

Neue Österreichische Biographie
Amalthea-Verlag, Wien.
Band 21 (1982), Seite 110.
Geringfügig verändert.

PAUL EHRENFEST
(1880-1933)

E. Broda
Institut für Physikalische Chemie
Universität Wien



Paul Ehrenfest, geboren in Wien am 18. Jänner 1880, war einer der bedeutendsten theoretischen Physiker seiner Zeit und war auch mit einigen der größten Geister auf das engste verbunden. Er war ein Schüler Ludwig Boltzmanns, dessen Werk ihn sein ganzes weiteres Leben beschäftigte, und er war von 1912 bis zu seinem frühen Tode wohl der beste Freund Albert Einsteins unter den Naturwissenschaftlern. Von Hendrik Antoon Lorentz, dem großen niederländischen Physiker, der Ehrenfest als Wissenschaftler und Mensch überaus hoch schätzte, wurde er persönlich zu seinem Nachfolger an der Universität in Leiden ausgewählt.

Die besondere Leistung Ehrenfests bestand nicht in der Errichtung eines neuen Gedankengebäudes, das dann auch mit seinem Namen verknüpft gewesen wäre. Hierin unterschied sich Ehrenfest etwa von Maxwell, Boltzmann, Planck und Einstein. Bescheiden, wie Ehrenfest war, war ihm diese Tatsache nur allzu sehr bewußt. So schrieb er 1920 an Einstein, er sei nur ein armer Frosch, der unter den großen Tieren herumhüpft und achtgeben muß, von ihnen nicht zertreten zu werden.

Dennoch ist Ehrenfests Einfluß außerordentlich gewesen, und er wirkt auch heute fort. Seine Stärke lag in seinem unermüdlichen Streben nach Klarheit und einwandfreier Deutung, in Diskussion und sokratischem Dialog. Er betrachtete es als großes Vergehen, wenn jemand mit Unrecht behauptete, er habe etwas verstanden. Seine eigenen Fragen nannte Ehrenfest "stupid", aber sie trugen stets zur Aufklärung schwieriger Tatbestände bei. Seinem berühmten Schüler Uhlenbeck gegenüber meinte Ehrenfest, er habe so viele gute Studenten, weil er (Ehrenfest) so dumm sei. Gemeint war, daß er nicht locker ließ, wenn er von den Studenten einwandfreie Erklärungen aller Tatbestände verlangte. Die Vorgangsweise Ehrenfests führte zu einem intensiven Verhältnis zu seinen Schülern, das sich dann auch auf den persönlichen Bereich erstreckte. Von manchen Schülern wurde diese Bereitschaft Ehrenfests, sich in ihr Leben einzumischen, gerne und dankbar akzeptiert, aber in einigen wenigen anderen Fällen wurde sie abgelehnt, und dann gab es eine Katastrophe, so mit Walter Elsasser. Zu den Schülern Ehrenfests gehörten im Lauf der Jahrzehnte neben vielen anderen Burgers, Casimir, Coster, Fermi, Goudsmit, Kramers, Tinbergen, Uhlenbeck und Weisskopf. Manche verbrachten zwar nur kurze Zeit mit Ehrenfest, wurden aber dennoch durch ihn geprägt.



Arnold Sommerfeld schrieb 1912 an Lorentz: "Er trägt meisterhaft vor. Ich habe noch kaum einen Menschen so fesselnd und glänzend reden hören. Prägnante Wortbildungen, witzige Pointen, Dialektik steht (sic) ihm in ungewöhnlicher Weise zur Verfügung." Einstein stellte in seinem Nachruf fest: "Er war nicht nur der beste Lehrer unseres Faches, den ich kennengelernt habe; er war auch leidenschaftlich erfüllt von dem Interesse für Entwicklung und Schicksal der Menschen, insbesondere aber seiner Studenten. Andere Menschen zu verstehen, Freundschaft und Vertrauen zu erwerben in inneren und äußeren Nöten, Fördern junger Talente - all dies bildete zusammen sein eigentliches Lebenselement, fast noch mehr als die Vertiefung in die wissenschaftlichen Probleme."

Victor Weisskopf sagte: "Ich betrachte Ehrenfest als einen der entscheidendsten Einflüsse, die mir je zuteil wurden. Er unterstrich, daß Wissenschaft einfach sein sollte und sagte: 'Glauben Sie nicht an die großen mathematischen Formalismen; das ist die Göttinger Krankheit ... Sehen Sie auf das Wesentliche. Stellen Sie einfache Fragen. Physik ist einfach, aber subtil.'" Nach Aussage Bruno Pontecorvos ist Enrico Fermi bei Ehrenfest in Leiden gereift. Er hat dort das Selbstbewußtsein gewonnen, das nach Pontecorvo eine Grundvoraussetzung für einen erfolgreichen Wissenschaftler ist.

In der Zeit seiner Kindheit waren die familiären und materiellen Voraussetzungen für Paul Ehrenfests Entwicklung eher günstig. Dies galt aber nicht, wie man sehen wird, für die Beziehungen zum sozialen Milieu.

Der Vater, Sigmund Ehrenfest, war aus dem mährischen Dorf Loschwitz nach Wien übersiedelt, wo er in der Humbergerstraße in Favoriten ein Geschäft mit Lebensmitteln begründete und erfolgreich führte. Paul war der jüngste von fünf Brüdern. Die Familie hielt fest zusammen, auch mit entfernteren Verwandten, und lebte unter bequemen kleinbürgerlichen Verhältnissen. Sie konnte z.B. auch mit Dienstmädchen und Klavier an Orte wie Hütteldorf, Brunn am Gebirge oder Baden auf Sommerfrische gehen. Pauls Mutter, Johanna Jelinek, starb früh und der Vater heiratete ihre Schwester Josephine, starb aber selbst schon 1896.

Die älteren Mitglieder der Familie waren gläubige Juden, aber Paul verlor sein Vertrauen in organisierte Religion schon im Alter von 12

Jahren. Ausgeprägte intellektuelle Einflüsse gab es im Milieu anscheinend nicht. Am stärksten wirkte auf Paul sein ältester Bruder Arthur, der später Ingenieur wurde, und dem er unter anderem Kenntnisse der Mathematik und der Naturwissenschaften verdankte. Bleibenden Einfluß auf Paul übte seit Kindertagen die Musik, die in der Familie eifrig gepflegt wurde.

Über die Ereignisse und auch die Gedanken und Meinungen Ehrenfests während des größten Teils seines Lebens sind wir insofern gut informiert, als der Wissenschaftshistoriker der Yale-Universität, U.S.A., der Physiker Martin Klein, nicht nur in Ehrenfests reiche Korrespondenz, sondern auch in seine umfangreichen Tagebücher Einsicht nehmen konnte. Tagebücher führte Ehrenfest gewissenhaft seit einer Reise nach Italien 1903. Leider liegen die Textauszüge nur in der englischen Übersetzung Kleins vor, so daß sie für den gegenwärtigen Zweck in die ursprüngliche Sprache rückübersetzt werden mußten. Dies gilt auch für einige andere Texte in der vorliegenden Biographie.

Nach der Volksschule auf dem Keplerplatz besuchte Ehrenfest das Akademische Gymnasium, übersiedelte aber später ins Franz-Joseph-Realgymnasium auf der Stubenbastei, wo er mit seinem Mitschüler Paul Herglotz, dem späteren Professor der Mathematik in Leipzig, befreundet war. Heinrich Tietze und Hans Hahn ergänzten die Gruppe der mathematisch und physikalisch interessierten jungen Männer zu einem unzertrennlichen Diskussionsquartett. 1899 begann Ehrenfest das Studium der Chemie an der Technischen Hochschule in Wien, doch wandte er sich dann der Physik zu, die er bei Boltzmann auf der Universität betrieb.

Als Boltzmann 1900 vorübergehend nach Leipzig ging, begann Ehrenfest einen Aufenthalt in Göttingen. Dort studierte er bei einer großen Zahl hervorragender Männer, nämlich bei den Mathematikern Felix Klein, David Hilbert und Ernst Zermelo, bei den Physikern Johannes Stark, Max Abraham, Walther Nernst und Leopold Schwarzschild und sogar beim Philosophen Edmund Husserl. Der junge Schweizer Walter Ritz, der bald danach jung starb, wurde Ehrenfests enger Freund. Mit Ritz ging Ehrenfest auch einige Monate nach Holland, wo er einen Abend in Leiden beim großen Lorentz verbringen konnte. Offenbar beeindruckte Ehrenfest diesen nachhaltig.

Als Boltzmann 1902 aus Leipzig nach Wien zurückkam, kehrte Ehrenfest ebenfalls dahin zurück und er verfaßte unter Boltzmanns Leitung eine



Dissertation aus dem Bereich der theoretischen Mechanik. An Boltzmanns Seminar nahm Ehrenfest eifrig teil und bewies solches Kenntnis des enormen Werkes des Meisters, daß dieser einmal seufzend sagte, er wünschte, er kenne seine eigenen Arbeiten so gut wie Ehrenfest. In dieser Zeit schloß Ehrenfest auch Freundschaft mit Philipp Frank und betrieb gemeinsame Studien mit Lise Meitner, die freilich bald durch Ehrenfests intensive Art der Diskussion gestört wurde. Nicht mit Paul Ehrenfest zu verwechseln ist sein Zeitgenosse, der Experimentalphysiker Felix Ehrenhaft, der eine Persönlichkeit gänzlich anderer Art war.

In Göttingen hatte Ehrenfest in einer Vorlesung die russische Mathematik-Studentin Tatjana Afanassiewa kennengelernt, die dort unter Aufsicht einer Tante verweilen durfte. Im Dezember 1904 heirateten Paul und Tatjana in Wien. Nicht nur entsprossen der Ehe allmählich vier Kinder, sondern von Anfang an gab es enge und produktive wissenschaftliche Zusammenarbeit. Dabei wurden der Elan, die Phantasie und die Initiative Pauls in hervorragender Weise durch die scharfe logische Denkweise Tatjanas ergänzt. Die Heirat erforderte übrigens den Austritt beider Partner aus ihren Religionsgemeinschaften, da nach den damaligen Gesetzen Österreichs eine Ehe zwischen Juden und Christen nicht zulässig war.

In Wien interessierte sich das junge Paar nicht nur für Mathematik und Physik, sondern es gab auch endlose Diskussionen über aktuelle Probleme anderer Wissenschaften, so über Freuds Psychoanalyse und über Literatur. Schon nach Leiden war Ehrenfest von Tatjana als Lektüre neben den Physikern Andersen, Strindberg und Tolstoi mitgegeben worden.

Da Paul Ehrenfest offenbar in Wien keinen Posten fand, wurde die Übersiedlung nach Tatjanas Vaterland beschlossen. Allerdings erwies sich, daß auch dort für Ehrenfest keine geregelte Anstellung zu haben war. Sicherlich war entscheidend, daß es sich bei ihm um einen ausländischen Juden handelte. Die Familie mußte von privaten Mitteln leben, die sie glücklicherweise hatte. Der Wohnsitz war St. Petersburg.

Nichtsdestoweniger genoß Ehrenfest seine russischen Jahre inmitten eines Kreises guter Freunde, die intensive Diskussionen über viele, nicht nur physikalische Probleme abhielten. Zu ihnen gehörten auch die später weltberühmten Physiker Avram Ioffe und A.A. Fridman. Ehrenfest liebte es

besonders, nach den unendlichen privaten Seminaren mit den Freunden in die kalte Winterluft hinauszueilen oder in den weißen Nächten die Newa-Brücken zu besuchen. Die Sommer verbrachte die Familie in Estland, wo es in den Birkenwäldern Schwämme mit herrlichem Aroma gab. Ehrenfest schrieb, daß Rußland zweifellos sein Heim im ernstesten Sinn des Wortes geworden wäre, wenn er dort nur irgendwie zu einer regulären Unterrichtsposition zugelassen worden wäre. Trotz seiner unvollkommenen Kenntnis der Sprache fühlte er sich bei allen Klassen der Bevölkerung "außer bei den politischen Beamten" zu Hause. Übrigens besuchte Ehrenfest seine russischen Freunde mehrmals auch nach der Revolution.

In den Tagebüchern Paul Ehrenfests findet sich ein Programm, das er und seine Frau für die erste, noch in Wien geborene und mit Freude begrüßte Tochter Tanja entwarfen und das so recht die überströmende Vitalität des Ehepaares zeigt. Ein kurzer Auszug daraus lautet: "Mathematik - alle Seiten dieser ruhmreichen Wissenschaft, die begrifflichen Feinheiten, die Beziehungen zwischen den verschiedenen Teilen, großartige, fast unheimliche Beziehungen, und die Veranschaulichung dieser Beziehungen, die rein methodologischen Aspekte und nicht zuletzt die technische Seite: Meisterschaft in der Fähigkeit zu Berechnung, geometrische Phantasie und logische Intuition. Unter den Mathematikern, die wir besonders lieben, Riemann, Klein, Lie, Poincaré, Russell, Hilbert, Hadamard. Physiker, Chemiker, Kristallographen, Biologen, die wunderbaren Ergebnisse über Befruchtung ... Darwins Theorie ... Physiologie der Sinnesorgane (Helmholtz) und der Muskelkontraktion, das Gehirn, Immunotherapie und Bakteriologie, Psychologie (Wundt, Freud) und mathematische Ökonomie (Pareto, Marx, Böhm-Bawerk). Das Zeitalter des Perikles, die Juden im Mittelalter, die Kreuzzüge, englische Verfassungsgeschichte, die französische Revolution usw. usw."

Wegen des Fehlens einer Perspektive in Rußland unternahm Paul Ehrenfest im Jahre 1912 eine große Reise nach Mitteleuropa, um eine Stelle zu finden. Unter den angesehenen Kollegen, die er nach einem sorgfältig vorbereiteten Plan besuchte, befanden sich Max Planck in Berlin und Arnold Sommerfeld in München. In Wien traf Ehrenfest mit Boltzmanns Nachfolger Fritz Hasenöhrl zusammen und lernte auch mehr zufällig Erwin Schrödinger



kennen, mit dem er sich alsbald in ein Kaffeehaus zurückzog - Beginn einer lebenslangen Freundschaft. Auch Marian von Smoluchowski, der bedeutende Schüler von Josef Stefan, Franz Exner und Ludwig Boltzmann, wurde in Lemberg, und Hans Hahn wurde in Czernowitz besucht.

Der Höhepunkt der Reise war der Besuch bei Einstein, den Ehrenfest vorher nicht persönlich gekannt hatte, in Prag. Ehrenfest war sogleich "furchtbar froh", wie er schrieb. Einstein meinte: "Innerhalb weniger Stunden waren wir echte Freunde - als ob unsere Träume und unsere Bestrebungen füreinander gedacht wären." Themen waren die Mechanik, die Atomphysik, die Gravitation, aber auch die Musik. Einstein gewann Ehrenfest für Bach. In den folgenden Jahren gab es viele gegenseitige Besuche Ehrenfests und Einsteins.

Ehrenfest wäre auch ein aussichtsreicher Kandidat für die Nachfolge Einsteins in Prag gewesen, da Einstein sich für die Rückkehr nach Zürich vorbereitete. Der Plan scheiterte aber daran, daß Franz Joseph grundsätzlich keine Konfessionslosen zu Professoren ernannte. Ein Wiedereintritt in die jüdische Religionsgemeinschaft, sei es auch nur als Formalität, wie ihn Einstein vollzogen hatte, wurde aber von Ehrenfest abgelehnt.

Ehrenfest kehrte also ohne unmittelbare Aussicht auf eine Stellung nach St. Petersburg zurück, wobei er unterwegs noch das Heim des von ihm hoch verehrten, nun verstorbenen Leo Tolstoi in Jasnaja Poljana besuchte und von dort in vielstündiger Schlittenfahrt im Sonnenschein zur nächsten Bahnstation gelangte. Zu Ehrenfests Glück aber wurde ihm nun die Nachfolge von Lorentz in Leiden angeboten, der wohl der berühmteste theoretische Physiker seiner Zeit war. Einstein gratulierte den Kollegen in Leiden, daß sie einen Professor bekamen, dessen natürliche Intelligenz nicht durch mathematische Pedanterie verdorben worden war.

Die Grundlage zur Einladung von Ehrenfest war für Lorentz der inzwischen erschienene Artikel von P. und T. Ehrenfest, dessen Verfassung für die berühmte "Enzyklopädie der mathematischen Wissenschaften" Ehrenfest dem Herausgeber Felix Klein nach dem Tode Boltzmanns an dessen Stelle zugesagt hatte. Dieser Artikel, dessen Gegenstand die begrifflichen Grundlagen der "Statistischen Mechanik" sind, ist bis heute richtungsweisend geblieben. Sein Ziel war nicht die Darlegung der Theoreme, Erklärungen

und Vorhersagen der atomistischen Theorien der großen Physiker Clerk Maxwell, Ludwig Boltzmann und Willard Gibbs, sondern die Analyse der expliziten und impliziten Grundlagen dieses in rascher Entwicklung befindlichen Zweiges der Wissenschaft. Diese Arbeit wurde von den Ehrenfesten mit einem Minimum an mathematischem Formalismus und einem Maximum an Klarheit und Anschaulichkeit vollbracht.

Die ursprüngliche Aufgabe der statistischen Atom- und Molekulartheorie, zuerst von Gibbs als Statistische Mechanik bezeichnet, war die Ableitung der Gesetze der Wärmelehre (Thermodynamik) auf Grundlage der Annahme, daß alle Stoffe aus einer überaus großen Zahl kleinster Teilchen bestehen, eben der Atome. Zu den Gesetzen gehörten insbesondere der Satz von der Erhaltung der Energie (Erster Hauptsatz) und der Satz von der Vermehrung der Entropie (Zweiter Hauptsatz). Die Atomistik war um die Jahrhundertwende noch keineswegs allgemein angenommen. Einige führende Forscher wie Ernst Mach, Wilhelm Ostwald und Pierre Duhem glaubten nicht an die Realität der Atome. Am heftigsten hatte den Kampf für die Atomistik in seinen unermüdlichen und scharfsinnigen Arbeiten Boltzmann geführt. Seine besonderen Verdienste waren vom jungen Ehrenfest schon bald nach dessen Tode in einem bemerkenswerten Artikel, der in Göttingen erschien, gewürdigt worden, in dem er das Ringen Boltzmanns um Erkenntnis in auch menschlich packender Form dargestellt hatte.

Obgleich Boltzmann die bekannten experimentellen Tatsachen durch seine Theorien weitgehend erklären und auch zutreffende Vorhersagen machen konnte, gab es doch gegen seine Meinungen grundsätzliche, ins Philosophische spielende Einwände. Sie wurden u.a. von Boltzmanns älterem Kollegen und Freund Josef Loschmidt in Wien, von William Thomson in Glasgow und von Ernst Zermelo, einem Mitarbeiter des jungen Max Planck, erhoben. Dabei waren Thomson und Loschmidt freilich Anfänger der Atomistik.

Es gab den Umkehrreinwand und den Wiederkehrreinwand. Diese Bezeichnungen stammen von den Ehrenfesten. Der Umkehrreinwand wurde in den siebziger Jahren von Thomson, später Lord Kelvin, vorgebracht, gelangte aber durch einen späteren Artikel Loschmidts zu großer Bedeutung. Dieser fragte, was wohl die Ursache der offenbaren Einseitigkeit des Weltgeschehens (Ausgleich von Temperaturen, Mischung von Stoffen) sei, wo doch die Ge-



setze der klassischen Mechanik zwischen Vergangenheit und Zukunft nicht unterscheiden, man also alle Bewegungsrichtungen von Körpern gedanklich umkehren kann, ohne die Naturgesetze zu verletzen.

Beispielsweise könnte man in einem Sternsystem alle Bewegungsrichtungen aller Sterne umkehren und es würde sich wieder ein mögliches Sternsystem ergeben. Würde man aber etwa in einem Gas, in dem die Entropie zugenommen hatte, alle Bewegungsrichtungen aller Atome umdrehen, so müßte die Entropie abnehmen - was man bekanntlich nie beobachtet!

Boltzmann erwiderte, daß im Sinne der Atomlehre, nach der alle Stoffe aus unvorstellbar großen Anzahlen von Teilchen bestehen, in der überwältigenden Mehrzahl der Fälle auch die Umkehr zu keinem anderen Gesamtergebnis führen würde. Die Wahrscheinlichkeit ungeordneter Zustände (Temperatur- und Konzentrationsausgleich) übertrifft nämlich die der geordneten Zustände (Bestehen von Temperatur- oder Konzentrationsdifferenzen) ganz ungemein. Nach Boltzmann entspricht Zunahme der Unordnung Zunahme der Entropie. Daß die Entropie in der Welt zunimmt, liegt daran, daß sie sich nicht im Zustand maximaler Wahrscheinlichkeit befindet. Der Grund dafür ist unbekannt.

Verwandt war der Wiederkehrerwand von Zermelo, der von einem der Mechanik angehörigen Theorem des Mathematikers Henri Poincaré ausging. Nach diesem Theorem, dessen Richtigkeit von Boltzmann anerkannt wurde, muß nämlich, vereinfacht ausgedrückt, jedes mechanische System früher oder später jeden einmal eingenommenen Zustand wieder erreichen. Da nun aber nach Ansicht Zermelos (und Plancks) nach dem Zweiten Hauptsatz der Wärmelehre frühere Zustände nicht mehr hergestellt werden können, vielmehr die Entropie unweigerlich immer zunimmt, könnten Stoffe nicht als mechanische, aus Atomen bestehende Systeme begriffen werden.

In diesem Fall erwiderte Boltzmann mit großer Heftigkeit. Bei einer riesenhaften Anzahl von Atomen ist es äußerst unwahrscheinlich, daß frühere Konfigurationen wiederkehren. Zwar muß die Wiederkehr früher oder später stattfinden, da sie ja nicht unmöglich ist. Nur sind die dazu notwendigen Zeiträume so ungeheuer groß, daß die Tatsache, daß eine solche Wiederkehr niemals beobachtet wurde, keinerlei Beweiskraft gegen die atomistisch-statistische Deutung der Wärmelehre, einschließlich des Zweiten Hauptsatzes, hat.

Diese beiden Einwände veranlaßten Boltzmann zur immer schärferen Herausarbeitung des Wahrscheinlichkeits- (statistischen) Charakters seiner Aussagen. Da sich die Gesetze der Wärmelehre durch das zufällige Zusammenspiel einer immensen Zahl von winzigen Atomen ergeben, müssen ihre Aussagen zwar praktisch mit Sicherheit zutreffen, doch ist, da es sich eben um Wahrscheinlichkeitsaussagen handelt, ein gegenteiliges Ereignis nicht mit absoluter Sicherheit auszuschließen.

Im Gegenteil, unter geeigneten Umständen, und zwar insbesondere an Suspensionen kleiner Teilchen sind abweichende Ergebnisse sogar mit großer Wahrscheinlichkeit zu erwarten. Diese werden als Fluktuationen bezeichnet. Gerade Einstein und Smoluchowski, Freunde Ehrenfests, hatten sich besonders für die Fluktuationen interessiert und ihr Ausmaß vorhergesagt. Solche Fluktuationen bilden das Wesen der den Botanikern schon lange bekannten Brownschen Bewegung. Die Ehrenfests analysierten in ihrem Artikel in der Enzyklopädie alle diese überaus wichtigen Fragen begrifflich. Sie kamen zum Ergebnis, daß die Überlegungen Boltzmanns zwar nicht immer analytisch bis ins Letzte durchdacht, aber dennoch stichhaltig gewesen waren.

Ehrenfest war ein höchst erfolgreicher Nachfolger von Lorentz. Wie viele hervorragende Physiker aus seiner Schule stammten, wurde schon erwähnt. Die Vorlesungen von Ehrenfest, die in ihrem Stil völlig von den ruhigen, gemessenen und wohlüberlegten Ausführungen von Lorentz abwichen, inspirierten die Studenten. Ehrenfest betrieb dort die Verehrung von Helden wie Einstein, Lorentz und Bohr. Die Sprache war ein Gemisch von holländisch und deutsch, wobei in Anwesenheit von Freunden aus Wien, wie Schrödinger und Pauli, zunehmend Wiener Dialekt verwendet wurde. Einschlafen war unmöglich, und zwar nicht nur deshalb, weil Ehrenfests Vortrag so lebhaft war, sondern auch, weil er jeden Übeltäter persönlich zur Rechenschaft zog. Drastische Ausdrücke wurden verwendet. So wurde ein Student, der ein Problem gut gelöst hatte, durch Ehrenfests Urteil belohnt, er habe die ganze Ratte aus der Suppe gezogen. Rasche Ablegung einer Prüfung wurde durch eine Tafel Schokolade gewürdigt. Ehrenfest organisierte auch die Unterstützung von Nachzöglerern beim Studium durch fortgeschrittene Studenten.



Dennoch blieb Ehrenfest bescheiden. So schrieb er noch 1912 an seinen väterlichen Freund Lorentz, nachdem er ihm eine neue Hypothese in ihren Grundzügen vorgelegt hatte: "Bitte haben Sie Geduld mit meinen Fehlern und meiner Energieverschwendung. Jahre, um zu entscheiden, ob ich diese Professur behalten soll oder ob ich Sie bitten muß, sie jemandem anderen zu übertragen. Sie sollten zwei Dinge ganz klar auseinanderhalten: Ihr Interesse an meiner persönlichen Entwicklung und Ihre Sorge über die Zukunft des hiesigen Lehrstuhls." Lorentz sollte Ehrenfests Wirken als eine Probeperiode betrachten, ihm seinen Brief aber nicht beantworten.

Zu den neuen wissenschaftlichen Problemen, mit denen sich Ehrenfest schon in St. Petersburg und nun auch in Leiden befaßte, gehörte insbesondere die Quantentheorie. Sie hatte von einer berühmten Arbeit Plancks aus dem Jahre 1900 ihren Ausgang genommen, in der dieser zeigte, daß die spektrale Verteilung innerhalb der Lichtstrahlung nur dann verstanden werden kann, wenn von den strahlenden Körpern Lichtenergie nur paketweise aufgenommen und abgegeben werden kann. Die Größe der Pakete wird durch eine von Planck neu eingeführte Naturkonstante bestimmt, die seither als Plancksches Wirkungsquantum bezeichnet wird. Planck konnte ihren Zahlenwert mit Hilfe seiner Theorie auf Grund des bereits vorliegenden experimentellen Materials anderer Autoren angeben.

Allerdings führte die Quantenhypothese zu argen begrifflichen Schwierigkeiten, die bis zum heutigen Tage nicht gänzlich ausgeräumt sind. Jedenfalls zeigte der junge Einstein im Jahre 1905, daß es nicht genügt, Aufnahme und Abgabe von Energie zu "quantisieren", sondern daß man überdies annehmen muß, daß die Lichtenergie selbst innerhalb des Strahlenfeldes in Quanten (später als "Photonen" bezeichnet) vorliegt. Diese Vorstellung hat Einstein auch alsbald zu wichtigen Vorhersagen geführt, die sich sämtlich experimentell bewahrheitet haben. Durch seine Hypothese hat Einstein den photoelektrischen Effekt gedeutet, die theoretische Grundlage für die Photochemie gelegt und die Voraussetzungen für den Laser geschaffen. Ehrenfest war ebenfalls auf diesem Gebiete sehr tätig und man kann ihn als einen Bahnbrecher der sozusagen erweiterten Fassung der Planckschen Quantenhypothese betrachten. Von Ehrenfest stammt die aufregende Feststellung, daß die klassische Theorie der Strahlung zu

einer "Ultraviolett Katastrophe" führt, also zu einer grenzenlosen Anhäufung von Energie im kurzwelligen Gebiet.

Weiterhin war Ehrenfest mit der Problematik befaßt, die sich aus dem Übergang von den klassischen Vorstellungen zu den neueren Vorstellungen, eben jenen der Quantentheorie, ergeben. Genannt sei Ehrenfests von Einstein so genannte Adiabatenhypothese. Sie gibt Richtlinien, welche Größen beim Übergang von der klassischen zur neueren Auffassung zu quantisieren sind, und in welcher Form.

Während der Zwanzigerjahre war Ehrenfest international als große Autorität anerkannt. So wurde er auch von Bohr, Schrödinger und Pauli hochgeschätzt. Die Korrespondenz mit Wolfgang Pauli, einem Nobelpreisträger, ist noch heute eine ebenso interessante wie erheiternde Lektüre. In ihr kommt Ehrenfests Scharfsinn, aber auch sein wunderbarer Humor zur Geltung.

Ehrenfest hatte zu dem genialen, zwei Jahrzehnte jüngeren Pauli zwar große Zuneigung, aber er zerzauste ihn auch gerne. Er nannte ihn, den scharfen Kritiker, die "Gottesgeißel". Da Pauli im Gegensatz zu Ehrenfest kein guter Sprecher war, fragte Ehrenfest, warum es eigentlich die Zuhörer immer nervös mache, Pauli während eines Vortrages hin- und hergehen zu sehen. Antwort: "Die jedesmalige Enttäuschung am Wendepunkt."

1928 schrieb Ehrenfest an Pauli: "Beim Aufwachen: Sanct Pauli! Was Separierbarkeit? Nix Separierbarkeit!!! ... Operatorfunktion, die die Wechselwirkung zwischen dem Spin der beiden Helium-Elektronen darstellt ... Sie Pauli! Schlafen können Sie, so lang Sie wollen! Aber aus Leiden kommen Sie nicht heraus, bevor Sie das Heliumexamen wenigstens auf genügend absolviert haben. Wir tun hier nix an Höflichkeiten! So! So! ..." Pauli sprach in seinem Nachruf vom "Bild jenes geist- und witzsprühenden Mannes, der mit scharfer Kritik, aber zugleich mit tiefer Einsicht in die Grundlagen der wissenschaftlichen Erkenntnis in die Diskussion eingreift und die Aufmerksamkeit auf einen bisher nicht oder zu wenig beachteten wesentlichen Punkt richtet".

Bis zu seinem Lebensende war Ehrenfest erfolgreich, und zwar sowohl durch Arbeiten, deren alleiniger Autor er war, so eine berühmte Arbeit über Phasenumwandlungen (1933), als auch durch Arbeiten mit hervorragenden



den Kollegen wie Einstein und Robert Oppenheimer. Dennoch unterlag Ehrenfest melancholischen Stimmungen und er begann sogar von Selbstmord zu sprechen, den er dann am 25. September 1933 tatsächlich verübte. Auch in seinem Falle, wie dem Boltzmanns im Jahre 1906, wirkten wohl mehrere Gründe zusammen. Einstein erwähnt in seinem Nachruf eine vorübergehende teilweise Entfremdung des Ehepaars, vor allem aber Ehrenfests Sorge um seine Leistungsfähigkeit, die er in seiner Bescheidenheit ohnehin immer unterschätzt hatte. Dazu kamen noch familiäre Gründe anderer Art und schließlich auch gewiß das Entsetzen über die Greuel der Nazisten im benachbarten Deutschland. Diese betrafen ja viele von Ehrenfest geschätzte Kollegen, so Einstein. Ein Übergreifen auf Holland war zu befürchten und fand dann 1940 tatsächlich statt.

Nach Ehrenfests Tode schrieb ein ungenannter Kollege im "Nieuwe Rotterdamsche Kurant": "Auf Kongressen gelehrter Gesellschaften war er in seinem Element. In seinem fremd klingenden Holländisch vermochte er, die Dinge mit äußerster Exaktheit auszudrücken. In der Debatte blieb Ehrenfest niemals eine Antwort schuldig. Trotz einer gewissen äußeren Schärfe und seines heftigen Temperaments war er ein zarter und guter Mensch. Um die Universität Leiden, um das Studium der Physik hat er sich unvergängliche Verdienste erworben. Die Stadt Leiden ohne Ehrenfest wird ein anderes Leiden sein."

Und wie stand es mit der Stadt Wien? Ehrenfest blieb sein ganzes Leben von Wien geprägt, wie man auch seinem Verhältnis zu Schrödinger und Pauli entnehmen kann. Dennoch schrieb Ehrenfest 1912 an H.A. Lorentz, als dieser wegen der Professur in Leiden anfragte, er fühle sich nirgends so fremd wie in Wien, nicht in Göttingen oder in der Schweiz, ja nicht einmal unter den holländisch sprechenden Fischern der Nordsee, bei denen er einige Wochen zugebracht hatte. Wie kam es, daß anscheinend niemals ein Versuch gemacht wurde, Ehrenfest für Österreich zu gewinnen? Nicht einmal über Gastvorträge Ehrenfests in Wien ist etwas bekannt. Falls sie stattgefunden haben, gingen sie spurlos vorbei.

Ohne weitere Prüfung von Ehrenfests Tagebüchern wird man schwer zu einer verlässlichen Antwort kommen. Es könnte sein, daß Anfeindungen, denen der Sohn des jüdischen Händlers in seiner Kindheit, in der Zeit

Luegers und Schönerers, in der Vorstadt ausgesetzt war, seinen Kontakt mit Wien als Stadt, wenn auch nicht mit Wiener Kollegen, dauernd verdorben hat. Dagegen steht durchaus nicht im Widerspruch, daß im pluralistischen Wien andere jüdische Studenten und junge Wissenschaftler in anderen Kreisen keinen Antisemitismus verspürten. Es wäre höchst wünschenswert, daß österreichische Wissenschaftshistoriker die Tagebücher Ehrenfests auch unter diesen Aspekten durcharbeiten würden.



Literaturnachweis

- P. Ehrenfest, Collected Scientific Papers, Hsg. M.J. Klein, North Holland, Amsterdam 1959.
- M.J. Klein, Paul Ehrenfest, Vol. 1, The Making of a Theoretical Physicist, North Holland, Amsterdam 1970. Dies ist die ausführlichste Quelle. Der vorgesehene zweite Band ist leider nicht erschienen.
- V.Ja. Frenkel, Paul Ehrenfest, Atomisdat, Moskau 1977 (russ.).
- B.G. Casimir, Persönliche Mitteilungen aus den Lebenserinnerungen, die 1981 erscheinen sollen.
- A. Einstein, In memoriam Paul Ehrenfest, in: Aus meinen späten Jahren, 2. Aufl., Deutsche Verlagsanstalt, Stuttgart 1979.
- M.J. Klein, Not by discoveries alone: The centennial of Paul Ehrenfest, Physica 106A, 3 (1981).
- H.A. Kramers, Physiker als Stilisten, Naturwiss. 23, 297 (1935).
- W. Pauli, Paul Ehrenfest, Naturwiss. 21, 841 (1933).
- W. Pauli, Wissenschaftlicher Briefwechsel mit Bohr etc., Bd. 1, Hsg. A. Hermann, K. von Meyenn und V.F. Weisskopf, Springer-Verlag, Berlin 1979.
- G.F. Uhlenbeck, Reminiscences of Professor Paul Ehrenfest, Amer. J. Phys. 24, 431 (1956).
- V.F. Weisskopf, Physics and Physicists the way I knew them, in: History of Twentieth Century Physics, Hsg. C. Weiner, Acad. Press, New York 1977.
- E. Broda, Ludwig Boltzmann, Mensch - Physiker - Philosoph, Deuticke, Wien, 1955.
- E. Broda, Einstein und Österreich, Österreichische Akademie der Wissenschaften, Wien 1980.