im Vorwort zum zweiten Band schreibt Professor J. G. Dorfman: „Der ‚Elektrodynamik' von J. Frenkel gebührt mit Recht eine außerordentliche Stelle in der Geschichte der Physik. Sie bildet eine neue Stufe in der Entwicklung der Elektrodynamik." [8]

Frenkel entwickelt die Elektrostatik so wie die Magnetostatik entwickelt wird. Eine solche Darstellung hat einen besonderen philosophischen Sinn. Wie Hegel bemerkt, werden im Magneten die entgegengesetzten magnetischen Ladungen nicht getrennt und auch nicht erhalten, bilden also keine Dinge. Der Magnet ist der Anfang der Dinge, was „das Werden" genannt wird. Der magnetische Dipol entsteht bei der Bewegung der elektrischen Ladungen, die Dinge sind, da sie getrennt existieren und erhalten werden. Also ist die Bewegung eines Dinges die Ursache des Werdens anderer Dinge. Bekannt ist auch, daß man zum Begriff der Entropie durch Betrachtung der Bewegung der Körper kommt, und daraus folgt der Schluß, daß Entropie das Werden eines Dinges ist [9]. Wenn man als Grundlage der Elektrostatik den elektrischen Dipol annimmt, bedeutet das den Rückgang der Entwicklung von einem Ding zum Werden. Bei weiterer Betrachtung entsteht die Frage: Die Bewegung welchen Körpers stellt dieses Werden dar? Nehmen wir an, daß es die Bewegung einer magnetischer Ladung sei, aber da solche nicht existieren, können auf diesem Wege die elektrischen Dipole nicht entstehen. Man kommt zum Schluß, daß der elektrische Dipol aus der Bewegung keiner Dinge entsteht und, philosophisch gesagt, geistlicher Herkunft ist. „Wenn nichts Materielles zu finden ist, was ihnen zugrunde liegt, scheint es nur etwas Geistliches sein zu können." [10] In der Bestimmung der Herkunft der

elektrischen Erscheinungen besteht der Zweck des Rückganges von der elektrischen Ladung zum elektrischen Dipol. Weiter: Die elektrischen Erscheinungen bleiben nicht im Werden stehen, die Entwicklung geht zu den Dingen, und so entstehen elektrische Ladungen. Ihr Entstehen fördern die Quantengesetze der Bewegung (das Quant ist der Anfang der Körper), die nicht zulassen, daß entgegengesetzte Ladungen stark miteinander verbunden wären. Schwache magnetische Wirkungen der magnetischen Dipole, die mit elektrischen Ladungen verbunden sind (nicht verschwundene Relikte des Werdens), üben nur einen mäßigen Einfluß auf die Bewegung der Ladungen aus und verändern die Quantenbedingungen nicht besonders. Der Übergang von den magnetischen Dipolen zu magnetischen Ladungen wird behindert durch starke Wirkungen der elektrischen Dipole, die mit magnetischen Ladungen verbunden sind. Die Quantenbedingungen werden stark beeinflußt, dann werden entgegengesetzte magnetische Ladungen nicht getrennt. So bleiben magnetische Erscheinungen bisher das Werden, aber es kann sein, daß bei besonderen Bedingungen im Laboratorium freie magnetische Ladungen hergestellt werden können.

Betrachtet man die Ladungen in Bewegung weiter, taucht ein neues Phänomen auf – die Ausstrahlung einer elektromagnetischen Welle. Die elektromagnetische Welle ist das Werden von etwas, das folgt, und besitzt Eigenschaften, die sie in den Zusammenhang mit den Körpern stellt: das sind die endliche Geschwindigkeit der Ausbreitung und der Übertragung von Energie und Impuls, die bei den Wechselwirkungen mit den Körpern mit deren entsprechenden Größen erhalten werden, also vereinigt. Das bedeutet auch die Veränderlichkeit der Körper, die in der Relativitätstheorie dargestellt wird. In der elektromagnetischen Welle, als das Werden betrachtet, sind das elektrische und das magnetische Feld gleichberechtigt und führen zusammen zur Vereinigung mit den Körpern. Zur Untersuchung der Erscheinungen mit bewegten Feldern und Körpern können die Transformationsgleichungen der Relativitätstheorie herangezogen werden und das wird getan. Die Relativitätstheorie findet hier ihren Platz, sie bildet den zweiten Teil des Lehrbuches.

Der nächste Schritt in der Darstellung der Elektrodynamik wird Feldtheorie der Materie genannt, das ist der Übergang von der elektromagnetischen Welle zu einer Korpuskel, die nicht nur eine Ladung, sondern auch eine Ruhmasse besitzt, die mit der elektromagnetischen Energie in Beziehung steht. Die Ruhmasse bedeutet Stabilität, Unveränderlichkeit, aber da diese Eigenschaften von elektromagnetischer Herkunft sind, können sie nur als relative angesehen werden.

Das Lehrbuch der Elektrodynamik stellt die vollständige Reihe der Entwicklungsstufen dar, wo auch die Relativitätstheorie ihren Platz findet. Somit wird die „metaphysische“, nach dem Begriff von F. Engels (richtiger gesagt nach der Art des Denkens – aristotelische), Darstellung der Physik, die, wie F. Engels bemerkt, meist vollkommen in der Mechanik von Newton dargestellt ist, überwunden, und werden die Tatsachen in der Reihe der Entwicklung ausgebreitet. In der Biologie wurden dank Darwin die biologischen Arten der lebendigen Natur in Entwicklungsreihen dargestellt, wurde also das aristotelische System, das Linnè entwickelt hatte, überwunden. Aber in der lebenden Natur sind die Entwicklungsstufen anschaulich (außer der ersten Stufe, die sich auf die Entstehung des Lebens bezieht); in der Physik müssen sie philosophisch betrachtet werden.

In der Zeit vor dem Entstehen der Relativitätstheorie verminderte sich jedoch das Interesse an der Philosophie in Deutschland, was F. Engels betonte und auch F. Nietzsche bemerkte; darum wurde die Relativitätstheorie in Deutschland nicht in der nötigen Weise verstanden. Manche schon gut bekannte Physiker wurden zum Gegner dieser Theorie und bezeichneten sie als „nicht arisch“, was die Arbeiten auf dem Gebiete der Relativität behinderte.

Anders lagen die Dinge in der Sowjetunion, wo solche Hindernisse nicht existierten, da Lenin, der die deutsche Philosophie gut verstand, den Weg für die Verbreitung der Relativitätstheorie frei hielt. Er betonte dabei, daß der Materialismus dialektisch (das heißt die Entwicklung anerkennend) sein muß. Auf eine solche unvollkommene Weise hat die deutsche Philosophie einige Zeit die Verbreitung der Relativitätstheorie gefördert. Das wichtige Ergebnis der Relativitätstheorie, daß jeder Körper eine große Menge der Bewegung enthält, die befreit werden kann, wurde angenommen und führte zur Beherrschung der Kernenergie.

Frenkel beteiligte sich auch auf diesem Gebiet, entwickelte die Theorie der Kernspaltung und schrieb ein populäres Buch – „Prinzipen der Theorie der Atomkerne“. Er hatte die Absicht, auch ein philisophisches Buch zu schreiben, aber dazu reichte seine Lebenszeit nicht aus. Man kann sich nicht sicher sein, ob es ihm gelungen wäre, ein solches Buch herauszubringen, da die Philosophie unter der Aufsicht des Staates stand. Die physikalischen Werke, die Jakob Frenkel veröffentlicht hat, sind jedoch so gründlich, daß sie auch eine Philosophie der Natur darstellen. Der Author dieses Beitrags schrieb: „Das Werk von J. Frenkel kann als Philosophie der Natur gekennzeichnet werden, was markant für unser Jahrhundert ist, in dem die philoso-

phischen Voraussetzungen eine wesentliche Grundlage für die Erarbeitung von naturwissenschaftlichen Vorstellungen darstellen.“ [11]

Kurz vor dem Ende seines Lebens begann Frenkel das Wesen der Körper vom Standpunkt der Quantenelektrodynamik aus zu betrachten, genauer gesagt, von der Möglichkeit des Auftretens der Paarbildung [12]. Nach seinen Vorstellungen entsteht neben einem gegebenen Elektron ein Elektron-Positron- Paar und mit dem letzteren wird das ursprüngliche Elektron annihiliert. Das verbliebene Elektron kann sich an einer anderen Stelle des Raumes befinden, kann sich aber in seinen Eigenschaften von dem ursprünglichen nicht unterscheiden. Das Elektron ist jeden Augenblick neu, besitzt also nicht die Eigenschaft der Selbstidentität, seine erhalten bleibenden Eigenschaften – die Ladung und die Ruhmasse – „schützen“ es nicht vor dem Verschwinden. Die Selbstidentität des Körpers ist eine scheinbare, rührt von der Identität der Eigenschaften der Elektronen her. Diese Identität der Eigenschaften ist ein Relikt des Werdens, von dem die Elektronen noch nicht befreit sind. Das Wesen der Körper besteht in besonderen (nicht allen) Arten der Verwandlungen und nicht im Besitz von stetigen Größen. Man kann nicht genau wissen, wohin Frenkel mit seinen Erkenntnissen aus dem Gebiet der Elektrodynamik noch hätte kommen können, es kann aber sein, daß er die Möglichkeit verwirklichen wollte, zurück zum Anfang zu gelangen, der Richtung der Entwicklung durch die dargestellten philosophischen Vorstellungen folgend. Hierzu passen die Worte von Anaximander: „Der Ursprung der Dinge ist das Grenzenlose. Woraus sie entstehen, dahin vergehen sie auch mit Notwendigkeit.“ [10]

Die Philosophie bestimmt nicht eindeutig die physikalischen Vorstellungen, und weitere Forschungen auf dem Gebiet des Wesens von Raumes, Zeit, Bewegung usw. können notwendig sein, was aber schon geschaffen wurde und als zweckmäßig anerkannt ist, darf nicht außer Acht gelassen werden. Man kann auf einige Arbeiten in unserer Gesellschaft verweisen ([13], [14]).

Literatur

[1] Frenkel, V.J.: Jakob Iljitsch Frenkel. Nauka, Moskau-Leningrad, 1966 (in Russ.)
[2] Frenkel, J.: Die Relativitätstheorie. Misl, Petrograd, 1923 (in Russ.)
[3] Frenkel, J.: Albert Einstein. Enzykl. Wörterbuch „Granat“, B. 52, S. 143–152, 1927 (in Russ.)
[4] Rice, J.: Relativitätsprinzip. Staatsverlag, Moskau-Leningrad, 1928 (in Russ.)
[5] Frenkel, J.: What does Einstein mean? Science, vol. 74, No. 1929, pp. 609–618, 1931

[6] Frenkel, J.: Die Relativitätstheorie von Einstein. Front der Wissenschaft und Technik, No. 5–6, S. 38–48, 1935 (in Russ.)
[7] Frenkel, J.: Elektrodynamik. Sammlung ausgewählter Werke, Band I. Akademie der Wissenschaften der UdSSR, Moskau-Leningrad, 1956 (in Russ.)
[8] Dorfmann, J.G.: Jakob Iljitsch Frenkel. J. I. Frenkel – Sammlung ausgewälter Werke, Band II. Akademie der Wississenschaften der UdSSR, Moskau-Leningrad,1958 (in Russ.)
[9] Kozlovskij, V.: The concept of caloric in the theory of heat. Abhandlungen der WIGB (Wissenschaftliche Gesellschaft bei der Jüdischen Gemeinde zu Berlin und ZWST), Band 3, S. 33–36, Berlin, 2003
[10] Zimmer, E.: Umsturz im Weltbild der Physik. Knorr & Hirth, München, 1942, Kap. 10
[11] Kozlovskij, V.: Frenkels Forschungen über die Theorie der festen und flüssigen Körper. Fragen der theoretischen Physik, Russische Akademie der Wissenschaften, Sankt-Petersburg, S. 103–110, 1994 (in Russ.)
[12] Frenkel, J.: Begriff der Bewegung in der relativistischer Quantentheorie. Vorträge der Akademie der Wissenschaften der UdSSR, Band 64, No. 4, S. 507–509, 1949 (in Russ.)
[13] Gribov, Iu.: About the nature of wave function in quantum mechanics. Abhandlungen der WIGB, Band 2, S. 15–28, Berlin, 1999
[14] Gribov, Iu.: The photostring universe and the antigravity of the antiparticle. Abhandlungen der WIGB, Band 3, S. 37–46, Berlin, 2003

Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät *78/79(2005), 239–252*

Genrietta Liakhovitskaia

„Freies Spiel mit Symbolen" – Versuch einer philosophisch-geometrischen Interpretation der Weltordnung

Zusammenfassung: In seiner Antrittsrede vor der Preußischen Akademie der Wissenschaften 1914 sagte Einstein, dass der Wissenschaftler „als Fundament allgemeine Voraussetzungen, sogenannte Prinzipe, braucht, aus denen er Folgerungen deduzieren kann" [1]. Als solche Voraussetzungen schlägt die Autorin die aus der Philosophie bekannten Prinzipien der Dialektik als allgemeine Entwicklungstheorie vor, jedoch in den von der Autorin entwickelten geometrischen Formen – „*Generomodelle*". Sie können dazu dienen, intellektuell-anschauliche Vorstellungen bei der Interpretation von Begriffen aus den modernen wissenschaftlichen Hypothesen vom Universum, seinem Ursprung, seiner Struktur und Evolution zu entwickeln. Es wird versucht, aus diesen Voraussetzungen einige neue Folgerungen zu ziehen. Die relevanten Äußerungen von Einstein werden erörtert.

Im gegenwärtigen, weltweit beachteten „Einstein-Jahr" wird hervorgehoben, dass die Menschheit Albert Einstein auch als hervorragenden Denker, als *Philosophen*, verehrt. Viele Menschen nehmen fälschlicherweise an, dass der Nobelpreis ihm für seine Relativitätstheorie verliehen wurde. Dieser verbreitete Irrtum zeigt, welche Bedeutung den neuen Erkenntnissen bei der Schaffung eines möglichst vollständigen Bildes von der Welt als Ganzem beigemessen wird.

Nicht nur in der Relativitätstheorie hat Albert Einstein philosophisch-weltanschauliche Fragen gestellt und gelöst. Auch die Erkenntnistheorie wurde durch anerkannte Ansichten des Wissenschaftlers bereichert: „Im Entwicklungsprozess des philosophischen Denkens durch Jahrhunderte hat die Frage eine Hauptrolle gespielt: Was für Erkenntnisse vermag das reine Denken zu liefern, unabhängig von den Sinneseindrücken? Gibt es solche Erkenntnisse? ... Nach meiner Überzeugung muss man ... behaupten: die in unserem Denken und in unseren sprachlichen Äußerungen auftretenden Be-

griffe sind alle – logisch betrachtet – freie Schöpfungen des Denkens und können nicht aus den Sinnen-Erlebnissen induktiv gewonnen werden“ [2].

Als praktischer Philosoph und theoretischer Physiker gibt Einstein eine von ihm erprobte Methodik, die es erlaubt, sich folgerichtig nicht von der Wirklichkeit abzulösen: „Damit Denken nicht in ... leeres Gerede ausarte, ist nur notwendig, dass genügend viele Sätze das Begriffssystem im Hinblick auf seine Aufgabe, das sinnlich Erlebte zu ordnen und übersehbar zu machen, möglichste Einheitlichkeit und Sparsamkeit zeige. Im übrigen aber ist das ‚System’ ein (logisch) freies Spiel mit Symbolen nach (logisch) freien Spielregeln.“ [3]

Gerade *das philosophische Erfassen der Wirklichkeit*, die Schaffung eines logischen Systems zur Verallgemeinerung der durch die Erfahrung gesammelten Fakten, führt zu Entdeckungen eines solches Ranges wie die Relativitätstheorie. Leider verhalten sich die modernen Forscher oft geringschätzig zu den philosophischen Methoden der Erkenntnis. Unter diesen hat sich aber nach einem Jahrtausend Entwicklung des philosophischen Denkens ein unikales *Metasystem* herauskristallisiert. Es befasst sich nicht mit den sinnlichen Wahrnehmungen und ihren Widerspiegelungen im Denken, sondern sozusagen mit der Wahrnehmung der Wahrnehmungen und der Widerspiegelung der Widerspiegelungen. Bekannt ist es seit ältesten Zeiten, in der gegenwärtigen Form wurde es von Hegel ausgearbeitet als *System der dialektischen Gesetzmäßigkeiten der Entwicklung.* Zur Illustration dieses recht komplizierten, von Hegel dargelegten Systems hat die Autorin ein geometrisches Schema entwickelt, das von ihr *Gener*[1] genannt wird.

Das Gener (Abb. 1) besteht aus zwei spiralförmigen Zweigen innerer Windungen, die sich in Bereichen A und B befinden und von einer äußeren Windung umfasst werden. Alle Windungen verlaufen durch einen gemeinsamen Pol *O*, jedoch nur die äußere schneidet die Polarachse im Punkt *P*. Die Windungen können von unterschiedlicher Form sein. In Abb. 1 sind sie als Kreislinien dargestellt. *Die Anzahl der inneren Windungen des Geners* differiert und kann sogar *unendlich sein*, z.B. in dem Spezialfall, in dem das Gener als Kochleoid dargestellt ist, das in Polarkoordinaten durch folgende Formel beschrieben wird: r = *a* s*in* j / j (wobei r die Entfernung zum Pol *O*, der sich im Drehwinkel j ändert, bedeutet). Die Pfeile in den Windungen geben die

1 Der Name wurde in Anlehnung an die lateinischen Wörter generalis – allgemein und generare – schaffen gewählt.

Richtung *der zyklischen Evolution* komplizierter, ungleichgewichtiger Systeme (oder Medien) *als Resultierende aller Veränderungen in der Zeit an*.

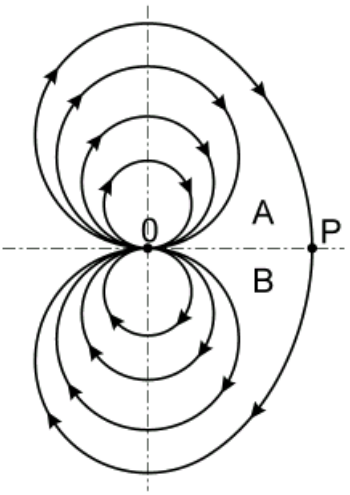


Abb. 1: Gener

Ein solches Modell überzeugt mehr als die in der Philosophie gebräuchliche Form einer sich immer breiter und höher aufwickelnden Spirale, die nur eine Seite der Entwicklung demonstriert, den Fortschritt, die Aszendenz. Die Erklärung der Evolution anhand des Geners beginnt mit der Angabe des Punktes *O* als Einheit, die das Anfangsstadium der Entwicklung eines Widerspruches definiert, der seinen Höhepunkt im diametral entgegensetzten Punkt der Windung findet. Es folgen dann die dem Pfeil entlang nach unten verlaufende Entwicklung und der Übergang auf die Windung mit einer neuen quantitativen Bestimmtheit (Größe). Jede folgende Windung negiert die vorherige. Letztendlich entsteht die äußere Windung, die die Polarachse als die Grenze des Maßes im Punkt *P* schneidet und in den anderen Zweig übergeht. Dabei negiert der Zweig in Bereich *B* die im Bereich *A* und zeigt den qualitativ entgegensetzten Prozess an; d.h. das Aufrollen der Windungen wird durch Einrollen ersetzt. Das Pendel der Evolution schwingt auf zwei Hierarchiezweigen der Windungszyklen der Entwicklung zwischen zwei Grenzen – dem Pol, der jedem Zyklus zugehört, und der Außenwindung, die in sich selbst die Unendlichkeit zyklischer Veränderungen einschließt.

Das Gener wurde in den sechziger Jahren ausgearbeitet[2]. Nach und nach wurde klar, dass dieses *philosophisch-geometrische Konzept* Möglichkeiten besitzt, die über den Rahmen der Illustration des bekannten philosophischen Wissens hinausgehen. Auf der Grundlage des Geners werden sog. *Generomodelle* entwickelt – geometrische Figuren, die es erlauben, die gedanklichen Vorstellungen bei der Interpretation in den Begriffen vieler Wissensgebiete zu visualisieren. Lange vor dem Erscheinen der heutigen Synergetik erlaubte es das Gener der Autorin, einen einheitlichen system-evolutionären Zugang bei der Betrachtung der verschiedensten natürlichen, sozialen und erkenntnistheoretischen Hierarchien anzuwenden ([4], [5]). In der Sprache der Synergetik ist das Gener ein „Struktur-Attraktor", der auf Prinzipien aufgebaut ist, die schon über Jahrtausende bekannt sind.

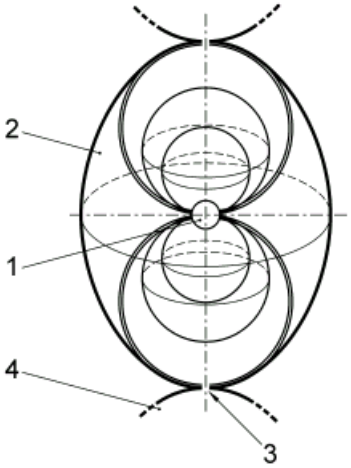


Abb. 2: Generosphäroid mit Schluss zum Polarvolumen

Generomodelle ermöglichen, zumindest teilweise, die „Unvorstellbarkeit" mancher moderner wissenschaftlicher Konzepte zu überwinden. Dies betrifft insbesondere *die Kosmologie*, die in vielerlei Hinsicht das Weltbild in unserer heutigen Weltanschauung bestimmt.

2 Die Ausarbeitung des Gener konnte in den sechziger Jahren aus politischen Gründen nicht veröffentlicht werden. Ihre Existenz seit dieser Zeit ist ersichtlich aus der Beschreibung zur Erfindung „Unterrichtsgerät von Liakhovitskaia G. L.", Patentnummer in Rußland 2000609, veröffentlicht im Bulletin der Erfindungen, Nr. 33–36. Moskau 1993. Die Erfindung besitzt Priorität seit dem 15.2.1983. Das Unterrichtsgerät wurde auf Grund des Gener entwickelt.

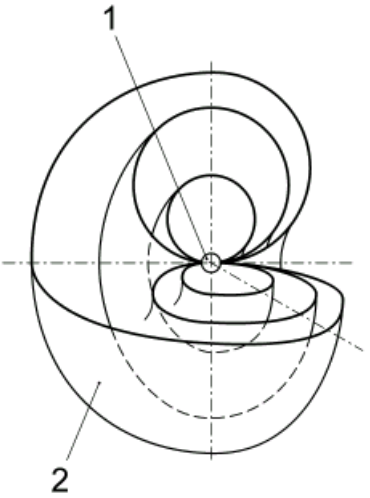


Abb. 3: Generotoroid mit Schluss zum Polarvolumen

Die Abbildungen 2 und 3 zeigen zwei *Generoide* – dreidimensionale Rotationskörper des Geners um zwei unterschiedliche Achsen. Alle Bereiche des *Generosphäroiden* in Abbildung 2 und alle Tori des *Generotoroiden* in Abbildung 3 *sind Räume, die im gemeinsamen Pol geschlossen werden*. Wenn wir Pol *O* nicht als Punkt, sondern als *Polarvolumen* mit einer bestimmten Minimalfläche betrachten, dann sind durch ihn alle Räume untereinander verbunden. Dabei *sind die Räume nicht vollständig geschlossen* (sie sind quasigeschlossen). Alle von Oberflächen mit verschiedener Krümmung umgebenen Räume der Generoiden können bedingt als *Räume mit unterschiedlicher Metrik*, d.h. mit unterschiedlichen räumlich-zeitlichen Beziehungen betrachtet werden. Da ein gemeinsames Polarvolumen vorhanden ist, werden raumübergreifende Übergänge durch das Volumen möglich.

Die Astronomie, der „Lieferant“ empirischer Begründungen der Kosmologie, betrachtet die kollabierenden Sterne als singuläre Objekte. Der hyperdichte Zustand der Singularität wird als Anfangszustand in der Entwicklung von Protogalaxien, Galaxien und Sternensystemen angesehen. Eine Variante der Kollapsare, das „schwarze Loch“, kann durch den Pol *O*, verstanden als „Ort des Zusammenschlusses der Räume“ in den Generoiden, illustriert werden.

In der Kosmologie kennt man eine Hypothese, die auf der Anwendung der nichteuklidischen Geometrie zur Beschreibung einer Variante des nicht vollständig geschlossenen Universums basiert. Akademiemitglied M. A. Markov schlägt folgendes vor: „Wenn innerhalb eines solchen Universums … die Kugeloberflächen beschrieben werden sollen, dann werden zunächst ihre Oberflächen zunehmen. Bei einer bestimmten Entfernung vom Zentrum kann die Fläche der Kugeloberflächen kosmische Ausmaße erreichen und eine riesige Zahl von Galaxien in sich bergen. Bei weiterer Entfernung vom Zentrum beginnen sich die beschriebenen Kugeloberflächen zu verringern … Die geschlossene Welt ist dadurch gekennzeichnet, dass sich die besprochenen Flächen in einem Punkt zusammenziehen – die Welt schließt sich. Eine „fast" geschlossene Welt unterscheidet sich von einer geschlossenen dadurch, dass sich die Kugelgrenzfläche nicht in einem Punkt zusammenzieht, sondern eine gewisse Fläche beliebig kleiner, aber endlicher Dimensionen darstellt … Der sich vom Zentrum dieser Welt weit entfernt befindende Experimentator versteht sie als ein in der Minimalsphäre lokalisiertes Materieobjekt, als ein Objekt geringer … Abmessungen, das insgesamt eine geringe … Masse besitzt. Dennoch kann innerhalb dieses Objektes das gesamte Universum mit seinen vielfältigen Galaxien enthalten sein ... Dieser Charakter des Systems insgesamt bildet sich automatisch, wenn das System z. B. eine elektrische Ladung aufweist. Es strebt dann einem gewissen *Grenzsystem* zu ... (Dieses *„Universum-Teilchen"* wurde *„Fridmon"* genannt zu Ehren von Alexander Friedmann, der 1922 einige neue Lösungen der Gleichungssysteme von Einstein-Maxwell vorschlug. – G. L.) Wenn unsere Ansammlung von Galaxien, unser Universum ein Fridmon sein kann, dann kann die Gesamtheit ähnlicher Fridmons zusammen mit anderen Formen der Materie wiederum ein Universum mit den Eigenschaften eines Fridmons bilden … Anders gesagt, das Universum kann in diesem Sinne nach „beiden Seiten" symmetrisch und endlos sein … Man könnte meinen, dass sich so mit der Zeit ein Verständnis der Einheit von Elementarteilchen und Universum, von Ultragroßem und Ultrakleinem herausbildet" [6].

Das Generosphäroid (Abb. 2) ist eine geometrische Illustration des Fridmon-Universums. Bewegt man sich vom Pol *O*, dann werden sich die Flächen der Kugeloberflächen im oberen Teil des Generosphäroiden angefangen von der Polarsphäre mit „ultrakleiner" Oberfläche *1*, immer mehr vergrößern, bis die „ultragroße" Oberfläche *2* erreicht ist, die von der Außenwindung des Geners gebildet wird. Im unteren Teil des Generosphäroiden werden die Flächen der Kugeloberflächen immer kleiner und ziehen sich erneut zur Polarsphäre

zusammen. Die als Doppellinie markierten Teile der von der Außenwindung gebildeten Fläche „schneiden“ scheinbar die schließende Oberfläche „auf“. Die dabei aufgehenden „Öffnungen“ *3* können zu „Eingängen“ in die sich von beiden Seiten anschließenden anderen Fridmon-Generosphäroide *4* werden. So kann eine endlose Folge von Fridmonen entstehen, die wiederum nach dem Schema des Fridmon-Generoiden abgeschlossen wird.

Eine kompaktere Darstellung des Universums bietet der Generotoroid in Abbildung 3, *der ineinandergelegte Toroidalräume* aufweist, die in der Größe der „Eingänge“ in das Polarvolumen mit der „ultrakleinen“ Oberfläche *1* geöffnet sind. Alle inneren Räume werden durch die „ultragroße“ Oberfläche *2* geschlossen, die von der Außenwindung des Geners gebildet wird und an die Oberfläche des Polarvolumens anschließt. Der Rotationskörper des Geners mit einer unendlichen Anzahl innerer Windungen kann somit als geometrisches Modell, als „Generoglobus“ des Universums mit einer unendlichen Anzahl von ineinandergelegten Räumen mit unterschiedlicher Metrik betrachtet werden, von Räumen, die von ihrem gemeinsamen gigantischen Raum, der von der Außenwindung umrissen wird, umfasst und zu einem einheitlichen Ganzen zusammengeschlossen werden. Dieses unendliche *Universum existiert und verändert sich (evolutioniert) nur in sich selbst. Außerhalb von ihm existiert nichts, an das es angrenzen könnte. Deshalb ist das Universum grenzenlos.*

Das kosmologische Modell, das auf der Grundlage der allgemeinen Relativitätstheorie entstand, setzte *ein stationäres Universum* voraus. In dem von A. Friedmann vorgeschlagenen nicht stationären Modell (Einstein verhielt sich anfangs zu ihm negativ. – G. L.) verändert sich die Metrik des Raumes in der Zeit. Ist die Dichte der Materie im Universum größer als eine gewisse kritische Dichte, dann ist das Universum geschlossen. Wenn aber seine Evolution vom Singulärzustand aus beginnt, setzt sich die Ausdehnung fort und verwandelt sich durch Druck erneut in den Singulärzustand. Der Kollaps im Singulärzustand kann das Vorzeichen ändern, sich zum Antikollaps umwandeln und zum Beginn des nächsten Zyklus werden. *Diese Pulsationszyklen des Ausdehnens und Zusammenziehens wiederholen sich*, und die Evolution erfolgt mit wechselndem Vorzeichen (*oszillierende Evolution*). Aufgrund der Zunahme der Entropie, d.h. aufgrund der Energiedissipation von Zyklus zu Zyklus verlängern sich die Zyklen dabei zeitlich und differieren hinsichtlich der Größe des maximalen Radius des Universums [7].

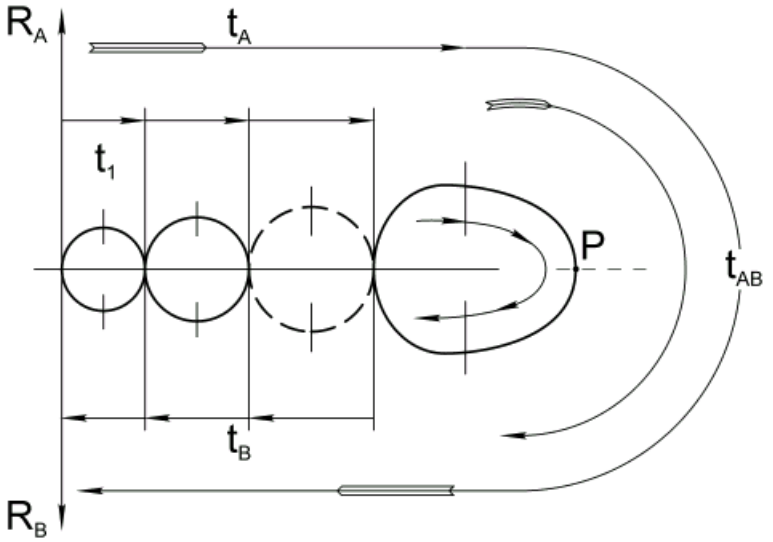


Abb. 4: Generoschema der oszillierenden Evolution des Universums

Dieses Modell veranschaulicht das Gener, dessen Windungen geöffnet sind und nacheinander längs einer gedachten Achse liegen. Abbildung 4 zeigt *das Generoschema der oszillierenden Evolution des Universums,* das die Veränderungen in beiden Zweigen des Geners berücksichtigt. Der „Zeitpfeil" für die Existenzzyklen des Universums wird durch die Windungen beschrieben (im Bereich *A* des Geners mit t_A und im Bereich *B* entsprechend mit t_B gekennzeichnet). Die Zeit in dem von der Außenwindung umrissenen Bereich hat den Index *AB.* Vom singulären Zustand im Pol *O* aus erweitert sich das Universum auf der ersten Windung in Bereich *A.* Der Radius des Universums vergrößert sich anfangs rasch, dann verlangsamt sich die Ausdehnung, erreicht ihr Maximum und wird von der Kompression, d.h. von einer Verringerung des Radius abgelöst. Die Kompression endet mit einem Kollaps in dem Punkt, der sich auf der Zeitachse vom Nullmoment um die Zeit t_1 entfernt befindet, die der Dauer der ersten Periode des Existenzzyklus des Universums entspricht. Jeder folgende Windungszyklus verlängert sich in der Zeit und unterscheidet sich in der Größe des maximalen Radius R_A des Universums. *Das Universum oszilliert bei aufeinanderfolgender quantitativer Zunahme der Radien und der Existenzdauer* bis zum Grenzzyklus, der auf der Außenwindung des Geners verläuft. Es dehnt sich bis zur maximal möglichen Größe

aus. Ein Teil des zum Bereich *A* gehörenden Grenzzyklus besitzt die größte Ausdehnung in diesem Bereich, bis sie im Punkt *P* ankommt. Dann erfolgt *in voller gesetzmäßiger Übereinstimmung ein Umschlag der Quantität in Qualität*, der Übergang des gesamten Systems nach Bereich *B*, wo die Evolution auf einem *quantitativ anderen zweiten Zweig* des Geners abläuft. D*ie Spirale der Windungen dreht sich nicht weiter auseinander, sondern wird immer enger*. Somit erfolgt bei der „Generoevolution“ im Grenzzyklus, eine „Vermischung“ der Zeiten t_A und t_B zu einer einheitlichen Zeit t_{AB}. Es kommt zu einer gleichmäßigen *„Drehung des Zeitpfeils“* aus Richtung t_A in Richtung t_B mit entgegengesetztem Vorzeichen. Die Radien R_B des Universums in den folgenden Evolutionszyklen auf dem zweiten Zweig des Geners verringern sich. Das Gleiche geschieht auch mit ihrer Dauer. Offensichtlich erfolgt die Änderung der Entropie in den Zyklen in Bereich *B* mit entgegengesetztem Vorzeichen, verglichen mit ihrer Änderung in Bereich *A*, d.h. sie verringert sich von Zyklus zu Zyklus, *was einen Wechsel von der Dissipation der Energie zu ihrer Konzentration bedeutet. Die Energie selbst verschwindet nirgendwohin, und das „Pendel“ der Evolution* des geschlossenen Universums *kommt nicht zum Stillstand*, weil die *„Zeitverkrümmung“* im Grenzzyklus *die Geschichte des Universums vordauert und dabei die Schleife der endlosen Zeit des Universums, der Ewigkeit, schließt.*

Generomodelle erlauben es, *die Folge von Strukturebenen der Materie* neuartig darzustellen. In der modernen Wissenschaft wird üblicherweise die nachstehende *Reihenfolge* unterstellt: subatomare, atomare, molekulare, chemische, biologische, soziale, planetare, solare, galaktische, metagalaktische Strukturebene. Anfang und Ende der Aufeinanderfolge werden also durch je eine Ebene dargestellt. Es drängen sich folgende Fragen auf: Wie verhalten sich die Ebenen untereinander innerhalb der Folge? Bedeutet das Erscheinen jeder folgenden Ebene das Verschwinden der vorangegangenen? Es sind die *ewigen philosophisch-weltanschaulichen Fragen: „Was war vor dem Anfang?“ und „Was wird nach dem Ende?“* Hinreichend anschauliche Antworten gibt das Generotoroid, das schematisch im Schnitt in Abbildung 5 – *Generomodell der Strukturebenen der Materie* – gezeigt wird. In den polnahen unendlich kleinen, punktiert dargestellten Tori liegen die Objekte (*a)* der subatomaren, atomaren und molekularen Ebene *der Mikrowelt 1*, deren bedingte Grenze durch die durchgehenden Linie gegeben ist. Die Objekte (*b*) der chemischen, biologischen und sozialen Ebene liegen in den Tori *der Makrowelt 2*. Die Objekte (*c*) der planetaren, astralen, galaktischen und metagalaktischen Ebene nehmen die in ihren Ausmaßen größeren Tori *der Megawelt*

3 ein. Die gesamte unendliche Vielzahl der ineinander gelegten Tori, d.h. *die ganze Hierarchie der Strukturebenen der Materie bildet in ihrer Gesamtheit das unendliche Universum, das an seiner Basis, dem Pol, geschlossen ist, in dem sich absolut alle Ebenen zusammenschließen.* In diesem Modell sind auf jeder folgenden Ebene alle vorhergehenden enthalten, und in jeder der unendlich vielen Ebenen ist eine gemeinsame Basis, der Pol, obligat. *Der Abschluss jeder der vielen Ebenen am Pol demonstriert anschaulich die Einheit und wechselseitige Abhängigkeit aller Objekte jenseits der Abhängigkeit von ihrer Lage in der allgemeinen Hierarchie der Ebenen.*

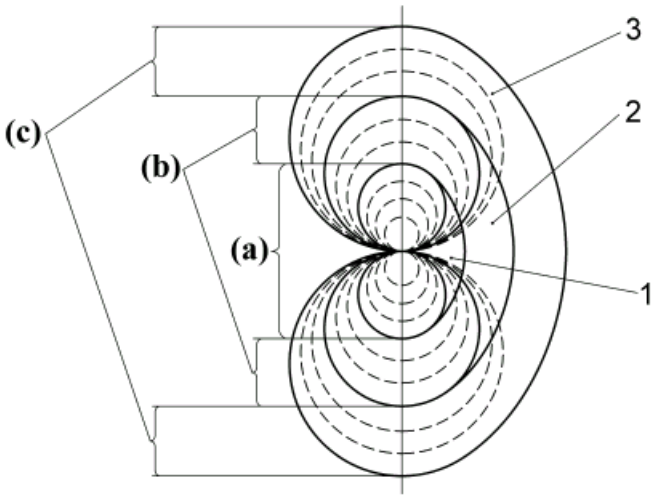


Abb. 5: Generomodell der Strukturebenen der Materie

Bei der – wie man in gewisser Weise sagen kann – „Inventarisierung" der Objekte und Erscheinungen der Welt mit Hilfe von Generomodellen trifft man zwangsläufig auf die in der Physik bekannten *fundamentalen Wechselwirkungen*, die die strukturelle Organisation von Objekten unterschiedlicher Ebenen bestimmen. Die Anordnung aller Arten fundamentaler Wechselwirkungen gemäß dem geschlossenen Schema des Generotoroiden *lässt die Annahme zu, dass der Einfluss der Gravitationswechselwirkung in der Submikrowelt* (mit einem angenommenen Aktionsradius kleiner als 10^{-30} cm), *ihrem Einfluss in der Megawelt vergleichbar sein muss.* Abbildung 6 zeigt ein Generomodell der fundamentalen Wechselwirkungen. Die funda-

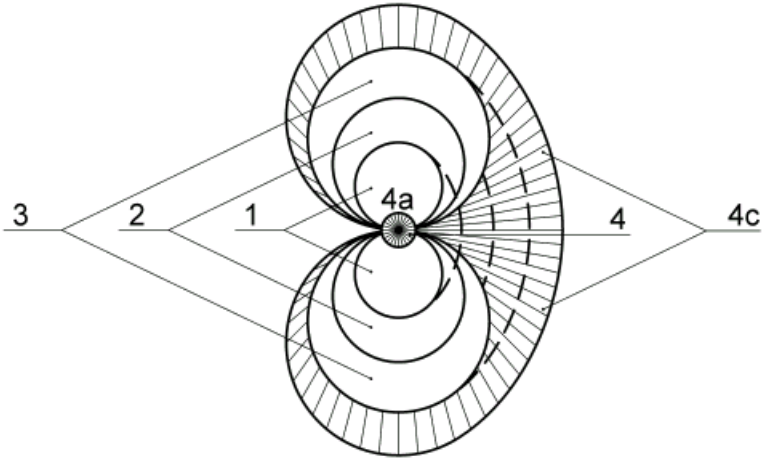


Abb. 6: Generomodell der Hierarchie fundamentaler Wechselwirkungen

mentalen Wechselwirkungen sind in der Abbildung wie folgt gekennzeichnet: *1* – schwache Wechselwirkung; *2* – starke Wechselwirkung; *3* – elektromagnetische Wechselwirkung; *4* – Gravitationswechselwirkung, deren zwei Zonen – *4a* im Zentrum und *4c* an der Peripherie – gestrichelt als Strahlen dargestellt werden, die vom Pol des Generoiden ausgehen, und dementsprechend ein Polarvolumen submikroskopischen Ausmaßes sowie einen Torus maximalen Ausmaßes einnehmen, umrissen von der Außenwindung des Geners. Beide Zonen schließen sich zusammen, weshalb die zwischen ihnen eingeschlossenen Tori der übrigen Wechselwirkungen „von den Strahlen des Einflusses“ der Gravitationswechselwirkung durchdrungen zu sein scheinen – der Tatsache entsprechend, dass die Gravitationswechselwirkung allen Arten der Materie eigen ist. Da zwischen dem submikroskopischen Radius der Zone *4a* und dem Radius 10^{-15} cm des folgenden Torus eine bedeutende Lücke vorhanden ist, *kann dies auf die Existenz von Zwischentypen fundamentaler Wechselwirkungen hinweisen, die der Wissenschaft bisher noch unbekannt sind. Dabei wird die Skala der Radien des gesamten Spektrums der Wechselwirkungen stetig.* Das Generotoroid in Abbildung 6 – *Generomodell der Hierarchie fundamentaler Wechselwirkungen* – vermittelt eine anschauliche Vorstellung von der Einheit und wechselseitigen Verbundenheit aller Typen fundamentaler Wechselwirkungen, die *der Hierarchie der Strukturebenen der Materie* (dargestellt in Abb. 5) *entsprechen. In beiden Modellen*

sind die Hierarchien in sich selbst geschlossen, und „Alles" ist ständig „in Allem" präsent. Es entfällt die Notwendigkeit in den Fragen zum Anfang und Ende der Hierarchien des Weltalls.

Das Gener erklärt geometrisch anschaulich die philosophischen Vorstellungen von Notwendigkeit und Zufälligkeit, Ordnung und Chaos. Albert Einstein glaubte an die gesetzmäßige Regelung der Welt. Seine Meinung drückte er aphoristisch aus: „*Gott würfelt nicht*". Diese Äußerung widerspricht aber seinen Worten vom „*freien Spiel mit den Symbolen*". Warum ist, was dem Forscher der Welt „gestattet" ist, seinem Schöpfer nicht „erlaubt"? (Ist die kleine Kritik am Jubilar entschuldbar?) *Die Gesetzmäßigkeit, nach der die Welt gebaut ist, kann voll vorsehen, dass in ihr nicht nur Ordnung, sondern auch Chaos existiert.* Das veranschaulicht gut das Gener mit einer unendlichen Menge von inneren Windungen. Das ist ein verallgemeinertes Schema der Entwicklung (Evolution) als unendlichen Prozess von Änderungen. Die Generoide können als Modelle der Strukturen betrachtet werden, die sich im Verlaufe dieser Prozesse bilden. Die Windungen des Geners sind die *Kanäle der Evolution*, und ihre Kreuzung im Pol ist der Mittelpunkt aller möglichen Wege der Änderung des Systems (Mediums). Da den Pol die unendliche Menge der Windungen – Kanäle der Evolution – durchläuft, ist es unmöglich exakt vorherzusagen, durch welche von ihnen die Entwicklung laufen wird. Der Pol des Geners ist ein spezieller (singulärer) Punkt oder das Gebiet aller Werte der Wahrscheinlichkeit für die „Wahl" dieses oder jenes Weges (Windung). Hier erfolgt die zufällige Wahl einer von den unzähligen Möglichkeiten für den Ausweg des Systems aus dem Chaos der Unbestimmtheiten. Bildlich kann man sagen, dass im Pol wie in einem teuflischen (oder göttlichen?) Tiegel das Magma der Unbestimmtheiten kocht. In irgendeinem Moment fällt es in einen der Kanäle, wobei es sich in sein Gegenteil umwandelt – in die Bestimmtheit des gefundenen Weges. Im Pol gibt keinerlei Bestimmtheit, *Determiniertheit*. In ihm ist ein zufälli*ges*, wahrscheinliches, *stochastisches (*vom griechischen „stochasis" – „Vermutung") „Etwas".

Bekanntlich nimmt man bei der Wahl einer Variante der Handlungen, wenn man die Folgen der getroffener Entscheidung schwer vorhersehen kann, Zufälligkeit an. Man *würfelt*. In der Wahrscheinlichkeitstheorie gibt es den Begriff „zufällige Größe". Gewöhnlich wird das am Beispiel des *Würfels* erklärt. Die Wahrscheinlichkeit ist das Maß der Möglichkeit. *Das Maß ist die Grenze*, mit der in der Einheit von Qualität und Quantität auf eine Änderung eine andere Änderung folgt. Im Generoschema der Evolution *ist eine der*

Grenzen der Pol, der die ganze Unendlichkeit der möglichen Änderungen zusammen bindet.

Wenn man sich den Ideen der Philosophen der Antike zuwendet, so kann man sehen, dass man im Pol das anfängliche Chaos unterbringen muss, aus dem nach ihren Vorstellungen über eine Kette von unendlich vielen Änderungen alle konkreten Stoffe und Erscheinungen hervorgehen. Es wurde *„Äon“* genannt und als einer der allgemeinsten Begriffe behandelt. Anaximander meinte, dass Äon die Zeit ist „als gewisse ungeteilte, in sich selbst geschlossene Struktur, das unendliche Äon“. Empedokles nannte es „das unaussprechliche Äon“. In der gesamten Geschichte der Philosophie bleibt das Fragment von Heraklit rätselhaft: *„Äon ist ein spielendes Kind, das würfelt“* [7]. Die Interpretation durch das Gener zeigt, dass es in diesem Fragment kein Rätsel gibt, sondern es die exakt und poetisch formulierte Meinung Heraklits über den wahrscheinlichen, stochastischen Charakter der Prozesse im Chaos ist – der Quelle des Ganzen und Wahren. Einstein würde darüber mit Heraklit diskutieren.

Hoffentlich beweisen die betrachteten Beispiele der philosophisch-geometrischen Interpretation einiger der Prozesse, mit denen sich Albert Einstein befasst hat, den Nutzen, den die Anwendung der philosophischen „Instrumentarien“ in der Wissenschaft, darunter auch das System der dialektischen Gesetzmäßigkeiten, hat. Wenn zugestimmt wird, dass es das Ergebnis des „reinen Denkens“ ist, dann sind das Gener und die Generomodelle ebenfalls „freie Schöpfungen des Denkens und können nicht aus den Sinnen-Erlebnissen induktiv gewonnen werden“. Sie dienen als solche Symbole, Ergebnisse des „freien Spiels“, mit denen gezeigt werden kann, dass das System einheitlich und sparsam aufgebaut ist und fruchtbringend verwendet kann, um „das sinnlich Erlebte zu ordnen und überschaubar zu machen“, in Übereinstimmung mit den Empfehlungen des hervorragenden Gelehrten.

Literatur

[1] *Einstein, A.*: Prinzipien der Theoretischen Physik. Antrittsrede vor der Preußischen Akademie der Wissenschaften, 2. Juli 1914.

[2] *Einstein, A.*: Mein Weltbild. Hrsg. von Carl Seelig. 24. Aufl. Ullstein Sachbuch, Frankfurt am Main, Berlin, 1991, S. 110–113.

[3] *Einstein, A.*: Bertrand Russell und das philosophische Denken. In [2], S. 35–40.

[4] *Liakhovitskaia, G.*: Gener – eine philosophisch-geometrische Modellierung der Evolution. In: Abhandlungen der WIGB, Band 2, Hrsg. V. Mairanovski, 1999, Berlin, S. 92–99.

[5] *Liakhovitskaia, G.*: „Alles in Allem“. Generomodelle und Weltbild. In: Abhandlungen der WIGB, Band 3, Hrsg. V. Mairanovski, 2003, Berlin, S. 222–228.
[6] *Markow, M.A.*, Über den Begriff der Urmaterie. In: Fragen der Philosophie 4, 1970, S.66–75, (russ.).
[7] *Nowikow, I.D.*: Die Evolution des Weltalls. Moskau, 1979, (russ.).
[8] *Lebedew, A.W.*: Äon. In: Philosophisch-enzyklopädisches Wörterbuch, Moskau, 1983, S. 801–802, (russ.).

Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät *78/79(2005), 253–257*

Oleksandr Proskura

Einsteins Quantentheorie des lichtelektrischen Effektes

Dank den ersten Arbeiten von Albert Einstein (1879–1955), die im Jahre 1905 erschienen waren, wurde dieses Jahr als „annus mirabilis“ benannt, weil Einsteins Genie in diesem Jahr die wissenschaftliche Denkweise von der klassischen Physik des 19. Jahrhunderts zu der modernen Weltanschauung veränderte und das Weltbild der Physik damit grundlegend prägen sollte.

In der ersten Arbeit aus dieser Reihe schlug Einstein eine Lichtquantenhypothese vor und stellte in Übereinstimmung mit dieser Hypothese seine ganz originelle Quanteninterpretation des lichtelektrischen Effektes auf [1]. Dazu akzeptierte Einstein die grundsätzliche Idee von Max Planck (1858–1947) über die Entdeckung des Energiequantums. In solcher Weise wurde die Quantentheorie geschaffen.

Im vorgelegten Beitrag möchte ich die geschichtlichen Ursprünge der ersten Publikation von Einstein aufzeigen, ihre Bedeutung analysieren sowie die experimentelle Bestätigung der Einsteinschen Quantentheorie des lichtelektrischen Effektes erläutern.

Das Problem der Wechselwirkung zwischen Licht und Materie hat eine fundamentale wissenschaftliche Bedeutung. Im Rahmen der Erforschung dieses Problems ist die Quantentheorie durch experimentelle und theoretische Forschung der Wärmestrahlung des schwarzen Körpers entstanden. Das Forschungsinteresse an der Wärmestrahlung war durch den praktischen Bedarf, elektrische Glühlampen zu kalibrieren und die Lichtmessungsstandards auszuarbeiten, beeinflusst worden. Mit Erfolg führten Berliner Physiker entsprechende Forschungen unter Förderung von Hermann von Helmholtz (1816–1892) an der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt und an der Technischen Hochschule Charlottenburg durch. Zu dieser Zeit musste man schon die Energieverteilung im langwelligen Teil des gemessenen Spektrums richtig beschreiben. Das machte Planck, dem es zwischen dem 19. Oktober und dem 14. Dezember 1900 gelang, theoretische Klarheit über das Problem der Strahlung zu gewinnen. Heinrich Rubens bekräftigte die neue Formel von

Planck und informierte ihn über die gute Übereinstimmung seiner Messungen im fernen Infrarot mit den nach der neuen Formel berechneten Werten. Es war u.a. wichtig, dass Planck bei der theoretischen Vollendung seiner Formel einen neuen Begriff „Energieelement ε" eingeführt hat. Das Energieelement muss proportional der Frequenz ν eines elementaren Resonators sein, also $\varepsilon = h \cdot \nu$, wo h die Plancksche Kostante ist. Das war der Anfang der Quantentheorie.

Wenden wir uns nun dem lichtelektrischen Effekt zu. Der Effekt wurde Anfang 1887 von Heinrich Hertz (1857–1894) entdeckt, der eine Einwirkung einer elektrischen Entladung in einem elektrischen Kreis mit einem Luftentlader auf eine elektrische Entladung im anderen analogen Kreis bemerkte. Die Einwirkung zeigte sich als Vergrößerung eines Abstandes zwischen metallischen Elektroden des passiven Entladers durch die UV-Bestrahlung der negativen Elektrode von den aktiven Funken. Seine Versuche stellte Hertz in 18 Punkten eingehend dar [2].

Den nächsten Schritt machte Wilhelm Hallwachs (1859–1922) am 27. November 1887 mit seinem Grundversuch der lichtelektrischen Entladung. Mit Hilfe eines Elektroskops demonstrierte Hallwachs eine Freisetzung der negativen elektrostatischen Ladung von einer aufgeladener Zn-Platte beim UV-Belichten dieser Platte [3]. Die vorher negativ geladene Platte verlor ihre Ladung und lud sich schließlich bis zu einem bestimmten Potenzial positiv. Nach den Versuchen von Hallwachs wurde die von ihm erforschte Erscheinung einige Zeit als Hallwachs-Effekt benannt. Dieser Effekt ergibt sich bei allen festen Körpern.

Der Erforschung des lichtelektrischen Effektes wandten sich viele Physiker zu. Einer der ersten war Augusto Righi (1850–1920), der einen neuen Begriff der „Photozelle" einführte und die Potentialdifferenz zwischen beiden Elektroden der Photozelle vermessen konnte.

Zur selben Zeit 1889 beobachtete Alexander Stoletov (1839–1896) dank seiner neuen Methode die so genannten „aktinoelektrischen Ströme". Diese Ströme bestehen darin, dass wenn man eine, sich in Vakuum befindliche Metallelektrode mit dem negativen Pol einer Batterie verbindet und dann durch die andere Elektrode, die ein Drahtnetz darstellt, belichtet, ein Strom von der belichteten zu unbelichteten Elektrode hinüberfließt. Somit befand sich A. Stoletov der Entdeckung der Kathodenstrahlen sehr nahe. Stoletov formulierte auch das erste lichtelektrische Gesetz – der Lichtstrom ist der Lichtstärke direkt proportional [4].

Hallwachs fasste zusammen: dass „... fast alle prinzipiellen Fortschritte in den ersten drei Jahren seit Eröffnung dieses Gebietes hervorgebracht worden sind … Allgemeine Resultate: Die Wirkung des Lichtes erfolgt auf den Körperraum, nicht auf den Gasraum. Die Absorption von Licht ist notwendige Bedingung. Die entladenen Elektrizitätsmengen sind der Lichtstärke proportional. Auch von hinten eintretendes Licht ruft Lichtelektrizität hervor. Ein Zeitverlust im Eintreten der Erscheinungen oder eine Nachwirkung findet nicht statt. Eine sehr große Anzahl verschiedenartigsten Körper ist lichtelektrisch wirksam" [3].

Die o.g. bedeutenden Physiker hatten auch ihre Vorläufer. Manuelli beobachtete im Jahre 1869, dass das Belichten der Kathode das Funkenüberspringen erleichtert [5]. A. Nodon verlor 1885 die Priorität, weil er seine Ergebnisse, die mit Ergebnissen von W. Hallwachs übereinstimmten, nicht rechtzeitig veröffentlichte [4].

Seit 1888 entwickelten Julius Elster (1854–1920) und Hans-Friedrich Geitel (1855–1923) eine kugelförmige Photozelle mit einem Sonderfenster für den Lichteintritt zur Kathode und entdeckten den lichtelektrischen Effekt in Alkalimetallen beim Belichten dieser Stoffe durch Licht mit langen Wellen. Ihre Ergebnisse waren für praktische Verwendung des lichtelektrischen Effektes von großer Bedeutung.

Die grundlegenden Untersuchungen auf dem Gebiet der lichtelektrischen Eigenschaften von Metallen wurden von Philipp Lenard (1862–1947) im Zeitraum zwischen 1899 bis 1905 durchgeführt. Mit seinen Beiträgen zur Physik der Kathodenstrahlen und anderen Beiträgen zur zeitgenössischer Physik gehört der Nobelpreisträger des Jahres 1905 Ph. Lenard zu den profiliertesten Physikern an der Wende zwischen 19. und 20. Jahrhundert. Lenard stellte fest, dass die Geschwindigkeit der losgelösten Elektronen nicht von der Intensität, sondern von der Frequenz der auffallenden Strahlen abhängt und zusammen mit der Frequenz wächst ([6], [7]). Es wurde festgestellt, dass die Variierung der Intensität des Lichtes nur die Stromstärke verändert, d.h. die Zahl der lostgelösten „Elektroquanten" – Elektronen. Lenard konnte Verhaltensregeln der losgelösten Elektronen zwischen zwei Elektroden in einer Photozelle erläutern. Doch brauchte man eine zahlenmäßige Theorie. Hier kam Einstein mit seiner Hypothese voran [1].

Einstein konnte theoretisch zeigen, dass monochromatische Strahlung sich so verhält, als wenn sie aus voneinander unabhängigen Energiequanten von der Größe hν besteht. Einstein schuf damit den Begriff des „Lichtquants". Seine Schlussfolgerung, dass das Licht eine Teilchenstruktur besitzt,

stand der elektromagnetischen Lichttheorie diametral entgegen. Diese Schlussfolgerung besaß keine Rechtfertigung außer der, dass man mit deren Hilfe den lichtelektrischen Effekt und noch einige physikalische Erscheinungen mit den experimentellen Tatsachen in Übereinstimmung bringen konnte [8]. Einstein stellte die Energiebilanz fest, nach der ein Lichtquant seine gesamte Energie an ein Elektron abgibt, so dass das Elektron dadurch die Körperfläche verlassen kann. Da das gelöste Elektron zum Verlassen der Körperfläche eine Austrittsarbeit zu leisten hat, ergibt sich die so genannte Einsteinsche Gleichung für den lichtelektrischen Effekt:

$$m v^2 / 2 – h\nu – P$$

wobei m - die Elektronenmasse, v - die Maximalgeschwindigkeit des freigesetzten Elektrons, h - die Plancksche Konstante, ν - die Frequenz des Lichtes und P - die charakteristische Austrittsarbeit für das entsprechende Metall darstellt. Die links in der Gleichung stehende maximale kinetische Energie des freigesetzten Elektrons zeigt eine lineare Abhängigkeit von der Frequenz des einfallenden Lichtes. Man musste diese lineare Beziehung, die als lichtelektrische oder Einsteinsche Gerade bezeichnet wird, experimentell feststellen, um die Einsteinsche Theorie zu überprüfen bzw. zu bekräftigen. Die entsprechenden Versuche wurden von Robert Millikan (1868–1953) im Jahre 1916 erfolgreich durchgeführt [9].

Es ist ferner wichtig, sich an die historische Situation mit der Erforschung eines der ersten lichtelektrischen Phänomene – des Becquerel-Effektes zu erinnern. Der Effekt wurde von E. Becquerel 1839 entdeckt und von A. Goldmann und J. Brodsky 1914 entsprechend der Stoletovschen Methode untersucht. Den Becquerel-Effekt kann man in folgender Weise beschreiben: „So bezeichnet man die bei Belichtung auftretende Potentialänderung einer Metallelektrode in einem Elektrolyt, wobei entweder die Elektrode mit einer dünnen, festen, lichtempfindlichen Schicht bedeckt ist, oder der Elektrolyt eine lichtempfindliche Substanz enthält ” (nach Ch. Ries, 1909). Die von A. Goldmann geäusserte Erläuterung des Becquerel-Effektes korrelierte mit der Einsteinischen Hypotese [10].

Für die Erforschung der lichtelektrischen Effekte wurden Einstein 1921 und Millikan 1923 mit den Nobelpreisen für Physik geehrt.

Literatur:

[1] A. Einstein: Über die Erzeugung und Verwandlung des Lichtes betreffenden heuristischen Gesichtspunkt. Ann. Phys. 1905, Bd. 17, 6. Heft, S. 132–148.

[2] H. Hertz: Über einen Einfluss des ultravioletten Lichtes auf die elektrische Entladung. Ann. Phys. u. Chem. 1888, Bd. 31, S. 983–1000.
[3] W. Hallwachs: Die Lichtelektrizität. Handbuch der Radiologie. 1916, Bd. 3, S. 245–563, Leipzig, Akademische Verlagsgesellschaft M.b.H.
[4] П. Г. Борзяк: Начальный период истории внешнего фотоэффекта и значение работ Столетова (к шестидесятилетию со дня смерти А.Г. Столетова). Успехи физ. наук. 1956, Том 58, С. 715–747.
[5] J. Plotnikow: Allgemeine Photochemie. 1936, Berlin und Leipzig, Walter De Gruyter & Co.
[6] P. Lenard: Erzeugung von Kathodenstrahlen durch ultraviolettes Licht. Ann. Phys. 1900, Bd. 2, S. 359–375.
[7] P. Lenard: Über die lichtelektrische Wirkung. Ann. Phys. 1902, Bd. 8, S. 149–198.
[8] D. Hoffmann, J. Lemmerich: 100 Jahre Quantentheorie: Die Vor- und Frühgeschichte. Ausstellungskatalog. 2000, Berlin, Deutsche Physikalische Gesellschaft.
[9] R. A. Millikan: The Electron. Its isolation and measurement and the determination of some of its properties. 1918, Chicago. The University of Chicago Press, Chicago, Illinois.
[10] P. Görlich: Photoeffekte, Band 1. Historische Entwicklung Photoemission der Metalle. 1962, Leipzig. Akademische Verlagsgesellschaft Geest & Portig K.-G.

Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät *78/79(2005), 259–276*

J. Michael Köhler

Masse und Energie im Universum – Diskussion eines alternativen Ansatzes

1. Einleitung

Die moderne Kosmologie basiert auf drei fundamentalen Erkenntnissen, die 1905 durch Albert Einstein veröffentlicht wurden: dem Quantencharakter des Lichtes (Einstein 1905a), der speziellen Relativitätstheorie (Einstein 1905b) und der Äquivalenz von Masse und Energie (Einstein 1905c). Die bahnbrechenden Arbeiten erschlossen eine neue Sichtweise auf das Verständnis der Natur. Ihre praktische Umsetzung führte zu neuen Instrumenten, mit deren Hilfe Beobachtungen möglich wurden, die diese Sichtweise bestätigten und weitergehende Beobachtungen ermöglichten, die zu neuen Denkansätzen und Fragestellungen führen (vgl. dazu Hörz 2003).

In Übereinstimmung mit der Theorie können viele Phänomenen, die im Kosmos beobachtet werden, mit Gesetzen erklärt werden, die durch Experimente auf der Erde bestätigt worden sind. In den letzten Jahrzehnten ist durch die Erweiterung des spektralen Fensters der astronomischen Beobachtung eine Vielzahl neuer Objekte und Prozesse im Universum entdeckt und näher charakterisiert worden. Das von den meisten Forschern favorisierte Standardmodell geht dabei u.a. von folgenden Prämissen aus:
die Konstanz der Vakuumlichtgeschwindigkeit
die Konstanz des Planckschen Wirkungsquantums
der Masse/Energieerhaltungssatz (erster Hauptsatz der Thermodynamik)
die Konstanz der Ruhemassen der Elementarteilchen
die Konstanz der Elementarladung
die Konstanz der elektrischen Feldkonstante
der zweite Hauptsatz der Thermodynamik (Zunahme der Entropie in abgeschlossenen Systemen)
die Erklärung der kosmischen Rotverschiebung durch den Dopplereffekt.

Daraus leiten sich wichtige Schlußfolgerungen für das Weltall als Ganzes ab:

- Die Gesamtenergie (einschließlich der Äquivalentenergien aller Massen) des Universums ist konstant.
- Die Gesamtmasse des Universums ist soweit konstant, wie nicht Masse und Energie entsprechend der Einsteinschen Beziehung $E=mc^2$ ineinander umgewandelt werden.
- Das Universum hat sich seit seiner Entstehung ausgedehnt.
- Das Universum hat ein endliches Alter.
- Der Anfang des Universums lag in einem Raumpunkt.
- Durch die Expansion des Universums hat sich die Massen/Energie-Dichte annähernd mit der dritten Potenz der Zeit vermindert.
- Durch die Expansion hat sich das Universum von anfänglich sehr hohen Temperaturen (im Mittel) fortwährend abgekühlt.
- In seiner ersten Phase muß das Universum extrem dicht und extrem heiß gewesen sein.
- In der Anfangsphase waren massebehaftete Elementarteilchen und Photonen nicht unterscheidbar.
- Eine Serie von Symmetriebrüchen hat zur Entstehung des Spektrums an Elementarteilchen und zu dem heute beobachteten, hochgradig strukturierten Universum geführt.

Zu Anfang des 20. Jahrhunderts herrschte die Vorstellung weitgehend konstanter Verhältnisse im Universum vor. Das Weltall wurde zunächst als dynamischer Fließgleichgewichtszustand angesehen („steady-state-Modell"). Dieses Modell geriet jedoch durch die Beobachtung der mit der Entfernung kosmischer Objekte zunehmenden Rotverschiebung und dem Nachweis der kosmischen Hintergrundstrahlung in Zweifel. Als Konsequenz wurde auf ein fortwährend expandierendes Universum geschlossen. Die postulierte Gleichmäßigkeit der Expansion wird jedoch durch neuere Messungen an Supernovae aus Galaxien mit hohen z-Werten in Frage gestellt, die sich im Rahmen des Standardmodells nur durch die Annahme einer Beschleunigung der Expansion erklären läßt (Riess et al. 1998).

2. Ausgangssituation

2.1. Das Problem der Anfangssingularität („Urknall") im kosmologischen Standardmodell

Nach dem Standardmodell waren im Gegensatz zur heutigen Situation in der Initialphase des Universums die bekannten und immer wieder bestätigt gefundenen Naturgesetze (wie etwa der Energieerhaltungssatz) offensichtlich ungültig. Die massive Verletzung wird durch die Definition einer Ausnahme-

situation gerechtfertigt. Diese Ausnahmesituation wird durch die Annahme erklärt, daß zu dem extrapolierten Zeitpunkt, in dem die Masse des Universums in einem Raumpunkt integriert gewesen sein muß, eine Singularität erreicht ist, in der die Gültigkeit der ansonsten gültigen physikalischen Gesetze nicht mehr gegeben ist. Trotz der Leistungsfähigkeit des Standardmodells in vielen Details bleibt es wegen der Aussagen zur frühen Entwicklungsphase unbefriedigend (Cole 1998).

Betrachtet man den Übergang in diese Anfangssingularität retrospektiv, so bedeutet die Extrapolation des Universums in einen Raumpunkt die instantane Bildung von Masse und Energie und das Auftreten annährend unendlich hoher Energie- bzw. Massendichte in der Initialphase. Es gibt mit der Zeit jedoch eine Größe, die sich einigermaßen exakt dieser Singularität zuordnen läßt. Die astrophysikalischen Beobachtungen legen nach den oben rekapitulierten Annahmen die Entstehung des Weltalls und damit seines Raumes aus einem Punkt an einem bestimmten Zeitpunkt nahe. Gleichzeitig gestatten sie, den größten Teil des Expansionsprozesses zeitlich zu überblicken. Durch die Extrapolation in eine räumliche Singularität, wie sich aus der Beobachtung erschließt, ist aber eine zeitliche Singularität keineswegs automatisch gegeben. Im Gegenteil, es gibt keinen Anhaltspunkt dafür, daß nicht auch eine Zeit vor der Anfangssingularität existiert hat. Folglich ist es sinnvoll, über Bedingungen, Zustände, Prozesse nachzudenken, die vor der Anfangssingularität eine Rolle spielten oder diese beeinflußten.

Das erneute Nachdenken über die Anwendbarkeit des Standardmodells wird zudem durch jüngere Beobachtungen herausgefordert. Dazu gehört z.B. die Identifizierung von Galaxien mit hoher Rotverschiebung, d.h. weit entfernten und demzufolge jungen Galaxien, die sich entgegen der Erwartung als bereits hoch entwickelt erweisen (Cimatti et al. 2004).

2.2. Fundamentale Größen

Die Zweifel an dem in vielerlei Hinsicht bewährten Standardmodell haben immer wieder zu seiner kritischen Hinterfragung geführt (z.B. Görnitz 1986). Ein wichtiges Indiz für eine Verletzung wäre der Nachweis, daß zumindest eine der als konstant angenommenen Größen in Wirklichkeit nicht konstant ist. Ein entsprechender Nachweis würde Korrekturen erfordern, die gegebenenfalls zu einem verbesserten Modell führen.

Die Zurückführung realer Strukturen auf Fundamentalgrößen wurde bereits verschiedentlich diskutiert (so etwa Dirac 1938, Dicke 1961, Weinberg 1988), mündete aber nicht in alternative Modellansätze. In den letzten Jahren

hat es eine ganze Reihe von Untersuchungen gegeben, die sich der Untersuchung der tatsächlichen Konstanz von Naturkonstanten widmeten (z.B. Bize et al. 2003, Ashenfelter et al. 2004, Ubachs und Reinhold 2004). Bisher sind dabei jedoch trotz zum Teil extrem hoher Genauigkeit der Messungen noch keine Abweichungen vom Konstanzpostulat sicher nachgewiesen worden. Dieser Befund läßt drei mögliche Schlußfolgerungen zu:

1. Die sogenannten Konstanten sind wirklich konstant.
2. Die sogenannten Konstanten verändern sich, jedoch so langsam, daß wir es mit den heutigen Meßmethoden bisher nicht nachweisen können.
3. Die Veränderungen der Konstanten weisen untereinander derartige Beziehungen auf, daß sie nicht detektiert werden können, wenn die Konstanz der jeweils anderen Konstanten vorausgesetzt wird.

Die als konstant angesehenen Größen lassen sich in vier Gruppen einteilen:

1. dimensionsbehaftete Größen, die mikroskopische Objekte betreffen, wie die Elementarteilchenmassen und die Elementarladung
2. dimensionsbehaftete Größen, die Kraftwirkungen über Entfernungen betreffen, wie die Gravitationskonstante, die elektrische (bzw. magnetische) Feldkonstante
3. dimensionsbehaftete universelle Konstanten, die zwischen dem Mikro- und dem Makrokosmos vermitteln, wie die Lichtgeschwindigkeit und das Plancksche Wirkungsquantum
4. dimensionslose Verhältniszahlen, wie die Sommerfeldsche Konstante des elektromagnetischen Feldes

Unter diesen Konstanten stellen diejenigen der dritten Gruppe die Verbindung von Massen und Frequenzen zur Energie her. Die Verbindung der elementaren Größen Masse m, Zeit t (Frequenz ν) und Länge l mit der Energie muß für die Diskussion des Energieerhaltungssatzes besonders wichtig sein. Die Beschreibung erfolgt durch eine allgemeine Gleichung für die Äquivalenz der Energie E mit den Elementargrößen X, wobei ein größenspezifischer Parameter a_i auftritt:

$$E = a_i * X \qquad (2\text{-}1)$$

Die Lichtgeschwindigkeit ist der Parameter der Masse-Energie-Äquivalenz ($a_1 = c^2$) . Das Plancksche Wirkungsquantum ist der Parameter der Frequenz -(Zeit-)Energie-Äquivalenz ($a_2 = h$). Ein entsprechender Parameter für die Länge ist uns nicht so geläufig. Er ergibt sich aber zwanglos als der Quotient der vierten Potenz der Lichtgeschwindigkeit und der Gravitationskonstante ($a_3 = c^4/G$). Ihre Quadratwurzel soll hier im folgenden als abgeleitete Gravitationskonstante f bezeichnet werden.

Die drei entsprechenden Gleichungen lauten:

$$E = a_1 * m = c^2 * m \quad (2\text{-}2)$$

$$E = a_2 * \nu = h * \nu \quad (2\text{-}3)$$

$$E = a_3 * l = f^2 * l \qquad \text{mit } f = c^2 / G^{1/2} \quad (2\text{-}4)$$

So wie der erste Parameter das Verhältnis von Energie pro Masse und der zweite Parameter das Verhältnis von Energie pro Frequenz beschreiben, gibt der dritte Parameter das Verhältnis von Energie pro Länge an.

Mit der Annahme, daß die Lichtgeschwindigkeit als Fundamentalgröße durch das Produkt einer fundamentalen Länge und einer fundamentalen Frequenz gegeben ist, erhält man den Satz der Planck-Größen von Masse, Frequenz (reziproke Planck-Zeit t_p) und Länge als Funktion einer fundamentalen Energie E_p:

Planckmasse: $m_p = E_p / c^2$ (2-5)

Planckfrequenz: $\nu_p = 1/t_p = E_p / h$ (2-6)

Plancklänge: $l_p = E_p / f^2$ (2-7)

In analoger Weise läßt sich eine fundamentale Temperatur angeben, wobei die Boltzmannkonstante k_B als Parameter fungiert:

Fundamentaltemperatur: $T_p = E_p / k_B$ (2-8)

Die Boltzmannkonstante stellt sich als fundamentale Entropie dar.

Die Reihe der fundamentalen Energiebeziehungen wird durch das Coulombgesetz für die elektrostatische Wechselwirkungen komplettiert (q_e...Elementarladung, α... Feinstrukturkonstante):

$$E = [\alpha * h * c/(q_e^2 * 2 * B)] * q^2/r \quad (2\text{-}9)$$

Die Energie E_e für die Wechselwirkung zwischen Elementarteilchen ergibt sich zu:

$$E_e = [\alpha * h * c/(q_e^2 * 2 * B)] * q_e^2/r = [\alpha * h * c/(2 * B * r)] = \alpha/(2 * B) * h * c/r \quad (2\text{-}10)$$

Die daraus abgeleitete Fundamentalenergie für einen Abstand von $r=l_p$ führt zu einer Gleichung, die bis auf den Vorfaktor $\alpha/2B$ mit Gleichung (2-6) identisch ist:

$$E_{ep} = \alpha/(2 * B) * h / t_p \quad (2\text{-}11)$$

Im folgenden wird die Entwicklung eines expandierenden, massegenerierenden Universums auf der Basis dieser fundamentalen Größen diskutiert. Von den Naturkonstanten werden zur Definition der drei Planckschen Fundamentalgröße l_p, t_p und m_p lediglich das Plancksche Wirkungsquantum, die Lichtgeschwindigkeit und die Gravitationskonstante benötigt. Diese drei Parameter werden im folgenden als wirkliche Konstanten betrachtet.

3. Kosmogenese unter Massenbildung

3.1. Die Anfangsfluktuation

Der Energie- und Massenerhaltungssatz wurden experimentell immer innerhalb gegebener Räume bestätigt. Es wird hier vorsichtig die Möglichkeit in Betracht gezogen, daß dieser Befund so nicht gelten muß, wenn der Raum selbst veränderlich ist. Die Entstehung von Masse im Universum scheint im Widerspruch zum ersten Hauptsatz der Thermodynamik. Sie wird jedoch im Zusammenhang mit der Interpretation der kosmischen Isotopenverteilung diskutiert (G. Burbidge et al. 1999). Deshalb soll im folgenden der Gedanke einer allmählichen Massenzunahme in einem expandierenden Universum als Denkmodell vorgestellt werden.

Die Quantentheorie lehrt das Auftreten von kleinen reversiblen, spontanen Veränderungen, d.h. Fluktuationen. Fluktuationen setzen Zeit voraus. Wenn man davon ausgeht, daß eine Fluktuation zur Entstehung eines Universums führen kann, so erscheint es am vernünftigsten, nach den oben gemachten Voraussetzungen über fundamentale Konstanten anzunehmen, daß am Anfang des Universums eine Fluktuation mit der Amplitude der Planckgrößen vorgelegen hat. Unter dieser Grundannahme muß nur die Zeit als präexistierende Größe überhaupt vorausgesetzt werden. Die einfachste vorstellbare Fluktuation besteht in einer Energieamplitude E_p über einen Zeitraum von t_p. Dieser Energiefluktuation entspricht eine Äquivalentmassenfluktuation von m_p sowie eine Raumfluktuation auf der Länge von l_p.

Die so beschriebene Fluktuation ist unabhängig davon, ob man keinen Raum oder einen fiktiven Raum vor dem Beginn unseres Universums voraussetzt. Kosmischer Raum ist keine Voraussetzung für die Fluktuation. Ebenso werden weder Masse noch Energie vorausgesetzt. Aber es wird angenommen, daß wegen der oben genannten Verknüpfung von Masse, Frequenz und Länge über die Energie die Fluktation ihrem Charakter nach alle diese Größen gleichermaßen betrifft. Die Anfangsfluktuation ist eine Energie-Masse-Frequenz-Längen-Fluktuation. Die verschiedenen Größen sind dabei Ausdruck ein und desselben Prozesses. Die Fluktuation betrifft aber tatsächlich nur elementare Einheiten: das kleinste denkbare Zeitintervall, aber damit verbunden die größte denkbare Frequenz; die kürzeste denkbare Längeneinheit und das kleinste denkbare Rauminkrement, aber damit verbunden die kürzeste denkbare Wellenlänge.

Das Auftreten einer fundamentalen Masse m_p, die sehr viel größer ist als die Massen der Elementarteilchen erklärt sich aus den extrem kleinen Zeit- und Längeninkrementen, die durch l_p und t_p gegeben sind. Die Massenfluktuation kann wegen der Bedingungen der Raumfluktuation nicht kleiner als

die Fundamentalmasse sein. Kleinere Energie- und Massenportionen sind zwingend an größere Längen und niedrigere Frequenzen gebunden.

Als erster Schritt zu einem Universum wäre somit eine Fluktuation vorzustellen, die ein Rauminkrement mit der Länge l_p und damit vermutlich ein Volumenelement von der Größenordnung l_p^3 entstehen läßt. Dieses Volumenelement korrespondiert dabei mit einer Energiefluktuation von E_p, die der Äquivalentmasse m_p entspricht. Fluktuationen sind Ereignisse mit temporärem Charakter und (zumeist) vernachlässigbarer Wirkung. Ein Universum kann nur entstehen, wenn die Fluktuation eine Veränderung bewirkt. Da die Zeit vorausgesetzt wurde, muß für das Schicksal der Fluktuation im weiteren nach der Entwicklung von Länge, Energie und Masse gefragt werden.

3.2. Die Expansion

Die Beobachtung, daß sich weit entfernte kosmische Objekte annähernd mit Lichtgeschwindigkeit von uns fortbewegen, wird im Standardmodell als eine Ausbreitung von Masse und Energie in einem präexistierenden Raum angesehen. Die Existenz des Raumes ist nur insofern in Frage gestellt, als Raum ohne Materie und Energie als irrelevanter Raum betrachtet werden. Da wir in unterschiedlichen Raumrichtungen sehr weit entfernte Objekte sehen können, ist die Annahme eines in sich gekrümmten Raumes angenehm, weil in einem solchen Raum zwei in entgegengesetzten Richtungen von uns weit entfernte Objekte einander nahe stehen könnten und es dadurch nicht zu relativen Geschwindigkeiten oberhalb der Lichtgeschwindigkeit kommen muß. Materie bewegt sich diesem Bild zufolge mit Geschwindigkeiten bis knapp unter der Lichtgeschwindigkeit, Photonen bewegen sich mit Lichtgeschwindigkeit durch diesen Raum.

Nimmt man jedoch an, daß am Anfang kein Raum existierte, in den sich die Massen und Energien des Universum ausbreiten konnte, so muß der Verteilungsprozeß der Massen und Photonen im Zusammenhang mit der Raumentstehung selbst betrachtet werden. Der Raum kann sich nicht langsamer ausbreiten als die am schnellsten bewegten Objekte. Deshalb ist die Annahme einer Raumausbreitung mit Lichtgeschwindigkeit sinnvoll. Die Ausbreitungsgeschwindigkeit des Raumes ist gerade gleich der Lichtgeschwindigkeit, wenn in jedem Zeitintervall t_p eine Zunahme des Raumes um die inkrementale Längeneinheit l_p stattfindet.

Dieses Modell ist mit dem Wachstum eines in sich gekrümmten Universums gut verträglich. Das eindimensionale Modell eines solchen dreidimensionalen Raumes wird durch einen unendlich dünnen ringförmigen Gummifaden gegeben, der sich so dehnt, daß die maximale Geschwindigkeit,

mit der sich zwei Objekte auf entgegengesetzten Punkten des Rings voneinander entfernen, gerade gleich der Lichtgeschwindigkeit ist:

$$(dl/dt)_{max} = c \quad (3\text{-}1)$$

Die Dehnungsgeschwindigkeit $(dl/dt)_{cs}$ des Ringdurchmessers beträgt in diesem Modell:

$$(dl/dt)_{cs} = 2^* c/B \quad (3\text{-}2)$$

Die Länge jeden Halbelements des Rings nimmt in jedem Zeitinkrement um l_p zu, d.h. der Ring als Ganzes wächst in jedem Zeitinkrement um 2^*l_p. Die relative Ausdehnungsrate r_{exp} ist leicht aus dem Verhältnis des in jedem Zeitinkrement hinzukommenden Längeninkrementes l_p und der Gesamtausdehnung des Rings l_{univ} (Umfang) zu bestimmen:

$$r_{exp} = 2 * l_p/l_{univ}/t_p \quad (3\text{-}3)$$

Von einem Beobachter wird in solch einem Raum nur ein Halbmesser als maximale Entfernung l_{oo} wahrgenommen:

$$l_{oo} = l_{univ} \quad (3\text{-}4)$$

mit

$$r_{exp} = l_p/(l_{oo}*t_p) \quad (3\text{-}5)$$

Überträgt man die maximale Tiefe des so expandierenden Raumes im eindimensionalen Modell auf das beobachtbare Universum ($l_{oo} = 1.3 * 10^{26}$ m; Konstanten hier und im folgenden zitiert nach Mohr und Taylor 1998), so erhält man als gegenwärtige relative Expansionsrate:

$$r_{exp} = 1{,}6*10^{-35} \text{ m} / (1.3 * 10^{26}\text{m} * 5{,}4*10^{-44} \text{ s}) = 0{,}57 * 10^{-18} \text{ s}^{-1} \quad (3\text{-}6)$$

Das entspricht gerade der wahrgenommenen Ausbreitung mit Lichtgeschwindigkeit. Mit dem Alter des Universums t_h ist mit

$$t_h = l_{oo}/c \quad (3\text{-}7)$$

die Zahl der Zeitinkremente N seit der Anfangsfluktuation gegeben:

$$N = t_h/t_p = 8 * 10^{60} \quad (3\text{-}8)$$

Das Volumen des entstandenen Raumes V_{oo} wird durch eine Kugelnäherung mit dem Radius l_{oo} beschrieben:

$$V_{oo} = 4/3 * B^* l_{oo}^3 = 4/3 * B^* N^3 * l_p^3 \quad (3\text{-}9)$$

3.3. Raumverspannung

In den nächsten Abschnitten werden drei Betrachtungsweisen für den Eintrag von Energie bzw. Masse als Kompensation für den sich bildenden Raum

während der Expansion des Universums diskutiert: ein Raumspannungsmodell, die Lorentztransformation für eine bewegte Masse und eine Photonenkonversion.

Der oben dargestellten Hypothese der Entwicklung des Weltalls entspricht eine zahlenmäßige Zunahme der Zahl elementarer inkrementeller Raumeinheiten in den Schritten der elementaren Zeiteinheiten. Als Basis werden dafür Kuben mit der Seitenlänge der Plancklänge l_p und die Planckzeit t_p vorausgesetzt. Ferner wird angenommen, daß am Startpunkt von einem einzigen Raumelement ausgegangen wird, und die Zahl der Rauminkremente in allen Raumrichtungen im Takt der Zeitinkremente zunimmt, d.h. – zumindest annähernd – eine Kugelform hervorbringt. Die Zahl der Raumelemente N_r wächst kubisch mit der Zahl der Zeitelemente N:

$$N_r \sim N^3 \tag{3-10}$$

Wegen der Orthogonalität der drei Raumachsen einerseits und der konzentrischen Ausbreitung der Raumentwicklung andererseits, resultiert bei jedem inkrementellen Zeitschritt eine Volumendifferenz zwischen idealen Kugelschalen V_{ks} und einer Monolage von Elementarkuben V_{mk}, die auf einer ebenen Fläche gleichen Inhalts wie die Kugeloberfläche unterzubringen wären. Wegen des vorausgesetzten elementaren Charakters der Rauminkremente ergibt sich als Konsequenz aus dieser Volumendifferenz eine Verspannung des Raumes σ an der Oberfläche der expandierenden Kugel, die der in jedem Zeitinkrement generierten Elementarverspannung σ_p, d.h. gerade der Elementarenergie E_p ($= m_p * c^2$) auf einer Elementarfläche (l_p^2) entspricht:

$$\sigma = \sigma_p * (V_{ks} - V_{mk}) = (E_p/l_p^2) * (V_{ks} - V_{mk}) = (m_p/t_p^2) * (V_{ks} - V_{mk}) \tag{3-11}$$

Mit den Gleichungen für das Kugelschalenvolumen bei einem Kugelausgangsradius von r

$$V_{ks} = 4/3\ \pi * [(r + lp)^3 - r^3) \tag{3-12}$$

und für das Volumen einer kugeloberflächenäquivalenten Monolage von Elementarkuben

$$V_{mk} = 4 * \pi * lp * r^2 \tag{3-13}$$

und

$$r = N * lp \tag{3-14}$$

errechnet sich das Verspannungsvolumen für die N-te Kugelschale

$$V_p = (V_{ks} - V_{mk}) = \{4/3\ \pi * [(N*lp + lp)^3 - (lp*N)^3) - 4 * \pi * N^2 * l_p^3 \tag{3-15}$$

Unter Vernachlässigung von $1/3N^2$ gegenüber 1/N für sehr große N erhält man in guter Näherung:

$$V_p = 4 * \pi * N * l_p^3 \qquad \text{(für N >>1)} \qquad (3\text{-}16)$$

Die Verspannungsenergie ergibt sich zu:

$$E_{ges} = F_p/l_p * V_p = 4 \pi * F_p /l_p * N*lp^3 = 4 \pi * m_p/t_p{}^2 * N*l_p{}^2 \qquad (3\text{-}17)$$

$$E_{ges} = 4 \pi * m_p * c^2 * N \qquad \text{(für N >>1)} \qquad (3\text{-}18)$$

Das entspricht einer Verspannungs-Äquivalentgesamtmasse m_{ges} von:

$$m_{ges} = 4 \pi * m_p * N \qquad \text{(für N >>1)} \qquad (3\text{-}19)$$

Mit $N \approx 10^{61}$ erhält man eine Äquivalentgesamtmasse von größenordnungsmäßig 10^{55} kg. Dieser Wert entspricht grob dem abgeschätzten Wert für die angenommene energieäquivalente Gesamtmasse unseres Weltalls m_k. Er liegt jedoch um etwa eineinhalb Größenordnungen (ca. Faktor 8 π) über dem aus der Lorentztransformation erhaltenen Wert m_{oo}.

3.4. Abschätzung der relativistischen Massenzunahme

Für die weitere Betrachtung ist es sinnvoll, zwischen einem fiktiven äußeren und einem inneren Beobachter zu unterscheiden. Was geschieht mit einer anfangs vorhandenen Masse, die während der Entstehung des Raumes mit annähernd Lichtgeschwindigkeit in dem entstehenden Raum verteilt wird? Ein äußerer Beobachter wird möglicherweise gar nichts wahrnehmen, wenn der entstehende Raum durch die entstehende Energie ausgeglichen wird. Er erfährt wahrscheinlich maximal eine Fluktuation mit der Wirkung h, die t_p andauert, eine Länge von l_p und eine Massenfluktuation von m_p betrifft:

$$m_p = h*t_p/l_p{}^2 \qquad (3\text{-}20)$$

Ein innerer Beobachter, der die Gesamtheit der Ereignisse einschließlich der Grenzen erfährt, könnte einen Prozeß erleben, in dem sich der wesentliche Teil der Masse mit annähernd Lichtgeschwindigkeit oder genauer gesagt mit einer Geschwindigkeit bewegt, die für jedes Zeitintervall genau ein zulässiges Inkrement unter der Lichtgeschwindigkeit bleibt. Für ihn stellt sich im ersten Zeitintervall die gleiche Fluktuation dar. Im folgenden wird jedoch nicht ein echtes $l_{p,}$ sondern ein aufgrund der hohen Geschwindigkeit der Expansion relativistisch kontrahiertes $l_{p,rel}$ wahrgenommen wird, das zu einer anderen wahrgenommenen Masse m_{oo} führt:

$$m_{oo} = h*t_p/l_{p,rel}{}^2 \qquad (3\text{-}21)$$

Die relativistische Länge kann nun leicht durch die Lorentztransformation beschrieben werden. Für eine Bewegung der Masse im Inneren mit einer Ge-

schwindigkeit v_{max}, die jeweils nur ein Geschwindigkeitsinkrement unter c liegt, gilt:

$$v_{max} = c - c/N \tag{3-22}$$

Dabei ist N die Zahl der Zeit- und Längeninkremente seit dem Beginn der kosmischen Entwicklung.

Die scheinbar kontrahierte Elementarlänge ergibt sich mit der Lorentztransformation zu:

$$l_{p,rel} = l_p * [1- (v_{max})^2/c^2]^{0,5} \tag{3-23}$$

$$l_{p,rel} = l_p * [1- (c-c/N)^2/c^2]^{0,5} = l_p * (2/N - 1/N^2)^{0,5} \tag{3-24}$$

Die Bedeutung von m_{oo} muß in einer Masse zu suchen sein, die sich aufgrund der schnellen Verteilungsbewegung innerhalb des entstehenden Kosmos' ergibt. Diese Masse wird direkt eine Funktion der Anzahl der Elementarintervalle seit der Anfangsfluktuation:

$$m_{oo} = h * t_p / l_{p,rel}^2 = h * t_p / [l_p^2 * (2/N - 1/N^2)] \tag{3-25}$$

Für größere Werte von N ist $1/N^2$ gegenüber 2/N vernachlässigbar. Im Ergebnis erhält man eine lineare Abhängigkeit von m_{oo} von der Zahl der Elementarintervalle N:

$$m_{oo} = h * (t_p/l_p^2) *N/2 \text{ für } N>>1 \tag{3-26}$$

Wendet man diese Hypothese auf unser Universum an, so ist für N der oben genannte Wert (3-19) von etwa 10^{61} anzusetzen. Mit den bekannten Werten für h, t_p und l_p erhält man:

$$m_{oo} = 10^{53} \text{ kg}. \tag{3-27}$$

Dieser Wert entspricht größenordnungsmäßig dem abgeschätzten Wert für die angenommene Gesamtmasse unseres Weltalls m_k.

3.5. Eintrag von Energie durch Raumentstehung

Geht man von einem inkrementellen Wachstum des Kosmos aus, so bildet sich in jedem Zeitintervall t_p genau eine Schicht von Rauminkrementen mit der Dicke von l_p. Der generierte Raum oder die generierte Verspannung einer Schicht wird durch die Freisetzung von Energie/Masse im Inneren des Kosmos kompensiert. Die kleinsten dabei denkbaren Energieportionen entsprechen dem Kompensationsanteil eines einzelnen Rauminkrements. Ist N_i die Zahl der in einem Zeitinkrement neu gebildeten Rauminkremente, so wird die inkrementelle Kompensationsenergie der Rauminkremente E_i durch das Verhältnis des Gesamtenergiezuwachses ($m_p * c^2$) zu N_i bestimmt:

$$E_i = m_p * c^2 / N_i \quad (3\text{-}28)$$

Diese Größe läßt sich für den gegenwärtigen Zustand des Universums leicht abschätzen, da N_i durch die scheinbare geometrische Oberfläche des Universums geteilt durch die Seitenfläche eines Elementarkubus gegeben ist:

$$N_i = 4 * B * (N * l_p)^2 / l_p^2 = 4 * B * (10^{61})^2 \approx 10^{123} \quad (3\text{-}29)$$

Die pro generiertem Elementarkubus gegenwärtig freigesetzte Einzelenergie ergibt sich dann zu

$$E_i \approx m_p * c^2 / 10^{123} \,.\, 10^{-8}\ kg * 10^{17}\ m^2/s^2 * 10^{-123} = 10^{-114}\ J \quad (3\text{-}30)$$

Es erscheint plausibel, daß die Freisetzung der Energie nicht lokal, sondern im Raum verschmiert erfolgt. Die maximale Verschmierung der Energie läßt sich anhand von elektromagnetischen Photonen vorstellen, die die maximal mögliche Wellenlänge 8_{max} besitzen. Die größte denkbare Wellenlänge entspricht dem Durchmesser des Universums. Während energiereichere Photonen wegen ihrer kürzeren Wellenlängen endliche Zeiten für ihren durch die Endlichkeit der Lichtgeschwindigkeit bestimmten Weg durch das Universum benötigen, kann man davon ausgehen, daß diese extrem langwelligen Photonen überall gleichzeitig existieren. Ihre Energie E_{min} beträgt größenordnungsmäßig:

$$E_{min} = h * c/8_{max} \,.\, 6.6*10^{-34}\ Js * 3* 10^8\ m/s / 1{,}3*10^{26}\ m \approx 10^{-51}\ J \quad (3\text{-}31)$$

Aus (3-30) und (3-31) läßt sich die Zahl von Elementarkuben N_{kj} abschätzen, die zur Zeit für die Bildung eines Photons mit niedrigster Energie und maximaler Verschmierung gebildet werden müssen:

$$N_{kj} = E_{min} / E_i \approx 10^{63} \quad (3\text{-}32)$$

Diese Kuben bilden insgesamt ein Volumen von ca. $10^{-42}\ m^3$. Diese Zahl stieg während der Expansion des Universums an. N_k kann für beliebige N angegeben werden:

$$N_k = (h * c/\lambda_{max}) / (m_p * c^2 / N_i) = (h * c/ (l_p * N) / [m_p * c^2 / (4 * \pi * N^2)] \quad (3\text{-}33)$$

$$N_k = 4 * \pi * N * h * t_p / (m_p * c^2) \quad (3\text{-}34)$$

Die Kubikwurzel des diesem Wert entsprechenden Volumens $(N_k^{1/3} * l_p)$ liegt etwa bei 10^{-15} m und damit bei der Comptonwellenlänge bzw. dem Durchmesser von Nukleonen.

Die Zahl der pro Zeitinkrement gebildeten energieärmsten Photonen N_e ergibt sich als Quotient der Zahl von Kuben in der zur Ausdehnung des Universums hinzutretenden Kubenschale und der Zahl der für die Energie eines Photons minimaler Energie nötigen Elementarkuben:

$$N_e = N_i / N_k (\text{gegenwärtig} \approx 10^{61}) \quad (3\text{-}35)$$

Diese Zahl beschreibt die in jedem elementaren Zeitintervall primär gebildeten Photonen minimal möglicher Energie.

3.6. Photonenkonversion

Aus der Laserphysik ist bekannt, daß bei gleichzeitiger inelastischer Wechselwirkung von zwei energieärmeren Photonen mit einem Chromophor resonante Anregungen möglich sind, bei denen Energieniveauunterschiede der doppelten Photonenenergie überwunden werden. Voraussetzung für eine solche Zwei-Photonen-Anregung ist lediglich, daß während der Verweildauer eines Photons im Chromphor ein zweites Photon ebenfalls das Chromophor passiert. Wegen der geringen Ausdehnung der Chromophore sind sehr hohe Laserleistungsdichten erforderlich, um eine Zwei- oder Mehrphotonenabsorption zu realisieren.

Es erscheint naheliegend, daß eine Photonenenergiekonversion mit gewisser Wahrscheinlichkeit auch ohne Chromophor abläuft, wenn sich hinreichend Photonen gleichzeitig in einem bestimmten Raumbereich aufhalten. Für extrem energiearme, d.h. besonders langwellige Photonen ist diese Wahrscheinlichkeit wegen ihrer Verschmierung über den Raum viel größer als für kurzwellige Photonen.

Falls die oben gemachte Annahme zutrifft, daß bei der Expansion des Universums der gebildete Raum durch die Bildung von Photonen sehr geringer Energie kompensiert wird, so hätten diese wegen ihrer extremen Langwelligkeit und hohen Dichte die besten Voraussetzungen für eine Konversion. Es ist dabei jedoch zu fordern, daß die Bedingung der Gleichzeitigkeit nicht das Universum als Ganzes betrifft, sondern einen Raumbereich, dessen Durchmesser der Wellenlänge der kürzerwelligen Photonen entspricht, die durch die Konversion der langwelligen Photonen gebildet werden, d.h. eine Entfernung über die die sekundär gebildeten Photonen verschmiert sind.

Die Wahrscheinlichkeit der Umwandlung der energiearmen Photonen in Photonen der Wellenlänge λ_1 wird dementsprechend durch die Gleichzeitigkeit und die Feldkonstante α bestimmt. Dazu ist die entsprechende Wechselwirkungslänge zu betrachten. Für die Zahl N_1 der gebildeten kürzerwelligen Photonen gilt:

$$N_1 = \lambda_{max} / (\lambda_1 * \alpha/2\pi) \quad (3\text{-}36)$$

Damit existiert ein eindeutiger Zusammenhang zwischen dem Energieeintrag durch die Raumbildung während der Expansion des Universums und der Wellenlänge der sekundär gebildeten Photonen.

Wegen ihrer extrem niedrigen Energie entziehen sich die primär gebildeten Photonen der Beobachtung. Besteht jedoch die Möglichkeit, sekundär gebildete Photonen zu beobachten? Dazu muß die Energiebilanz erfüllt sein. Die Produkte aus der Zahl der primär gebildeten Photonen N_0 und deren Energie E_{min} und der entsprechenden Werte $N_1 * E_1$ muß gleich sein und dem Energieäquivalent einer Planckmasse entsprechen:

$$E_{min} * N_0 = E_1 * N_1 \text{ oder: } N_0 * h * c / \lambda_{max} = N_1 * h * c / \lambda_1 = m_p * c^2 \quad (3\text{-}37)$$

Nach Einsetzen von (3-36) in (3-37) erhält man:

$$N_0 / \lambda_{max} = \lambda_{max} / (\lambda_1 * \alpha/2\pi) / \lambda_1 \quad (3\text{-}38)$$

$$\alpha/2\pi * (\lambda_1 / \lambda_{max})^2 = 1/N_0 \quad (3\text{-}39)$$

und daraus die Wellenlänge der mit größter Wahrscheinlichkeit sekundär gebildeten Photonen:

$$\lambda_1 = \lambda_{max} / \sqrt{(\alpha/2\pi * N_0)} \quad (3\text{-}40)$$

Für die bekannten Werte ($N_0 \,.\, 10^{61}$, $\alpha = 1/137$, $\lambda_{max} = 1{,}3 * 10^{26}$ m) läßt sich diese Wellenlänge gut abschätzen ($\lambda_1 \approx 1{,}35$ mm).

Dieser Wert ist eine gute Näherung für die Wellenlänge der kosmischen Hintergrundstrahlung (CMB) im Mikrowellenbereich (zur Bedeutung des CMB für kosmologische Parameter vergleiche: Lineweaver et al. 1998, Webster et al. 1998, DeBernardis et al. 2000).

Die Intensität der gemessenen Hintergrundstrahlung ist viel niedriger, als es zu erwarten wäre, wenn die gesamte aus der Raumentstehung freigesetzte Energie ausschließlich in Hintergrundstrahlung umgewandelt wird. Wenn das diskutierte Modell gültig sein soll, muß es demzufolge noch andere Prozesse geben, die einen Teil der konvertierten Photonen in andere Energieformen umwandeln.

4. Entropie und massebehaftete Teilchen

4.1. Belegung von Raumpunkten durch schwere Baryonen

Geht man von der oben gemachten Annahme von ca. 10^{53} kg für die aktuelle Masse des Universums m_{oo} und nimmt man an, daß diese Masse im wesentlichen durch Baryonen (vor allem Nukleonen, d.h. Protonen und Neutronen) repräsentiert wird, so läßt sich die Zahl dieser Baryonen N_B leicht anhand ihrer Masse m_B abschätzen:

$$N_B \cdot m_{oo} / m_B \approx 10^{53}\ \text{kg}/1{,}7*10^{-27}\text{kg} \approx 10^{80} \quad (4\text{-}1)$$

Die durch die Verteilung der Baryonen in das Universum maximal eingebrachte Entropie S_{max} ist gegeben durch die Zahl der Baryonen und die Zahl der möglichen Raumpunkte, die durch die Baryonen besetzt sein können. Die Zahl möglicher (unterscheidbar besetzbarer) Raumpunkte N_{pos} wird durch die Größe des Universums $[V_{oo} \cdot (N*l_p)^3]$ und die maximale Positionsgenauigkeit festgelegt, die durch die Unschärferelation gegeben ist, wobei 8_{pr} der Comptonwellenlänge eines Nukleons ($1{,}3 * 10^{-15}$ m) entspricht:

$$N_{pos} \approx V_{oo}/\lambda_{pr}{}^3 \qquad \approx 10^{123} \quad (4\text{-}2)$$

$$S_{max} = k_B * N_B * \ln (N_{pos}) \qquad \approx 4 * 10^{59}\ \text{J/K} \quad (4\text{-}3)$$

Wenn man annimmt, daß die gesamte evolvierte Energie/Masse zur Entropieentstehung beigetragen hat, so läßt sich eine Konversionstemperatur für die Nukleonenbildung T_k abschätzen:

$$T_k = m_{oo}*c^2 / S_{max} \approx 2{,}3 * 10^{10}\ \text{K} \quad (4\text{-}4)$$

Da das Weltall in Wirklichkeit keine chaotische Verteilung von Nukleonen darstellt, sondern hochgradig strukturiert ist, liegt die reale Gesamtentropie unter S_{max} und die Konversionstemperatur muß dementsprechend noch höher sein.

Für die Nukleonen existiert aufgrund der Comptonwellenlänge die oben verwendete Unsicherheit in der Bestimmung ihrer Position. Mißt man die Länge mit dem Rastermaß der Fundamentallänge l_p, so ergibt sich als Maß für die Positionsunsicherheit Δx in einer Dimension

$$\Delta x = \lambda 8_{pr}/l_p = 8{,}25 * 10^{19} \quad (4\text{-}5)$$

und im Volumen:

$$\Delta N = (\lambda_{pr}/l_p)^3 = 5{,}6 * 10^{59} \quad (4\text{-}6)$$

Dieser Wert liegt fast in der Größenordnung der oben angesetzten Elementarintervalle. Deshalb kann darüber spekuliert werden, ob die schweren Elementarteilchen sich als eine Art Zustand des Raumes verstehen lassen. Nukleonen wären demnach Teilchen, die dadurch charakterisiert sind, daß ihre Positionsunsicherheit im Raum gerade gleich der Zahl der Elementarintervalle N ist. Die Konsequenz einer solchen Annahme führt ebenfalls zu einer Veränderung der Comptonwellenlänge und damit auch der Masse der Nukleonen mit der Zeit.

4.2. Zusammenhang zwischen Protonenmasse, Elektronenmasse und Planckmasse

Die folgenden Überlegungen schließen an die oben diskutierte Möglichkeit der Annahme veränderlicher Teilchenmassen an. Sie gehen dabei von einer einfachen Annahme aus: Protonen und Elektronen stellen Teilchen dar, die aus der fundamentalen Planckmasse m_p hervorgegangen sind. So lassen sich Elementarteilchen in für kosmologische Verhältnisse befriedigender Näherung als Funktionen der Planckmasse darstellen. Als Parameter gehen lediglich die dimensionslose kosmologische Zeit N und die dimensionslose Konstante des elektromagnetischen Feldes α ein:

$$N = 2 * m_p^3/(m_{el}*m_{pr}^2) = 8 * 10^{60} \quad (4\text{-}7)$$

Es läßt sich dabei eine Näherung für die Protonenmasse angeben:

$$m_{pr} \,.\, m_{p\,*}\, \sqrt[3]{\,[8*\pi/(N*\alpha]} = 1.6 * 10^{-27}\ \text{kg} \quad (4\text{-}8)$$

mit $\alpha = 1/137.036$
und

$$N \approx 8 * 10^{60} \approx 8 * B * e^{(1/\alpha)} = 8.21 * 10^{60} \quad (4\text{-}9)$$

Die Näherung für die Elektronenmasse lautet:

$$m_{el} \approx 2 * m_p^3/(N * m_{pr}^2) = 1 * 10^{-30}\ \text{kg} \quad (4\text{-}10)$$

Dieser näherungsweise gegebene Zusammenhang läßt sich als Abhängigkeit der Teilchenmassen vom Weltalter interpretieren, wenn N die Zahl der Zeitinkremente seit der Entstehung des Universums darstellt. Konsequenz wären Protonen- und Elektronenmassen, die sich mit $N^{(-1/3)}$ aus der Planckmasse entwickelt haben.

Wenn c, G und h konstant sind, müßte die Feinstrukturkonstante α einer allmählichen Veränderung mit der Zunahme der Raum- und Zeitinkremente unterliegen. Nach dem oben Gesagten sollte sie logarithmisch vom Weltalter abhängig sein, sich also in ihrer Funktion analog zur Abhängigkeit der Entropie von der Zahl möglicher Zustände in einem System verhalten:

$$1/\alpha \approx \ln(N) \quad (4\text{-}11)$$

Unter Annahme eines konstanen Wertes für die Elementarladung ändern sich μ_o und ε_o mit α. Für die Anfangssituation ($\alpha \rightarrow 1$) geht Gleichung (2-11) in (2-6) über, wodurch auch der Elektromagnetismus und die elektrische Wechselwirkung ineinander übergehen.

4.3. Überprüfbarkeit anhand von astrophysikalischen Meßdaten

Die unterschiedlichen Anregungszustände von Atomen und Molekülen sind von den Massen der beteiligten Atome und damit der Elementarteilchen, aus denen diese bestehen, und von der Sommerfeldschen Konstante α abhängig. Sowohl für Rotations-, für Oszillations- als auch für elektronische Anregung gehen in die Energiedifferenzen zwischen den unterschiedlichen Anregungszuständen N und α ein. Die Funktionen sind dabei jedoch für die verschiedenen Anregungsarten unterschiedlich.

Bei einer Änderung von α sollten sich die Spektren ändern. Die Rydbergkonstante R_{00} hängt von der Elektronenmasse und bei deren Veränderlichkeit von N sowie von α ab:

$$R_{00} = m_e * \alpha^2 * c^2 / (2 * h) \qquad (4\text{-}12)$$

Bei Annahme eines Kosmos mit zunehmender Masse sollte α in der frühen Phase näher an 1 gelegen haben, also größer gewesen und auch die Elektronenmasse größer gewesen sein, so daß im frühen Universum auch die Rydberg-Konstante größer war als heute. Photonen, die in früher Zeit emittiert wurden, müßten demzufolge energiereicher sein, als bei den heutigen Konstanten zu erwarten wäre. In der Konsequenz erscheinen die Rotverschiebungen (z-Werte) weit entfernter Objekte geringer, als sie auf Grund der Entfernung zu erwarten wären.

Es ist deshalb denkbar, daß die anhand der beobachteten z-Werte weit entfernter Galaxien ermittelten Entfernungen geringer ausfallen als erwartet, weil die Rydbergkonstante für diese Objekte, deren Licht früh in der Entwicklung des Weltalls entstand, deutlich größer war als heute. Die aus der Abweichung der gemessenen von den erwarteten Entfernungen postulierte Zunahme der Expansionsgeschwindigkeit und die damit verbundene Wiederbelebung der Einsteinschen Idee der Einführung einer kosmologischen Konstante (vgl. S. M. Carroll 2003) würde dann geringer ausfallen oder wäre möglicherweise gar nicht erforderlich, um die Daten zu interpretieren. Durch präzise Messung der Entfernungen von Objekten mit hohem z-Wert, könnte es bei Verzicht auf die Diskussion einer Beschleunigung der Expansion im Umkehrschluß möglich sein, auf Veränderungen der Elementarteilchenmassen und von α im Laufe der Evolution des Weltalls zu schließen oder auch solche ggf. im oben diskutierten Umfang auszuschließen.

Danksagung

Für freundliche Ermutigung und Diskussion danke ich Gerd Lassner und Thomas Görnitz.

Literatur

Ashenfelter, T.; Mathews, G.J.; Olive, K.A.: Chemical evolution of Mg isotopes versus the time variation of the fine structure constant, Phys. Rev. Lett. 92,4 (2004), 041102

Bize, S.; Diddams, S.A.; Tanaka, U. et al.: Phys. Rev. Lett. 90, 15 (2003), 150802

Carroll, S.M.: Why is the universe accelaterating? ArXiv: astro-ph/0310342 v2 (18 Nov 2003)

Burbidge, G.; Hoyle, F.; Narlikar, J.V.: A different approach to cosmology, Physics Today (April 1999), 38

Cimatti, A.; Daddi, E.; Renzini, A. et al.: Old galaxies in the young universe, in: arXiv: astro-ph/0407131 v1 (07 Jul 2004)

Coles, P.: Nature 393 (1998), 741–744

De Bernardis, P., Ade, P.A.R., Bock, J.J. et al.: Nature 404 (2000), 955–959

Dicke, R.H.: Nature 192 (1961), 440

Dirac, P.: Proc. Royal Soc. A 165 (1938), 199

Einstein, A.: Über einen die Erzeugung und Verwandlung des Lichtes betreffenden heuristischen Gesichtspunkt, Ann. Phys. 17 (1905a), 132

Einstein, A.: Zur Elektrodynamik bewegter Körper, Ann. Phys. 17 (1905b), 891

Einstein, A.: Ist die Trägheit eines Körpers von seinem Energieinhalt abhängig? Ann. Phys. 18 (1905c), 639

Görnitz, Th.: Internatl. J. Theor. Phys 25 (1986), 8

Hörz, H.: Kosmische Rätsel in philosophischer Sicht. Bemerkungen zu philosophisch-kosmologischen Betrachtungen von Hans-Jürgen Treder, Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät 61, 5 (2003), 17–34

Lineweaver, Ch. H., Barbosa, D.: Astrophys. J. 496 (1998), 624–634

Mohr, P.J.; Taylor, B.N.: CODATA. Recommended Values of the Fundamental Physical Constants (1998), zit.nach www.pro.physik.de

Riess, G.A. et al.: Astronomical J. 116, 3 (1998), 1009

Ubachs, W.; Reinhold, E.: Highly accurate H_2 Lyman and Werner Band laboratory measurements and improved constraint on a cosmological variation of the proton-to-electron mass ratio, Phys. Rev. Lett 92,10 (2004), 10302

Webster, A.M., Bridle, S.L., Hobson, M.P., Lasenby, A.N., Lahav, O., Rocha, G.: Astrophys. J. 509 (1998) , L65–L68

Weinberg, S.: Rev. Mod. Phys. 61 (1988), 1

Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät *78/79(2005), 277–290*

Horst Montag

Zu relativistischen Effekten in der Satelliten- bzw. Raumgeodäsie

1. Einleitung

Die bahnbrechenden Erkenntnisse der Speziellen Relativitätstheorie – von Albert Einstein vor hundert Jahren, im Jahre 1905, veröffentlicht – und deren Erweiterung durch die Allgemeine Relativitätstheorie aus dem Jahre 1916 haben die klassische Physik von Galileo und Newton grundlegend weiterentwickelt. Die ursprünglich reine wissenschaftliche Theorie kann heute bei vielen physikalisch- technischen Prozessen und Vorgängen bis in den ingenieurtechnischen Bereich hinein nicht vernachlässigt werden. Dabei sind aber meist die Näherungen durch die Parametrisierte Post Newton'sche Theorie (PPN) ausreichend.

Auch in der Satellitengeodäsie spielen relativistische Effekte mehr und mehr eine wichtige Rolle. Das betrifft sowohl die Spezielle Relativitätstheorie (Postulat der Konstanz der Lichtgeschwindigkeit, Zeitdilatation) als auch die Allgemeine Relativitätstheorie (Einfluss des Gravitationsfeldes auf Raum und Zeit).

Eine wesentliche Voraussetzung für die relativistische Behandlung der Satellitengeodäsie ist die Wahl eines geeigneten Koordinatensystems sowie der dazugehörigen Metrik für die Modellierung und Analyse. Dazu gehören auch relativistische Transformationen aller Messungen und anderer Parameter in dieses System und gegebenenfalls Transformation der Ergebnisse nach der Analyse.

Speziell wirken sich in der Satellitengeodäsie relativistische Effekte auf drei Bereiche aus, und zwar auf die Bewegungsgleichungen der Satelliten, auf die Signalausbreitung und auf die bewegten Uhren, insbesondere die Uhren im Satelliten.

Die Zahl der einzubeziehenden Effekte steigt natürlich mit der Steigerung der Genauigkeit von Bahnbestimmung und Messung. Die heute in der Satelliten- oder Raumgeodäsie erreichbaren relativen Genauigkeiten für die Koordinatenbestimmung liegen bei 10^{-9}. Um das zu erreichen, sind für die Zeit

bzw. Frequenz der Mikrowellenmessverfahren Genauigkeiten im Bereich von 10^{-13} oder 10^{-14} erforderlich. Mindestens in diesem Umfang müssen relativistische Einflüsse beachtet werden. Vielfach werden relativistische Effekte auch durch die Messverfahren kompensiert oder bei der Bahnanalyse durch andere Parameter aufgefangen.

Andererseits ermöglichen die heute erreichbaren hohen Genauigkeiten auch, relativistische Effekte experimentell zu bestätigen bzw. erstmalig nachzuweisen und damit einen Beitrag zur weiteren Verfeinerung der Relativitätstheorie zu liefern.

Bei den nachfolgenden Betrachtungen werden nur Effekte erörtert, deren Einflüsse für die Satelliten- bzw. Raumgeodäsie im erwähnten Sinne bereits heute relevant sind bzw. schon sehr bald von Belang sein können. Dabei wird auf Ableitungen verzichtet. Die angegebenen Formeln stellen teilweise Näherungen dar, berücksichtigen dabei aber die heute und in naher Zukunft zu erwartenden Genauigkeiten in der Satelliten- bzw. Raumgeodäsie.

2. Raum-Zeit-Koordinatensysteme und Bewegungsgleichungen

Für globale Anwendungen, wie sie in der Satelliten- bzw. Raumgeodäsie vorherrschen, sind äquatorial ausgerichtete kartesische Koordinatensysteme zweckmäßig. Dabei ist grundsätzlich zwischen einem raumfesten System für die Bahnmodellierung und einem erdfesten mitrotierenden System für terrestrische Objekte (Stationskoordinaten und andere Parameter) zu unterscheiden.

In Übereinstimmung mit der Relativitätstheorie haben die IAU (International Astronomical Union) und IUGG (International Union of Geodesy and Geophysics) ab 1991 (insbesondere 2000) in mehreren Resolutionen von Generalversammlungen zwei äquatorial ausgerichtete Raum-Zeit-Koordinatensysteme und die Transformationen zwischen ihnen auf PPN-Niveau definiert (McCarthy und Petit (Eds.), 2004). Es handelt sich dabei um das BCRS (Barycentric Celestial Reference System) mit dem Ursprung im Baryzentrum des Sonnensystems und das GCRS (Geocentric Celestial Reference System) mit dem Ursprung im Massenschwerpunkt der Erde. Beide sind Äquatorsysteme, haben die gleiche Orientierung und weisen keinerlei Rotationen auf. Die Realisierung (jeweils als Frame statt System bezeichnet) und Überwachung erfolgt durch den International Earth Rotation Service (IERS) durch Bezug auf die Quasare, heute mit einer Genauigkeit von 20 Mikro-Bogensekunden (VLBI-Messungen). Damit ist das BCRS für das Sonnensystem als Inertialsystem auch konform mit der Newton'schen Mechanik und entsprechend der Spezi-

ellen Relativitätstheorie ist hier wie in jedem Inertialsystem die Lichtgeschwindigkeit c konstant. Dennoch ist ein geozentrisches System für die Bahnbeschreibung von Erdsatelliten besser geeignet, zumal nennenswerte relativistische Effekte – beschrieben durch die Schwarzschild-Metrik – nur vom Gravitationsfeld der Erde herrühren. Gravitative Variationen durch Sonne, Mond und Planeten wirken sowohl auf die Erde als auch auf die Erdsatelliten und sind so reduziert auf ihren Gezeiteneinfluss mit äußerst geringen relativistischen Effekten. Das genannte geozentrische GCRS bewegt sich auf der Ekliptik um die Sonne, und es treten, obwohl inertial orientiert, zusätzliche Beschleunigungen auf (Quasi-Inertialsystem). Bei der Transformation zwischen diesen Systemen müssen Einflüsse der Relativitätstheorie berücksichtigt werden. Das betrifft die Koordinatenzeit und die Bahnbeschleunigung von Satelliten.

Für die Darstellung terrestrischer Objekte ist wie erwähnt ein erdfestes mitrotierendes geozentrisches Koordinatensystem erforderlich. Der Bezug zum ebenfalls geozentrischen GCRS erfolgt über Polbewegung und Erdrotation. Ein solches mitrotierendes erdfestes System wird jährlich durch den IERS (Gambis, 2000) in internationaler Kooperation auf der Basis mehrerer präziser Raummessverfahren realisiert und als ITRF (International Terrestrial Reference Frame) bezeichnet. Zurzeit dient für diese Georeferenzierung das ITRF2000 als Standard.

2.1 Eigenzeit, Koordinatenzeiten und Koordinatentransformationen

Entsprechend der Allgemeinen Relativitätstheorie sind in den Raum-Zeit-Referenzsystemen BCRS und GCRS die Zeiten und Positionen keine absoluten Größen, sondern von Bezugspunkt, Schwerepotential und Bewegung abhängig. Diese relativistischen Effekte können in Anbetracht der heutigen Genauigkeiten nicht mehr vernachlässigt werden. Die Relativistik unterscheidet zwischen Eigenzeit und Koordinatenzeit. Die Eigenzeit wird durch eine ideale Uhr geliefert. Sie ist abhängig vom Bewegungszustand der Uhr und dem umgebenden Gravitationsfeld. Die Koordinatenzeit entspricht der Zeitkoordinate in einem Raum-Zeit-Koordinatensystem und hat für das gleiche Ereignis überall in dem System denselben Wert.

Zwischen einer Koordinatenzeit t in einem ruhenden System und der Eigenzeit τ in einem bewegten System ergibt sich nach der Speziellen Relativitätstheorie infolge der Lorentz-Transformation eine Zeitdilatation. Für Zeitintervalle Δ erhält man bei konstanter Geschwindigkeit v

$$\Delta t = \frac{\Delta \tau}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} \qquad oder \qquad \Delta \tau = \sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}\,\Delta t \tag{2.1}$$

Da v < c, hat man im bewegten System immer eine Zeitdilatation, d.h. Uhren gehen langsamer.

Für Aufgaben der Raumgeodäsie sind die Realisierung der baryzentrischen und geozentrischen Koordinatenzeit sowie die relativistischen Transformationen zwischen ihnen von besonderer Wichtigkeit. Zwischen der Koordinatenzeit des baryzentrischen Systems TCB (Barycentric Coordinate Time) und derjenigen des geozentrischen Systems TCG (Geocentric Coordinate Time) besteht nach der Relativitätstheorie folgende 4-dimensionale Transformation (McCarthy und Petit (Eds.), 2004; Petit in Johnston et al., 2000):

$$TCB - TCG = c^{-2}\left\{\int_{t_0}^{t}\left[\frac{\vec{v}_e^{\,2}}{2} + V_{ext}(t,\vec{x}_e(t))\right]dt + \vec{v}_e\cdot(\vec{x}-\vec{x}_e)\right\} + O(c^{-4}) \tag{2.2}$$

mit

c – Lichtgeschwindigkeit, t – Zeit,

[redacted] – baryzentrischer Positions- bzw. Geschwindigkeitsvektor des Geozentrums,

[redacted] – baryzentrischer Positionsvektor des Beobachters und

– Newton-Potential aller Körper des Sonnensystems (außer Erde), gemessen im Geozentrum und damit variable auf der Erdbahn.

Die Integrationsgrenzen werden so gewählt, dass sie mit der Epoche der terrestrischen Zeit TT (Terrestrial Time) übereinstimmen. Der Beginn der Zeitskala ist JD = 2443144,5 IAT = 1977 Jan. 1, $0^h0^m0^s$ IAT. Als Näherung für diese recht komplizierte Transformation ergibt sich folgender Ausdruck, der auch den Bezug zur SI-Sekunde berücksichtigt (Petit, 1999; McCarthy und Petit (Eds.), 2004; Capitaine et al., 2002):

[redacted] (2.3)

mit

$L_C = 1{,}48082686741 \cdot 10^{-8}$ sowie

JD – Julianisches Datum und P – periodische Terme.

Der Einfluss des linearen Terms liegt also im Bereich von 10^{-8}; L_C ist mit einer Genauigkeit von $2 \cdot 10^{-17}$ bestimmt. Der zweite Term ist für einen Beobachter auf der Erdoberfläche nur von den terrestrischen Koordinaten abhängig und variiert mit Tagesperiode bei Amplituden bis 2,1 µs. Die periodischen Terme P haben wegen der jährlichen Bewegung der Erde im Gravitationsfeld der Sonne Amplituden von etwa 1,6 ms. Da sich die Erdsatelliten mit der Erde um die Sonne bewegen, kann dieser Effekt in der Satellitengeodäsie vernachlässigt werden.

Die geozentrische Koordinatenzeit TCG unterscheidet sich weiterhin wegen des Gravitationspotentials der Erde von der terrestrischen Zeit TT, die an der Erdoberfläche, genauer auf dem Geoid, definiert ist und deren Einheit der SI-Sekunde auf dem Geoid entspricht. Die Beziehung für die Differenz TCG – TT ergibt sich aus dem Verhältnis des Potentials auf dem Geoid zur Lichtgeschwindigkeit und lautet (McCarthy und Petit (Eds.), 2004; Capitaine et al., 2002):

$$TCG - TT = L_G \, (JD - 24443144{,}5) \cdot 86400 \qquad (2.4)$$

mit $L_G = W_0 / c^2 = 6{,}969290134 \cdot 10^{-10}$.

L_G wurde anhand des Potentials am Geoid W_0 definiert und ist somit unabhängig von zukünftigen weiter verbesserten Geoidbestimmungen. Bei einer Unsicherheit des Potentials von 0,5 $m^2 s^{-2}$ (McCarthy und Petit (Eds.), 2004) ergibt sich für die Größe L_G eine Genauigkeit von besser als 10^{-17}.

Realisiert wird terrestrische Zeit TT durch die Atomzeit IAT (International Atomic Time) auf dem Geoid, abgesehen von einem konstanten Offset:

$$TT = IAT + 32{,}184 \text{ s}. \qquad (2.5)$$

Der Maßstab des terrestrischen Referenzsystems bzw. -rahmens ITRF2000 wird durch den IERS aus Interferometermessungen zu Quasaren (VLBI) und Lasermessungen zu Satelliten (SLR) konsistent mit der an der Erdoberfläche (Geoid) definierten TT abgeleitet. Das ist nicht konform mit neueren Resolutionen von IAU und IUGG (soll aber trotzdem wegen der Kontinuität mit früheren Lösungen vorläufig nicht geändert werden). Eine Reduktion auf die geozentrische Raum-Zeit TCG (Geocentric Coordinate Time) erfordert den Faktor $(1 + L_G)$, also ebenfalls nahezu 10^{-9} und ist damit quasi im Bereich der heutigen Messgenauigkeit:

$$(x, y, z)^T_{TCG} = (1 + L_G) \, (x, y, z)^T_{ITRF2000}. \qquad (2.6)$$

In gleicher Weise unterscheidet sich das Produkt Gravitationskonstante mal Erdmasse GM, das den Maßstab der Satellitenbahn bestimmt, in den beiden Systemen:

$$GM_{TCG} = (1 + L_G)\, GM_{TT}. \tag{2.7}$$

2.2 Bewegungsgleichungen

Die relativistische Behandlung der Bahnanalyse von Erdsatelliten erfordert Korrektionen für die Bewegungsgleichungen, die Zeittransformationen und die Messungen.

Für die Bewegungsgleichungen ergeben sich wegen der durch das Gravitationsfeld verursachten Raumkrümmung Korrektionen zu den Beschleunigungen am Satelliten. Der Effekt der Raumkrümmung wird durch Anwendung der Schwarzschild-Metrik berücksichtigt und wurde für die Planetenbahnen schon 1916 berechnet. Wegen der Sonnennähe ist er für den Merkur mit 43″ pro Jahrhundert wesentlich größer als für die übrigen Planeten. Diese Periheldrehung des Merkurs war bereits lange bekannt, konnte aber erst durch die Allgemeine Relativitätstheorie erklärt werden. Eine weitere frühe Bestätigung erfuhr die Allgemeine Relativitätstheorie 1919 durch astronomische Beobachtungen während einer Sonnenfinsternis, mit denen die vorausgesagte Lichtablenkung sonnennaher Ziellinien zu Sternen durch das Gravi-tationsfeld der Sonne nachgewiesen wurde.

Bei künstlichen Erdsatelliten ist natürlich das Gravitationsfeld der Erde der wirksame Effekt. Man erhält im geozentrischen System GCRS für die Störbeschleunigungen (McCarthy und Petit (Eds.), 2004: Gulklett, 2003; Moritz, Hofmann-Wellenhof, 1993):

$$\Delta\ddot{\vec{r}} = \frac{GM}{c^2 r^3}\left\{\left[2(\beta+\gamma)\frac{GM}{r} - \gamma\dot{\vec{r}}^{\,2}\right]\vec{r} + 2(1+\gamma)(\vec{r}\cdot\dot{\vec{r}})\dot{\vec{r}}\right\} \tag{2.8}$$

Dabei bedeuten:

GM – Gravitationskonstante mal Erdmasse (Abplattung der Erde vernachlässigt),

r, $\vec{r}$ – Entfernung bzw. Vektor zwischen Geozentrum und Satellit,

β, γ – Parameter der PPN-Gravitationstheorie (nach Einsteins Allgemeiner Relativitätstheorie
β = γ = 1).

Als Näherung ergibt sich für den Betrag (Zhu und Groten, 1988; Hofmann-Wellenhof et al., 1994; Rothacher, 2003):

$$\Delta\ddot{r} = \frac{2(GM)^2 a(1-e^2)}{c^2 r^4} \tag{2.9}$$

mit a – große Halbachse der Satellitenbahn und e – Bahnexzentrizität.

Die Korrektionen liegen in der Größenordnung von $5 \cdot 10^{-9}$ m·s^{-2} bei LEO-Satelliten (Low Earth Orbit, Höhe zwischen 500 km und 1500 km) und $2 \cdot 10^{-11}$ m·s^{-2} für geostationäre Satelliten. Für die LEO-Satelliten ergibt die Integration bereits für Bahnbögen von 3 Stunden Bahnstörungen im cm-Bereich, sodass die Effekte für präzise Bahnanalysen berücksichtigt werden müssen. Bei weiterer Steigerung von Mess- und Bahngenauigkeit werden sie mehr und mehr auch für MEO-Satelliten (Medium Earth Orbit, Höhe 5000 km bis 15000 km) relevant.

2.2.1 Lense-Thirring- Effekt und geodätische Präzession

Nach der allgemeinen Relativitätstheorie verursacht ein Gravitationsfeld neben der Krümmung des Raumes zusätzlich – sofern es rotiert – einen Mitdreheffekt des umgebenden Raumes oder genauer der Raumzeit. Für die rotierende Raumzeit (dragging of surrounding space-time) haben die beiden österreichischen Physiker Lense und Thirring auf der Basis der allgemeinen Relativitätstheorie bereits 1918 den Effekt, den rotierende Massen in ihrer Umgebung ausüben („…so ähnlich wie Wasser in einem Strudel"), berechnet. Der entsprechende Effekt – benannt nach den beiden Wissenschaftlern – verursacht einen Präzessionseffekt auf einen rotierenden Kreisel und müsste in einem entsprechenden Satelliten gemessen werden können. Desgleichen ergibt sich eine Störung der Bahn eines künstlichen Erdsatelliten, der sich um die rotierende Erde bewegt (Satellit auf seiner Bahn als Kreisel im Raum). Den Einfluss auf die Bahnbeschleunigung eines Satelliten erhält man (mit obigen Symbolen) zu (McCarthy und Petit (Eds.), 2004):

$$\Delta\ddot{\vec{r}}_{LT} = (1+\gamma)\frac{GM}{c^2 r^3}\left[\frac{3}{r^2}(\vec{r}\times\dot{\vec{r}})(\vec{r}\cdot\vec{J}) + (\dot{\vec{r}}\times\vec{J})\right] \tag{2.10}$$

mit $\vec{J}$ – Drehimpuls des Erdkörpers pro Einheitsmasse (Betrag etwa $9{,}8 \cdot 10^8$ m^{2}s^{-1}).

Besonders gestört wird durch diesen Effekt das Bahnelemente Ω (Rektaszension des aufsteigenden Knotens); für die säkulare Änderung ergibt sich (Ciufolini und Pavlis, 2004):

$$\dot{\Omega} = \frac{2J_E}{a^3(1-e^2)^{\frac{3}{2}}} \tag{2.11}$$

Dabei sind J_E, a und e Drehimpuls der Erde, große Halbachse bzw. Exzentrizität der Satellitenbahn.

Da die Effekte extrem klein sind, kommen für einen Nachweis nur Satelliten mit höchster Bahngenauigkeit in Frage, also passive so genannte Kanonenkugelsatelliten mit Laserreflektoren. Die Effekte liegen für Ω z.B. bei 0,18″/Jahr für Starlette ($H \approx 900$ km) und 0,032″/Jahr (ca. 1,9 m pro Jahr!) für LAGEOS ($H \approx 6000$ km). Wegen des säkularen Charakters müssen diese Effekte von den normalen wesentlich größeren säkularen Störungen getrennt werden. Trotz des größeren Betrages für Starlette ist dieser für einen Nachweis nicht geeignet, da die Bahngenauigkeit wegen der übrigen Störungen weit darunter liegt. Nur mit langjährigen LAGEOS-Analysen könnte der Nachweis gelingen. Dabei sollte die Tatsache ausgenützt werden, dass die normalen säkularen Störungen durch das Gravitationsfeld von der Bahnneigung i abhängen, nicht aber der Lense-Thirring-Effekt. Benutzt man dann nämlich zwei identische Satelliten mit gleichen Bahnparametern, die lediglich unterschiedliche Bahnneigungen in der Weise aufweisen, dass sich die säkularen Störungen in der Summe (umgekehrte Vorzeichen) aufheben, so bleibt als säkularer Effekt in Ω nur die relativistische Lense-Thirring-Störung. Das trifft zu, wenn ein Satellit die Neigung i und der andere die Bahnneigung 180°-i hat (symmetrisch um 90°). LAGEOS 1 wurde 1976 von der NASA gestartet und hat eine Bahnneigung von etwa 109,8°. Deshalb sollte LAGEOS 2 (identisch mit LAGEOS 1, gestartet 1992) eine Bahnneigung von etwa 70° haben. Aus anderen Gründen wurde aber eine Neigung von 52,6° gewählt, und die 70,2° sind dem geplanten LAGEOS 3 vorbehalten. Dennoch ist es kürzlich gelungen, durch Kombination präziser langjähriger Bahnanalysen von LAGEOS 1 und LAGEOS 2 und unter Nutzung neuester Gravitationsfeldmodelle zur genauen Berechnung der Bahnstörungen, den Effekt für Ω mit einem Betrag von 1,9 m pro Jahr bei einer Unsicherheit von etwa 10% nachzuweisen (Ciufolini, Pavlis, 2004). Dieses Ergebnis entspricht 99 % des theoretischen Wertes.

Es sei erwähnt, dass der Lense-Thirring-Effekt zur Zeit im Rahmen eines anderen speziellen Satellitenprojektes (nach mehreren wenig erfolgreichen früheren Projekten), des Gravity Probe-B, nachgewiesen werden soll. Dabei wird die Auswirkung der Rotation der Raumzeit auf die Kreiselpräzession gemessen. Der Effekt liegt in der Größenordnung von 0,042″ pro Jahr für die Bahn des Satelliten Gravity Probe-B (Höhe 644 km, Polbahn, gestartet Apr. 2004, Dauer des Experiments etwa 16 Monate). Für die Messung dieser Ablenkung des hochpräzisen Kreisels im Satelliten wird eine Genauigkeit von 1 % erwartet.

Der Lense-Thirring-Effekt erzeugt für eine im Satellit die Erde umkreisende Uhr auch eine Zeitkorrektion. Sie beträgt z.B. für einen GPS-Satelliten $-1{,}6 \cdot 10^{-17}$ s pro Umlauf (12^h) und kann somit vernachlässigt werden (Gulklett, 2003).

Ein weiterer allgemein-relativistischer Effekt ist die geodätische Präzession oder de Sitter-Effekt. Er überlagert die Kreiselpräzession des Lense-Thirring-Effekts und wird im Gegensatz zum Lense-Thirring-Effekt, der durch die Rotation des Gravitationsfeldes entsteht, durch die statische Masse des zentralen nicht rotierenden Körpers verursacht, d.h. durch die Bewegung des Kreisels durch die gekrümmte Raum-Zeit (Moritz, Hofmann-Wellenhof, 1993; Ciufolini, Pavlis, 2004). Die geodätische Präzession ist bereits gesichert und konnte 1988 aus der Analyse der Bahn des Erde-Mondsystems um die Sonne anhand von radiointerferometrischen Messungen nachgewiesen werden. Für Gravity Probe-B ist die geodätische Präzession mit 6,6″ pro Jahr um zwei Größenordnungen größer als der Lense-Thirring-Effekt. Beide Effekte sollen im Rahmen dieses Satellitenprojektes mit einer Auflösung des Kreisels von 0,001″ nachgewiesen und weiter erforscht werden.

3. Relativistische Effekte auf kosmisch-geodätische Beobachtungen bzw. Messungen

3.1 VLBI – Messungen

Bei der Very Long Baseline Interferometry werden Basislinien aus den beobachteten Differenzen der Ankunftszeiten von natürlichen Radiosignalen weit entfernter Quasare an mindestens zwei Stationen bestimmt. Um die Beobachtungsgleichung streng aufzustellen, wird als Inertialsystem das baryzentrische BCRS benutzt. Da aber die Messung der Ankunftszeiten auf der bewegten Erde erfolgt, müssen die Basislinien vom unbewegten baryzentrischen System in das bewegte geozentrische System transformiert werden. In der Beobachtungsgleichung muss also der Basisvektor $\vec{B}$ im baryzentrischen System durch den zu bestimmenden Basisvektor $\vec{b}$ im geozentrischen System ersetzt werden. Die Bewegungen der Messstationen bestehen aus der Erdrotation und der Bahnbewegung der Erde um die Sonne, wodurch tägliche und jährliche Aberrationseffekte entstehen. Die Umrechnung in ein bewegtes System muss entsprechend der Speziellen Relativitätstheorie nach der Lorentztransformation erfolgen. Das Resultat lautet (Hofmann-Wellenhof et al., 1994; Rothacher, 2003; Gulklett, 2003):

$$\vec{B} = \vec{b} - \frac{\vec{b}\cdot\vec{v}}{c^2}\vec{v}_2 - \frac{\vec{b}\cdot\vec{v}}{2c^2}\vec{v} \tag{3.1}$$

mit $\vec{v}$ – Vektor der Geschwindigkeit des Geozentrums im baryzentrischen System,

$\vec{v}_2$ – Vektor der Rotationsgeschwindigkeit der Antenne 2 gegenüber dem Geozentrum.

Die in der Beobachtungsgleichung in baryzentrischer Koordinatenzeit ausgedrückte Laufzeitdifferenz Δt muss weiterhin noch auf die Eigenzeit τ einer Atomuhr auf der Erde transformiert werden, denn die gemessenen Laufzeitdifferenzen entsprechen der Differenz der Eigenzeiten der Atomuhren an den Stationen. Diese Atomuhren werden sowohl vom Gravitationspotential V (stärkeres Gravitationsfeld verursacht langsamere Uhren) als auch von ihrer Bewegungsgeschwindigkeit v_A mit Bezug auf das ruhende System (bewegte Uhren laufen langsamer als ruhende) beeinflusst. Fasst man beide Effekte zusammen, so ergibt sich (McCarthy und Petit (Eds.), 2004; Moritz, Wellenhof, 1994):

$$\Delta t = (1 + \frac{v_A^{\,2}}{2c^2} + \frac{V}{c^2})\Delta\tau \tag{3.2}$$

Das Glied $v_A^{\,2} / 2c^2$ wird auch als Dopplerverschiebung 2. Ordnung bezeichnet.

Nach der Allgemeinen Relativitätstheorie ergeben sich für die Laufzeitdifferenz Δt weiterhin Korrektionen wegen der durch die Gravitation der Himmelskörper, insbesondere Sonne, Erde und Jupiter, verursachten Krümmung der Raum-Zeit (McCarthy und Petit (Eds.), 2004):

$$\delta\Delta t_{grav} = \sum_J 2\frac{GM_J}{c^3}\ln\frac{R_{1J} + \vec{K}\cdot\vec{R}_{1J}}{R_{2J} + \vec{K}\cdot\vec{R}_{2J}} \tag{3.3}$$

Dabei sind

$\vec{R}_{1J}$ bzw. R_{1J} –Vektor bzw. Betrag des Vektors vom J-ten gravitierenden Körper zum Empfänger 1,

$\vec{R}_{2J}$ bzw. R_{2J} – desgleichen zum Empfänger 2,

$\vec{K}$ – Einheitsvektor vom Baryzentrum zur jeweiligen Radioquelle.

Für die verschiedenen Himmelskörper sind die Effekte nur relevant, wenn die Strahlen sehr nahe an ihnen vorbeilaufen. Für die Sonne sind im Extremfall 200 ns zu erwarten (Rothacher, 2003). Im Allgemeinen kann man sich im

Pikosekundenniveau auf den Einfluss der Erde beschränken. Mit $R_{1E} \approx R_{2E}$ kann man vereinfachen:

$$\delta\Delta t_{gravE} = 2\frac{GM_E}{c^3}\ln\frac{1+\sin E_1}{1+\sin E_2} \tag{3.4}$$

mit M_E – Erdmasse und den Elevationswinkeln E_1 und E_2, unter denen man die jeweilige Quelle von Station 1 bzw. 2 sieht. Der Effekt beträgt für die Erde maximal etwas über 20 ps.

3.2 Einflüsse bei GPS-Messungen

Auch die Uhren in den GPS-Satelliten unterliegen den Effekten sowohl der Allgemeinen als auch der Speziellen Relativitätstheorie. Sie müssen wegen der hohen Genauigkeit dieser Atomuhren von etwa $5\cdot10^{-14}$ (4 ns pro Tag) berücksichtigt werden (Hofmann-Wellenhof et al., 1994; Nelson, 2003; Gulklett, 2003). Das schwächere Gravitationsfeld in der Höhe der Satellitenbahnen (20000 km) bewirkt eine Beschleunigung der Satellitenuhren um etwa 45 µs pro Tag; das Satellitensignal erfährt auf dem Weg zum terrestrischen Empfänger also eine Blauverschiebung. Andererseits bewirkt die Bahngeschwindigkeit der Satelliten (3,9 km/s) eine Verlangsamung der Satellitenuhren von etwa 7 µs pro Tag gegenüber Uhren in Ruhe, womit eine Rotverschiebung des Signals verbunden ist. Beide Effekte (Summe etwa 38 µs/Tag) werden zusammengefasst. Bei Annahme einer kreisförmigen Satellitenbahn und einer kugelförmigen Erde erhält man somit für die Frequenzdifferenz $\Delta f = f - f_0$

$$\frac{\Delta f}{f_0} = \frac{v^2}{2c^2} + \frac{\Delta V}{c^2}, \quad wobei \quad \Delta V = GM_E\left(\frac{1}{r^S} - \frac{1}{r_E}\right). \tag{3.5}$$

Es bedeuten:

f, f_0 – Frequenz vom Satelliten ausgesendet (f) und vom Empfänger empfangen (f_0),

v – Bahngeschwindigkeit des Satelliten (v » 3,9 km/s),

ΔV – Differenz zwischen Gravitationspotential am Satelliten und am terrestrischen Empfänger,

r^S, r_E – Länge des Radiusvektors vom Geozentrum zum Satelliten bzw. zum Empfänger.

Durch Einsetzen der Zahlenwerte erhält man für $\Delta f / f_0 = -4{,}4647\cdot10^{-10}$ ($0{,}8\cdot10^{-10}$ für speziell-relativistischen Anteil und $-5{,}3\cdot10^{-10}$ für allgemein-relativistischen Anteil).

Damit der terrestrische Empfänger trotz der relativistischen Effekte die nominale Frequenz von 10,23 MHz empfangen kann, wird die von der Satellitenuhr erzeugte Frequenz vor der Aussendung um $\Delta f = -4{,}464 \cdot 10^{-10} \cdot f_0 = -4{,}57 \cdot 10^{-3}$ Hz auf 10,229999995433 MHz verändert.

Diese Frequenzverschiebung berücksichtigt nur den konstanten Betrag. Wegen der nicht kreisförmigen GPS-Bahnen ($e \approx 0{,}014$) treten in der Frequenz noch periodische Variationen auf, die zu folgender Korrektion für die Entfernungen ρ führt:

$$\delta\rho_{rel1} = \frac{2\sqrt{GM_E\, a}}{c} e \sin E \tag{3.6}$$

mit e – numerische Exzentrizität, a – große Halbachse und E – exzentrische Anomalie der Satellitenbahn. Diese Korrektion erreicht Amplituden von etwa 45 ns oder 13,5 m und wird im Empfänger berücksichtigt.

Als Beispiel für eine stark exzentrische Satellitenbahn sei der Satellit Molnya erwähnt ($e \approx 0{,}72$). Hier erreichen die relativistischen periodischen Variationen Amplituden von etwa 1,7 µs, entsprechend über 500 m!

Zusätzlich muss noch berücksichtigt werden, dass das Signal auf dem Weg durch die wegen des Gravitationsfeldes der Erde gekrümmte Raum-Zeit verzögert wird. Analog zu Gl. (3.4) erhält man für die Korrektion der Entfernung:

$$\delta\rho_{rel2} = \frac{2GM_E}{c^2} \ln \frac{r^S + r_E + \rho}{r^S + r_E - \rho} \tag{3.7}$$

Die Größe dieses Terms erreicht bei GPS-Satelliten 18,7 mm. Er ist in dem Ausmaß aber nur bei Einzelpunktbestimmungen wirksam; bei Basislinienbestimmungen verringert sich der Einfluss durch Differenzbildung auf weniger als 10^{-9}.

Ein weiterer speziell-relativistischer Effekt betrifft die Uhr des terrestrischen Empfängers, der sich durch die Erdrotation mit Bezug auf das in dieser Hinsicht ruhende GCRS bewegt (Nelson, 2003; Hofmann-Wellenhof et al., 1994; Gulklett, 2003). Dieser Sagnac-Effekt kann interpretiert werden als Differenz der Eigenzeiten der Satellitenuhr und der Uhr im terrestrischen Empfänger (Ashby, 2003). Er kann folgendermaßen berechnet werden (Nelson, 2003; Gulklett, 2003):

$$\Delta t = \frac{1}{c^2} \vec{\rho} \cdot \vec{v} \tag{3.8}$$

mit $\vec{\rho}$ – Vektor Station – Satellit und $\vec{v}$ – Geschwindigkeitsvektor der Bewegung des Empfängers. Der Effekt ist maximal am Äquator ($v \approx 0{,}46$ km/s)

und bei großen Distanzen zum Satelliten, d.h. bei kleinen Höhenwinkeln. Für GPS beträgt der maximale Sagnac-Effekt 133 ns (1 ns entspricht etwa 30 cm). Der Effekt wird im Empfänger durch die Software berücksichtigt.

Wesentlich größer kann dieser Effekt sein, wenn GPS-Signale von tief fliegenden Satelliten empfangen werden. Für CHAMP beispielsweise ($v \approx$ 7,6 km/s) beträgt der Effekt maximal etwas über 2 µs.

Als weitere relativistische Effekte sind u. a. der Einfluss der Raumkrümmung auf die geometrische Distanz sowie der oben vernachlässigte Einfluss der Erdabplattung und des Gezeitenpotentials von Mond und Sonne zu nennen. Der erstere Effekt erreicht bei GPS-Distanzen etwa 6 mm (Ashby, 2003). Die beiden letzteren erzeugen periodische Effekte, und zwar mit Amplituden von 24 ps für den Einfluss der Erdabplattung und von etwa 1 ps für den Einfluss des Gezeitenpotentials von Mond und Sonne [Nelson, 2003; Gulklett, 2003).

3.3 Lasermessungen zu Satelliten (SLR)

Die relativistischen Korrektionen für die aus SLR erhaltenen Distanzen ρ zu künstlichen Erdsatelliten erhält man ebenfalls aus Gleichung (3.7). Da SLR ein Zweiwegverfahren ist und der Strahl somit auf dem Weg zum Satelliten und zurück durch die wegen des Gravitationsfeldes der Erde gekrümmte Raum-Zeit verzögert wird, ergibt sich zusätzlich ein Faktor 2. Die Korrektionen betragen z.B. bei LAGEOS (Höhe etwa 6000 km) zwischen 12 mm und 22 mm und für Starlette (Höhe etwa 900 km) maximal 10 mm. In Anbetracht der Subzentimetergenauigkeit moderner Meßsysteme sind diese Effekte bereits heute relevant. Bei Lasermessungen zum Mond (LLR) erreichen die Korrektionen 3 cm bis 4 cm.

Zusätzlich müssen gegebenenfalls auch hier die Einflüsse der Raumkrümmung auf die geometrische Distanz berücksichtigt werden. Je nach Distanz zum Satelliten können diese Korrektionen mehrere Millimeter betragen.

4. Schlussbemerkung

Die Ausführungen haben gezeigt, dass die Erkenntnisse sowohl der Speziellen als auch der Allgemeinen Relativitätstheorie in der modernen Satellitengeodäsie eine große Rolle spielen. Die heute erreichbaren hohen Genauigkeiten erfordern ihre Berücksichtigung in unterschiedlichster Weise. Andererseits bieten künstliche Erdsatelliten heute ein experimentelles Feld für Anwendungen und die Demonstration der Gültigkeit der Relativitätstheorie. Durch eine weitere Genauigkeitssteigerung der Methoden der Satellitengeodäsie

wird auch die Bestätigung weiterer relativistischer Effekte, die heute noch an der Nachweisgrenze liegen, möglich sein. Das erfordert aber auch eine weitere Verfeinerung der Modellierung der relativistischen Effekte, bei der u. a. die oben vorgenommenen diversen Vereinfachungen und Vernachlässigungen schrittweise einbezogen werden müssen.

Literatur

[1] Ashby, N.: Relativity in the Global Positioning System. Living Reviews in Relativity, Internet: http://relativity.livingreviews.org, 2003
[2] Beutler , G.: Himmelsmechanik I. Mitteilungen Satellitenbeobachtungsstation Zimmerwald, Bern 1991
[3] Capitaine, N. et al. (Ed.): Proceedings of the IERS Workshop on the Implementation of the New IAU Resolutions. Verlag BKG, Frankfurt/M., 2002, 134 S.
[4] Ciufolini, I.; Pavlis, E. C.: A confirmation of the general relativistic prediction of the Lense-Thirring effect. Nature, Vol. 431, 21 October 2004, S. 958–960
[5] Gambis, D: Earth Orientation Monitoring using Various Techniques, Proc. Colloqu. IAU 178, Cagliari, Italy, Sept 1999., 2000
[6] Gulklett, M.: Relativistic effects in GPS and LEO. Univ. Copenhagen, Dept. of Geophysics, October 2003, 91 S.
[7] Hofmann-Wellenhof, B.; Lichtenegger, H.; Collins, J.: GPS – Theory and Practice. Springer Verlag 1994, 355 S.
[8] Johnston, K. J.; McCarthy, D. D.; Luzum, B. J.; Kaplan, G. H. (Eds.): Proceedings IAU Colloquium 180. Washington, 2000
[9] McCarthy, D. D.; Petit, G. (Eds.) : IERS Conventions 2003. Verlag BKG, Frankfurt/M., 2004, 127 S.
[10] Moritz, H.; Hofmann-Wellenhof, B.: Geometry, Relativity, Geodesy. Herbert Wichmann Verlag 1993, 367 S.
[11] Nelson, R. A.: Practical relativistic timing effects in GPS and GALILEO. CGSIC Timing Subcommittee Meeting, March 2003
[12] Nelson, R. A.: Handbook on Relativistic Time Transfer. ION-GPS Conference, Portland Sept. 2003
[13] Petit, G.: Importance of a common framework for the realization of Space-Time Reference Systems. Proc. Int. Conf. Munich 1998, 1999
[14] Rothacher, M.: Erdmessung und Satellitengeodäsie 2. Vorl.-Skript SoSe 2003, Inst. Astron. & Physik. Geodäsie, TU München
[15] Zhu, S. J.; Groten, E.: Relativistic effects in GPS. In Groten, E. Strauß, R. (Eds.): GPS-Techniques applied to geodesy and surveying, Springer 1988
[16] IERS (International Earth Rotation Service): Bulletin A (wöchentlich), US-Naval Obs., Washington; Bulletin B (monatlich), Paris Observatory; Annual Reports, Paris Observatory