

Hans-Jürgen Treder¹

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 Entdeckung 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 Statistik, 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 Gibbs'sche 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 Gibbs'schen 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 $E = hv$. 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 $E = hv$ 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 Lagrange-scher 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-Lemaître'schen 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.