

Werner Heisenberg – Die Sprache der Atome

Helmut Rechenberg

Werner Heisenberg – Die Sprache der Atome

Leben und Wirken –
Eine wissenschaftliche Biographie

Die „Fröhliche Wissenschaft“
(Jugend bis Nobelpreis)

Dr. Helmut Rechenberg
MPI für Physik
Werner-Heisenberg-Institut
Föhringer Ring 6
80805 München
Deutschland

ISBN 978-3-540-69221-8 *gedruckt in zwei Bänden*
DOI 10.1007/978-3-540-69222-5
Springer Heidelberg Dordrecht London New York

e-ISBN 978-3-540-69222-5

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

© Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2010

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, des Vortrags, der Entnahme von Abbildungen und Tabellen, der Funk-sendung, der Mikroverfilmung oder der Vervielfältigung auf anderen Wegen und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen, bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwertung, vorbehalten. Eine Vervielfältigung dieses Werkes oder von Teilen dieses Werkes ist auch im Einzelfall nur in den Grenzen der gesetzlichen Bestimmungen des Urheberrechtsgesetzes der Bundesrepublik Deutschland vom 9. September 1965 in der jeweils geltenden Fassung zulässig. Sie ist grundsätzlich vergütungspflichtig. Zuwiderhandlungen unterliegen den Strafbestimmungen des Urheberrechtsgesetzes.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Einbandabbildung: Heisenberg in Kopenhagen, Herbst 1926;

Foto von Friedrich Hund, Heisenberg-Archiv (WHN)

Einbandgestaltung: WMX Design GmbH, Heidelberg

Herstellung und Satz: le-tex publishing services GmbH, Leipzig

Gedruckt auf säurefreiem Papier

Springer ist Teil der Fachverlagsgruppe Springer Science+Business Media (www.springer.de)

Vorwort und Vorbemerkungen

„Ich sage mir, von allen Revolutionen, denen wir in unserem Jahrhundert ausgesetzt waren, ist die größte, die einzig wirklich die naturwissenschaftliche.“

So schrieb der Diplomat und Historiker Carl Jacob Burckhardt am 19. Januar 1972 an Werner Heisenberg, als er sich für die Zusendung eines Exemplars von dessen jüngster Sammlung allgemein verständlicher Aufsätze – *Schritte über Grenzen (Heisenberg 1971)* – bedankte. Die erste Publikation dieser Art veröffentlichte der damals noch jugendliche Physikprofessor bereits 1935 unter dem Titel „Wandlungen in den Grundlagen der Naturwissenschaft“. In der Tat zeigte sich das vergangene Jahrhundert reich an Wandlungen, ja geradezu an Revolutionen, in vielen Bereichen des menschlichen Lebens und Wirkens. Die großen Veränderungen in Politik und Gesellschaft zu Beginn des 20. Jahrhunderts hatten einen Weltkrieg zur Folge, dem sich kommunistische und faschistische Diktaturen und ein zweiter Weltkrieg anschlossen.

Während diese Diktaturen kamen und wieder vergingen, erwiesen sich die wissenschaftlichen Revolutionen, vor allem die in den Naturwissenschaften, als äußerst beständig. Insbesondere wurde das Weltbild der „klassischen Physik“, das sich in den Jahrhunderten seit dem Erscheinen von Nikolaus Kopernikus *De revolutionibus orbium coelestium* im Jahr 1543 schließlich herausgebildet hatte und im späten 19. Jahrhundert zur Vollendung gelangt war, sehr bald durch zwei neue Theoriesysteme erschüttert. Gemeint sind die sogenannte „Quantentheorie“ von 1900 und die „Relativitätstheorie“ von 1905. Beide Theorien verursachten tief greifende Wandlungen in den begrifflichen Grundlagen der Physik. Und ihre Ergebnisse wirkten sich nahezu umgehend auch auf die anderen Bereiche der Naturwissenschaften aus, welche die neue „moderne Physik“, nun als *die* eigentliche Leitwissenschaft, wesentlich umgestaltete.

Im 20. Jahrhundert nahm besonders in den Naturwissenschaften, deren Ergebnisse sich in vielfacher Weise zum Motor des industriellen Fortschrittes entwickelten, die Anzahl der an den Lösungen der Aufgaben beteiligten Forscher und mehr noch diejenige der Forscherinnen bedeutend zu. Trotzdem wurden die oben er-

währten entscheidenden Revolutionen von einzelnen überragenden Persönlichkeiten geschaffen, meist angeregt oder unterstützt durch die Gunst von mehr oder weniger unverhofften experimentellen Entdeckungen: namentlich diejenige der *X*-Strahlen von Wilhelm Conrad Röntgen in Würzburg, die der Radioaktivität von Henri Becquerel – seine Pariser Kollegen Pierre und Marie Curie, Ernest Rutherford in Manchester und Otto Hahn mit Lise Meitner in Berlin vertieften ihre Untersuchungen in der Folgezeit ganz wesentlich – und die des Elektrons 1897 von Joseph John Thomson im englischen Cambridge, Emil Wiechert in Königsberg und Willy Wien in Aachen.

Die eigentlichen Pioniere des neuen Weltbildes der Physik waren dann aber vor allem zwei Theoretiker in Mitteleuropa. Zunächst führte der Berliner Universitätsordinarius Max Planck im Dezember 1900 zur Erklärung der von seinen Physikerkollegen an der benachbarten *Physikalisch-Technischen Reichsanstalt* beobachteten „schwarzen Strahlung“ den Begriff des „Wirkungsquantums“ ein und widerlegte dadurch das seit dem griechischen Altertum geltende Prinzip von „natura non facit saltus“. Einige Jahre darauf, im Juli 1905, verkündete Albert Einstein, damals Angestellter des Schweizer Patentamtes in Bern, seine erste, später die so genannte „spezielle“ Relativitätstheorie und hob in ihr die bisher gültige strenge Trennung von Raum- und Zeitvorstellungen auf. Die letzte dieser Revolutionen leitete schließlich Werner Heisenberg ein. Der junge Privatdozent an den Universitäten Göttingen und Kopenhagen verletzte zwischen 1925 und 1927 gleich zwei bisher geheiligte Prinzipien der Naturbeschreibung. Erstens vertauschen die mathematischen Größen, die die Eigenschaften von Objekten in der Atomphysik beschreiben, keineswegs immer wie bisher die entsprechenden Größen in der gesamten klassischen Physik. Deshalb lassen sich die Werte für so genannte „komplementäre Größen“ nicht gleichzeitig beliebig genau bestimmen. Heisenberg schloss daraus zweitens, dass die durch Descartes im 17. Jahrhundert noch einmal verschärft formulierte Trennung von untersuchtem Objekt und untersuchendem Beobachter sich im atomaren oder subatomaren (auch „mikroskopisch“ genannten) Bereich nicht mehr durchführen ließ.

Nach dem Urteil seines genialen englischen Mitstreiters und Freundes Paul Dirac war es also Heisenberg, der den „Gordischen Knoten“ zur Vollendung der von Planck, Einstein und anderen entwickelten Quantentheorie durchschnitt und damit ein neues „goldenes Zeitalter“ in der Physik eröffnete, in dem „jeder zweitklassige Student erstklassige physikalische Arbeiten schaffen konnte“. Heisenberg vollendete in der Tat den gewaltigen „Umsturz in der Physik“, der sich im ersten Drittel des 20. Jahrhunderts vollzog. Die Ergebnisse seiner theoretischen Forschungen bestimmten in den folgenden Jahrzehnten ganz wesentlich den Gang der Naturwissenschaft mit und dies sogar weit über die engen Grenzen seines Fachgebietes hinaus.

Wer war dieser Vollender der Quantentheorie, der im Dezember 1901, kaum ein Jahr nach Plancks Einführung, in Würzburg geboren wurde? Ein enger Vertrauter und Schüler, Carl Friedrich von Weizsäcker, charakterisierte den Lehrer in seiner Gedenkrede vom April 1976 so:

„Er war in erster Linie ein spontaner Mensch, demnächst genialer Wissenschaftler, dann ein Künstler nahe der produktiven Gabe, und erst in vierter Linie, aus Pflichtgefühl, ‚homo politicus‘.“ (*Weizsäcker 1976*)

Heisenberg lebte und wirkte in Deutschland unter vier verschiedenen politischen Regimen: bis 1918 als Kind und Jugendlicher im *Deutschen Kaiserreich*, von 1918 bis 1933 als Student und akademischer Lehrer in der ersten, demokratisch regierten deutschen Republik, der so genannten *Weimarer Republik*. Die folgenden zwölf Jahre blieb er unter der nationalsozialistischen Diktatur weiter als Ordinarius in Leipzig tätig und übernahm während des Zweiten Weltkrieges 1942 in Berlin die Leitung des *Kaiser-Wilhelm-Instituts für Physik* in Berlin. Anfang Mai 1945 wurde er von den Alliierten gefangen gesetzt und zuletzt sechs Monate in England interniert. Anschließend baute er das *Max-Planck-Institut für Physik* in Göttingen auf, das er 1958 erweitert zum *Max-Planck-Institut für Physik und Astrophysik* nach München verlegte.

In den fast 75 Jahren seines Lebens wuchs der angehende Student Heisenberg zunächst in eine glänzende Periode seiner Wissenschaft hinein, als eine wachsende Zahl junger Genies von den besten Lehrern – von Arnold Sommerfeld und Max Born in Deutschland und Niels Bohr in Dänemark – ausgebildet wurde und sich zu großen Taten in der auf physikalisches Neuland vordringenden Atomphysik inspirieren ließ. Die rassistische Politik im *Dritten Reich* behinderte später seine Arbeiten und sein persönliches Fortkommen wesentlich, namentlich durch die Entlassung engster Mitarbeiter und ideologische Angriffe gegen seine nun als „jüdisch“ gebrandmarkten Theorien. Nach dem Zweiten Weltkrieg setzte sich Heisenberg energisch und unermüdlich an führender Stelle für die Neugestaltung des wissenschaftlichen Lebens in den drei westlichen Besatzungszonen ein, die sich ab 1949 zur westdeutschen Bundesrepublik vereinigten. Daneben bemühte er sich, mit seiner gesamten Autorität, unterstützt durch wieder angeknüpfte enge Beziehungen zu Fachkollegen und anderen Freunden aus dem Ausland, eine Europa und die Welt umspannende internationale Wissenschaft zu schaffen.

Der erste Verfasser einer umfangreicheren biografischen Studie, Armin Hermann, versah sie mit dem Titel „Die Jahrhundertwissenschaft: Werner Heisenberg und die Physik seiner Zeit“ (*Hermann 1977*). In der Tat vertrat Heisenberg gerade das Fachgebiet von der höchsten Aktualität in seiner Zeit, die Atomphysik. Er selbst wiederum gab seiner Autobiografie den schlichten Untertitel „Gespräche im Umkreis der Atomphysik“ (*Heisenberg 1969*). Gegen Ende seines Lebens hob er hier namentlich die zentrale Rolle hervor, die der wissenschaftliche und persönliche Dialog mit Menschen – Lehren, Schülern, Mitarbeitern und Kollegen aus aller Welt – bei ihm selbst und den Kollegen zu den damals in der Physik (und übrigens auch in den Nachbarwissenschaften) erreichten wissenschaftlichen Erfolgen beigetragen hatte. Vielleicht fasst deshalb ein Geständnis, das er im letzten Gespräch wenige Tage vor seinem Tod dem früheren Schüler Carl Friedrich von Weizsäcker mitteilte, seine ganze Lebenserfahrung am besten zusammen:

„Die Physik ist jetzt eigentlich nicht mehr so wichtig, das wundert mich. Die Menschen, die da waren. Die sind wichtig.“ (*Weizsäcker 1976*, S. 46)

Wie soll der Biograf sich einem so reichhaltigen Leben und Wirken dieses herausragenden Naturforschers nähern? Trotz der in der Wissenschaftsgeschichte der letzten Jahrzehnte häufig allzu sehr betonten Einflüsse von Politik, Institutionen und anderen in Mode geratenen Elemente erscheint doch diejenige Methode als am besten geeignet, die sich von jeher bewährt hat. Das heißt, dass zunächst erst einmal sauber und kritisch recherchierte Dokumente den eigentlichen Ausgangspunkt und die wesentlichen Stütze der Darstellung bilden müssen. Aus diesen lassen sich dann sowohl die Erlebnisse als auch die Taten einer historischen Persönlichkeit, natürlich durchaus unter Berücksichtigung der gegebenen Rahmenbedingungen, möglichst sorgfältig rekonstruieren.

Bei einem Wissenschaftler bilden natürlich in erster Linie seine fachlichen und die das gewählte Fachgebiet erweiternden Beiträge den eigentlichen Mittelpunkt. Hierbei müssen dann die für das Zustandekommen seiner wichtigen Erkenntnisse und Ergebnisse aufgrund speziell ausgewählter Dokumente – das sind namentlich neben den eigenen auch die wissenschaftlichen Publikationen der Kollegen sowie die ausgetauschten brieflichen und andere Mitteilungen! – konsultiert werden. Besonders sollte man die ursprünglichen Vorstellungen und Gedanken sowie die dazu gegebenen Anregungen aus der beruflichen oder persönlichen Umgebung im Einzelnen sorgsam analysieren. So müssen etwa die elterliche und schulische Erziehung beachtet werden, sodann die durch Jugend- und Studienfreunde ausgeübten Einflüsse sowie die in späteren Begegnungen mit Berufskollegen im privaten Umkreis oder auf wissenschaftlichen Kongressen und Forschungsreisen erlangten Erkenntnisse. Erst aus einer oft detektivischen Auswertung und Zusammensetzung all dieser Umstände und Einflüsse kann dann nicht nur ein ausgewogenes und abgerundetes Bild der Ausgangspunkte und Inspirationen des Protagonisten entstehen, sondern auch über seine besonderen Fähigkeiten und sein Vorgehen bei der Lösung der gestellten Probleme und die dabei erreichten Erfolge oder Misserfolge geurteilt werden.

Es gibt über Heisenberg eine verhältnismäßig kleine Anzahl von biographischen Büchern und Studien. Die bisher umfangreichste Darstellung, verdanken wir dem amerikanischen Wissenschaftshistoriker David Cassidy (*1996*). Der Autor behandelt allerdings die Wissenschaft und die Wissenschaftspolitik der späteren Jahre äußerst knapp. Andere Versuche hingegen verfehlten entweder das Thema völlig oder sie beschränkten sich auf einzelne Gebiete und Zeitabschnitte. Daher ist nun die Zeit gekommen für eine systematische, auf die vorhandenen, noch zugänglichen Materialien aufbauende, auch durch sachliche und persönlichen Kenntnisse und Erinnerungen unterstützte Biografie. Sie sollte einem wissenschaftlich gebildeten und ebenso einem breiteren, an der Wissenschaft interessierten Publikum dienen und ziemlich genau den Vorstellungen entsprechen, die bereits der große Architekt der frühen Renaissance Leon Battista Alberti an einen Freund schrieb:

„Ich war mir bewusst, dass Gelehrte viele Anforderungen an ein Geschichtswerk stellen. Sie wünschen vollständige Beschreibung der Ursachen von Vorgängen, der Geschehnisse selbst, der Orte, Zeiten und der ganzen Größe der Protagonisten.“ (*Grafton 2002*, S. 100)

Im Falle der Biografie des theoretischen Physikers Heisenberg darf daher keinesfalls auf die Darlegung der mathematischen Ansätze und der entsprechenden Ableitungen ganz verzichtet werden. Zu der hier geforderten vollständigen Beschreibung gehört es ferner, dass der Autor sowohl das gedruckte als auch das ungedruckte Material mit Sachkenntnis durcharbeitet und dem Inhalt nach kritisch abwägend darstellt. Und er muss dazu selbstverständlich auch die schriftlichen und mündlichen Mitteilungen an und von Lehrern, von Mitstreitern, Kollegen und anderen wichtigen Zeitzeugen – wie Eltern, Verwandten, Freunden und weiteren Privatpersonen – einbeziehen.

Die erste Grundlage der wissenschaftlichen Biografie Heisenbergs bilden also die publizierten und eventuell auch unpublizierten Abhandlungen, Bücher und Artikel. Sie liegen heute größtenteils, d. h. so vollständig wie damals möglich, neu abgedruckt in den neun Bänden der *Gesammelten Werke* vor, die Walter Blum, Hans Peter Dürr und der Verfasser zwischen 1984 und 1993 herausgegeben haben. Darüber hinaus konnte eine Reihe von später aufgefundenen Veröffentlichungen oder Manuskripten an anderer Stelle zugänglich gemacht werden. Letztere stammen in der Regel aus dem Nachlass, den der Verfasser seit 1977 verwaltet und seither aus vielen anderen Quellen vermehrt hat. So ließen sich durch den langjährigen Austausch mit Zeitgenossen Kopien oder gelegentlich auch Originale von unpublizierten Manuskripten und Briefen aus dem Besitz oder dem Nachlass von Heisenbergs Kollegen, Schülern, Freunden oder deren Erben erhalten. Die vorliegende Biografie wurde außerdem ganz wesentlich unterstützt durch die großzügige und vertrauensvolle Einsicht in die privaten Dokumente, welche die Nachkommen Werner Heisenbergs, besonders die Töchter Maria Hirsch und Barbara Blum und die Söhne Jochen und Martin Heisenberg gewährten. Ihnen sei daher an erster Stelle besonders gedankt.

Der Verfasser darf es als ein außerordentliches Glück ansehen, dass er bereits als Student mit Heisenberg selbst und seinem engeren Umkreis Kontakt bekam und dadurch wesentliche Teile seiner wissenschaftlichen Leistungen aus den Vorlesungen und persönlichen Instruktionen als Doktorand Heisenbergs erfahren durfte. Seine späteren historischen Arbeiten, zunächst die an der bisher umfangreichen Geschichte der Quantentheorie, wurden durch die Bekanntschaft und den Austausch mit einer Reihe von Weggenossen Heisenbergs bereichert, die alle heute nicht mehr leben. Dazu gehörten in besonderem Maße dessen langjähriger Freund und Mitstreiter in der Atomphysik, Friedrich Hund, und der an der modernen theoretischen Physik interessierte Mathematikerkollege Bartel Leendert van der Waerden aus der Leipziger Zeit. Heisenbergs Göttinger Lehrer Max Born und zahlreiche seiner eigenen Schüler, von Felix Bloch bis zu Eduard Teller und Carl Friedrich von Weizsäcker, aber auch eine Reihe früherer Kollegen aus aller Welt – von Paul Dirac bis zu Viktor Weisskopf und Eugen Wigner – trugen mündliche oder schriftliche Erinnerungen und wichtige Dokumente zum Leben und Werk

Werner Heisenbergs bei. Alle diese Erfahrungen und Mitteilungen haben die Verwirklichung der vorliegenden Biografie erst ermöglicht.

Ein wichtiger Anstoß ging von einer Zusammenarbeit mit Jagdish Mehra aus, die vom Autor 1970 an der Universität von Texas in Austin begonnen wurde und seit 1975 in die Niederschrift und schließlich die Publikation der oben erwähnten Geschichte der Quantentheorie mündete. Zu diesem Projekt wurde der Autor übrigens auf Wunsch seines Doktorvaters „abgeordnet“, der aber leider selbst nicht mehr die Publikation der ersten vier Bände 1984 und schon gar nicht den Abschluss der letzten Bände erleben konnte. Der zweite Teil des sechsten Bandes erschien schließlich erst im Jahr 2001, wenige Monate vor Heisenbergs 100. Geburtstag. Die vorbereitende Erweiterung von Mehras umfangreicher Sammlung von Quellen und Dokumenten, welche vom Autor an der Universität von Texas in Austin und bei späteren, gemeinsamen Aufenthalten an den Universitäten in Genf und Brüssel sowie am *Max-Planck-Institut für Physik* in München vorgenommen wurde, sowie der persönliche Austausch mit vielen Kollegen und Zeitzeugen Heisenbergs in Deutschland, Europa, den USA und Japan haben die Kenntnisse des Verfassers über die Entwicklung der Quanten- und Atomtheorie und das Leben und Wirken ihrer Pioniere, die fast alle mit Heisenberg wissenschaftlichen und persönlichen Austausch pflegten, ganz wesentlich vertieft. Daher richtet sich an dieser Stelle noch einmal ausdrücklich ein tiefer Dank an Professor Mehra, der im September des vergangenen Jahres in Houston gestorben ist.

Eine weitere Anregung zu dieser Biografie vermittelten Untersuchungen und Ergebnisse von David Cassidy, der bereits in den 1970er Jahren seine bereits erwähnte Heisenberg-Biografie plante und dafür zunächst im Nachlass von Werner Heisenberg ausführliche Recherchen anstellte. Die bis zum Erscheinen seines Buches 1990 in Amerika sowie seither mit ihm fortgesetzten mündlichen und schriftlichen Diskussionen über das vorgefundene Material und dessen Erweiterung haben eine Reihe von Details in Heisenbergs Leben und Wirken geklärt, andererseits aber auch neue Fragen aufgeworfen. Der andauernde, lebendige Austausch von Quellenmaterial über Heisenbergs Leben und Wirken und ihrer Einschätzung ebnete den Weg auch zu dieser Biografie. Neben Professor Cassidy ist der Verfasser auch Herrn Professor Laurie M. Brown von der Northwestern University in Evanston, Illinois, wesentlich verpflichtet. Mit ihm konnte er 1983 eine ernsthafte und detaillierte Zusammenarbeit über die Geschichte der von Heisenberg zuerst vorgeschlagenen Kernkräfte und ihren Zusammenhang mit der frühen Entwicklung in der Elementarteilchenphysik beginnen, die 1990 mit einem Forschungsaufenthalt in Evanston und einigen Orten in Japan fortgesetzt wurde. Sie führte einerseits zu der gemeinsamen Buchpublikation über das genannte Thema (*Brown und Rechenberg 1996*). Andererseits ermöglichte gerade diese Zusammenarbeit dem Koautor Rechenberg eine Reihe von Begegnungen mit früheren Kollegen und Schülern Heisenbergs in den USA und Japan. Viele Erinnerungen an sein Leben und Wirken in diesen beiden Ländern wurden durch Gespräche lebendig oder konnten durch dort eingesehene Dokumente belegt werden.

Eine für die Ausbildung seines Charakters ganz wichtige Zeit erlebte Heisenberg seit dem Sommer 1919 in der deutschen Jugendbewegung nach dem Ersten

Weltkrieg. Ihre Wirkung zeigte sich nicht nur darin, dass er die damaligen positiven Erfahrungen, wie gegenseitiges Vertrauen in schwierigen Zeiten und Lagen und besonders die freimütige Aussprache bei der Klärung von persönlichen und anderen Problemen, auch als erwachsener Professor und akademischer Lehrer ebenso wie als Wissenschaftsorganisator weiterpfl egte. Heisenberg hielt außerdem die persönliche Verbindung mit den damals bewährten Kameraden bis an sein Lebensende durch Korrespondenz und gemeinsame Treffen aufrecht, und sie spiegelte sich auch wider in seinen Erinnerungen oder ging ganz wesentlich in die prägenden Gespräche und Ereignisse ein, die er in der Autobiografie mitteilte.

Die zusätzliche Einsicht in originale Zeitdokumente aus der Jugendbewegung und später ausgetauschte Korrespondenz gewährten dem gegenwärtigen Autor wesentliche Auskünfte über die damaligen Unternehmungen, an denen sich auch noch später der bereits weltweit bekannte Ordinarius Heisenberg bis über sein dreißigstes Lebensjahr hinaus beteiligte. Zwei Personen ermöglichten dies besonders: zum einen Heinrich Becker, der Sohn und Neffe von Fritz und Karl-Heinz Becker, welche beide Mitglieder der Gruppe Heisenberg waren, zum anderen Rolf Wägele, der die Nachfolgegruppe von Heisenberg im Bund der Neupfadfinder leitete. Die von ihnen so freundlich und reichlich zur Verfügung gestellten Briefe sowie Kopien der detaillierten Tagebücher von Eberhard Rüdell, eines weiteren Mitgliedes der „Gruppe Heisenberg“, vermitteln in der Tat sehr lebendige Eindrücke vom Verlauf der verschiedenen Wandertouren und -fahrten in der Heimat und im benachbarten Ausland. Und sie lassen den Leser teilhaben an den Spielen und Diskussionen der Jugendfreunde über alltägliche Sorgen ebenso wie über Literatur, Kunst bis hin zur Politik.

Seit dem Beginn seines Münchner Studiums führte Heisenberg einen lebenslangen, besonders intensiven Austausch mit einem kongenialen Partner: Wolfgang Pauli. Dieser im April 1900 in Wien geborene Freund und Kollege war wie Heisenbergs ein frühreifes Genie der theoretischen Physik. Beide diskutierten fast alle wissenschaftlichen und auch persönlichen Probleme. Mit Karl von Meyenn, dem sorgfältigen und sachkundigen Herausgeber von Paulis für die Geschichte der Quantenmechanik im Umfang wie im Inhalt zentralen Briefwechsels, verbindet den Autor eine über 40-jährige ergiebige Kooperation. Herr von Meyenn hat Leben und Werk Paulis, das so eng und fruchtbar mit dem von Heisenbergs verbunden ist, mit seltener Gründlichkeit erforscht, so dass der Austausch mit ihm für jeden Heisenberg-Biografen ein absolutes Muss darstellt. Dabei kamen immer wieder überraschend neue Aspekte der beiden in vieler Hinsicht so gegensätzlich begabten Freunde zur Sprache, die Licht auf ihre sich so ergänzenden Charaktere werfen, besonders natürlich auf ihre gemeinsame Begeisterung und Hingabe an die Fortentwicklung der Wissenschaft. Herrn von Meyenn sei für unzählige Hinweise, Aussprachen und Informationen ausdrücklich gedankt.

Endlich sollte auch eine letzte, äußerst fruchtbare Zusammenarbeit hervorgehoben werden, die wesentlich half, insbesondere die ziemlich großen Lücken in der von 1927 bis 1942 währenden Leipziger Periode der Heisenberg-Biografie zu schließen. Der scheidende Professor Heisenberg ließ nämlich, als er 1942 nach Berlin ging, fast alle seine Unterlagen und Akten im Leipziger Institut bei seinem

Freund und Nachfolger Friedrich Hund zurück und nahm nur einen kleinen Teil ausgewählter Briefe und Dokumente mit sich. Das Institut wurde aber dann 1943 und 1944 durch Bomben zerstört, und deshalb gingen auch die dort lagernden Akten Heisenbergs verloren. Mit der unentbehrlichen Hilfe, besonders den sorgfältigen Recherchen von Professor Gerald Wiemers, den der Verfasser 1984 als Archivar der Sächsischen Akademie der Wissenschaften zu Leipzig kennen lernte – 1993 übernahm er als Direktor das Archiv der Universität Leipzig –, konnten in den Beständen der von ihm verwalteten Archive Dokumente gefunden werden, die wesentliche Bereiche des Heisenberg'schen Lebens und Wirkens in der sächsischen Universitätsstadt belegen. Dabei widmete Herr Wiemers auch besondere Aufmerksamkeit den Verbindungen von Heisenberg zu dessen Leipziger Kollegen aus allen Fakultäten, etwa den Mitgliedern des Professorenkränzchens „Coronella“. Weiterhin entdeckte und konsultierte er eine Reihe von Zeitzeugen, sammelte Briefe und Erinnerungen von Studenten, Freunden und Kollegen Heisenbergs. Aus diesem Schatz entstanden eine Reihe von gemeinsamen Publikationen über Heisenbergs Wirken in der Leipziger Zeit, etwa 2001 die Veröffentlichung von *Werner Heisenberg: Gutachten und Prüfungsprotokolle für Promotionen und Habilitationen (1929–1942)*. Vor allen Dingen wurde die große Ausstellung zum 100. Geburtstag Heisenbergs mit ihm zusammen konzipiert und ausgeführt sowie der dazugehörige Katalog mit Originalbeiträgen zu Heisenbergs Leben und Wirken erstellt (*Rechenberg und Wiemers 2001*). Schließlich enthält die umfangreiche Festschrift der Sächsischen Akademie der Wissenschaften zu diesem Jubiläum neben Originalbeiträgen von Zeitzeugen und Historikern, auch bedeutende, bisher unpublizierte Dokumente und Erinnerungen. An der Herausgabe dieser Festschrift (*Kleint, Rechenberg und Wiemers 2005*) beteiligte sich schließlich der im letzten August verstorbene Professor Christian Kleint, ein Experte in der Geschichte der Leipziger Physik Institute. Er unterstützte uns ganz wesentlich mit eigenen Forschungen über Heisenbergs Kollegen, wie Peter Debye und Robert Döpel, sowie einem Briefwechsel, den er in den 1980er Jahren mit Heisenbergs Schülern und wissenschaftlichen Gästen führte (*Kleint und Wiemers 2005*). Ihm und Herrn Wiemers möchte der Verfasser für die vielen Arbeitstreffen und Diskussionen, die seit 1987 in Leipzig und München geführt wurden, sowie die Vorstellung von Heisenbergs zahlreichen Leipziger Kollegen, Schülern und Bekannten und darüber hinaus für ihre lebenswürdige Gastfreundschaft mit sachkundigen Einführungen in die Kultur und Umgebung der ehrwürdigen sächsischen Landesuniversität ein großes „Dankeschön“ sagen.

Welches Bild entrollt sich insgesamt vom Physiker und Menschen Werner Heisenberg? Man kann sein Leben und Wirken wohl in zwei große Perioden unterteilen. Im wissenschaftlichen Zentrum der ersten, die der vorliegende Band umfasst, steht die Vollendung der modernen Atomtheorie, die Anfang des 20. Jahrhunderts durch die Theorien von Max Planck und Albert Einstein begründet wurde. Fast zwei Dezennien später kümmerte sich Arnold Sommerfeld um einen Studienanfänger an der Universität München, der mit großen Ambitionen zu ihm kam. Zur ersten Anleitung gab der Professor dem Neuling einen Spruch von Friedrich Schiller mit auf den Weg: „Wie doch ein einziger Reicher so viele Bettler in Nahrung

setzt. Wenn die Könige bauen, haben die Kärner zu tun!“ Schon im ersten Semester gab er Heisenberg ein Problem aus der neuesten Atomphysik als eine Übungsaufgabe. Der Sohn eines Kollegen aus der Altphilologie machte in den folgenden Jahren so große Fortschritte auf diesem Gebiet, dass Sommerfeld seinen Lieblingsschüler bald an die besten auswärtigen Lehrer, Max Born in Göttingen und Niels Bohr in Kopenhagen, weiterreichen konnte. Sie weihten ihn weiter in die Geheimnisse der Atomtheorie ein und machten ihn zugleich mit der wachsenden internationalen Gemeinschaft bekannt, die sich mit deren damals großen Problemen beschäftigte.

Der ebenso wissensdurstige und ungeheuer fleißige wie persönlich aufgeschlossene und fröhlich aufstrebende Student Heisenberg nützte die gebotenen Chancen voll, promovierte bereits im Sommer 1923, an der Universität München und habilitierte sich bereits ein Jahr darauf in Göttingen. Im Juni des folgenden Jahres, gelang ihm dann der Durchbruch zur Quantenmechanik, der seither endgültigen Gestalt der Atomtheorie. Albert Einstein sprach damals von einem „großen Quantenei“, obwohl er die physikalische Deutung der neuen Theorie, die zwei Jahre später Heisenberg und Bohr als „Kopenhagener Deutung“ vorschlugen, nie akzeptierte. Der junge Pionier wurde dann kurz vor seinem 25. Geburtstag, zum Ordinarius für theoretische Physik an die Universität Leipzig berufen: Dort schuf er mit dem Sommerfeldschüler Peter Debye und dem Bornschüler Friedrich Hund ein weiteres internationales Zentrum der Atomphysik, in dem er selbst und einige seiner kaum jüngeren Schüler die Quantenmechanik auf neue physikalische Bereiche anwandten.

Diese glanzvolle Periode wissenschaftlichen Wirkens, deren Erfolge Heisenberg selbst als Erster rund um den Globus verbreiten durfte, erhielt kurz darauf die höchste Anerkennung, die die Wissenschaft zu vergeben hatte, denn im Dezember 1933 wurde ihm der Physik-Nobelpreis für das Jahr 1932 verliehen. Diese Auszeichnung markierte wohl auch den äußeren Höhepunkt in seinem Leben und brachte den verdienten Lohn für die ununterbrochenen Anstrengungen, mit der Quantenmechanik das physikalische Verhalten der Atome zu ergründen. Damit trug Heisenberg entscheidend dazu bei, das Fachgebiet Physik zur der zentralen Naturwissenschaft des 20. Jahrhunderts zu erheben, aus der nicht nur eine rational begründete „Quantenchemie“ hervorging, sondern auch die Biologie wesentliche Anregungen schöpfen würde. Mit der neuen Beschreibung des Mikrokosmos zog Heisenberg schließlich revolutionäre Folgerungen für die menschliche Erkenntnis der Natur, die es nun galt den Kollegen, Schülern und einem breiteren Publikum nahe zu bringen.

Was das Persönliche betrifft, so zog der neunjährige Werner Heisenberg mit seiner Familie nach einer weitgehend unbeschwerten Jugend vom Ort seiner Geburt – d. h., im geschichtsträchtigen unterfränkischen Würzburg am lieblichen Main – in die bayerische Residenzstadt München, wo er am elitären Maximilians-Gymnasium die höhere Schulbildung mit Auszeichnung abschloss. Der Erste Weltkrieg brachte ihm einige Entbehrungen. Noch als Schüler schloss er sich mit Freunden der neuen Jugendbewegung an, deren Erfahrungen sein ganzes Leben prägten. Er durchlebte damals andauernde politische Wirren, Inflation und eine

schwere wirtschaftliche Krise. Trotz dieser keineswegs idealen Umstände in der Heimat hat Heisenberg die Zeit bis 1933 stets als die glücklichen Jahre empfunden.

Im Rückblick auf das so erfolgreiche Schaffen als Student und anschließende junger Hochschullehrer darf man sogar von einer „Fröhlichen Wissenschaft“ sprechen, welche seinen Talenten ungehindert freie Entfaltung gewährte. Ein Biograf hat daher sein „Leben vor dem Gipfel“ als das eines „un glaublichen kreativen Genies“ bezeichnet und behauptet:

„Das runde Dutzend der unschuldigen Jahre, die Heisenberg zwischen 1920 und 1932 gelebt und erlebt hat, brauchen einen Dichter, um sie angemessen darzustellen. Mit dem Aufkommen der Nazis verschwindet Heisenbergs Kreativität. Nach 1933 haben wir einen anderen – manchmal gewöhnlich erscheinenden – Mann vor uns, der innerlich erloschen wirkt. Wie würde die Nachwelt ihn verehren, wenn 1933 sein Leben auch äußerlich zum Abschluss gekommen wäre.“ (*Fischer 2001*, S. 99)

Freilich können die Schüler und Fachkollegen Heisenbergs die hier ausgesprochene Einschätzung von dessen Wirken und Leistungen nach diesem „Gipfel“ kaum teilen. Sie verdanken vielmehr ihrem Lehrer und Meister weitere kühne Vorstöße in die damals noch unerforschte, tiefer liegende innerste Struktur der Materie. Und diese sollte der Wissenschaftshistoriker ebenso sorgsam analysieren, wie die früheren Leistungen des jugendlichen Genies. Selbst später setzte Heisenberg durchaus noch Marksteine auf den Gebieten von Kern- und Elementarteilchenphysik, die umso höher zu bewerten sind, als der deutsche Theoretiker nach 1933 durch die Rassenpolitik der Nationalsozialisten im so genannten „Dritten Reich“ seiner wichtigsten Mitarbeiter beraubt wurde und man überdies, wie bereits erwähnt, seine Theorien bald als unerwünscht „jüdisch“ – das sollte „undeutsch“ bedeuten – brandmarkte. Der Leipziger Professor und spätere Direktor des Kaiser-Wilhelm-Institutes für Physik in Berlin rettete damals nicht nur das Ansehen der modernen Physik, sondern hielt als verantwortlicher Chef und Wortführer einer großen wissenschaftlichen Tradition die schützende Hand über anvertraute Studenten und Kollegen in der Heimat, die er nicht verlassen wollte. Während des folgenden, weltumspannenden Krieges konnte er sogar einzelne gefährdete Personen und Institutionen in den von deutschen Truppen besetzten Ländern retten. Nach Kriegsende begann er bereits in der anschließenden englischen Internierung und vor allem nach seiner Entlassung in die britische Besatzungszone, die Wissenschaft im gesamten westlichen Teil seiner Heimat neu aufzubauen. Dabei gelang es ihm vor allem, die Beziehungen zu alten und neuen Kollegen und Freunden im Ausland wieder anzuknüpfen. Später half er wesentlich, den zügigen Ausbau der europäischen Kern- und Hochenergiephysik energisch voran zu treiben. Das waren wichtige und vielleicht schwierigere Aktivitäten, als er sie in den unbeschwerten „goldenen Jahren der Atomphysik“ nach dem Ersten Weltkrieg zu bewältigen hatte.

Die Darstellung des Lebenswerkes eines theoretischen Physikers kommt ohne Eingehen auf die besonderen Methoden seines Faches nicht aus. Seit dem griechischen Altertum rückte nun die Beschreibung der Naturphänomene mit den Symbolen der Mathematik in den Mittelpunkt, die dann seit der europäischen Renais-

sance große Gelehrte, von Galilei über Kepler, Descartes, Newton bis Leibniz und ihre Nachfolger im 19. und beginnenden 20. Jahrhundert mit neuem Leben und Entwicklungen erfüllt haben. Natürlich verlangt gerade auch das wissenschaftliche Werk Werner Heisenbergs, des dritten großen Revolutionärs der modernen Atomphysik, zu seiner Erläuterung eine angemessene Benützung von mathematischen Ausdrücken und Beziehungen, deren Gestalt und Inhalt eher den Fachkundigen geläufig sind. Jede eingehende Biografie kann daher nicht ganz auf ihre Darstellung verzichten, umso mehr, als gerade für die Hauptleistung, die heute anerkannte Beschreibung der mikroskopischen Welt, dem Laien ungewohnte Regeln vorgestellt werden müssen, die aber erst die Bedeutung der einzelnen Schritte sichtbar und verständlich machen. Heisenberg gehörte freilich keineswegs zu den Forschern, die sich von vornherein auf die perfekte Durchführung einer einmal gewählten mathematischen Methode konzentrierten. Er ging stets von physikalischen Fragestellungen aus und suchte sich dann aus den vorhandenen mathematischen Disziplinen ihre einfachste, nicht notwendig eleganteste Formulierung aus, um schließlich die wichtigsten Folgerungen selbst abzuleiten. Dieses mehr intuitive als systematische Vorgehen hilft zwar durchaus einem breiteren Leserkreis, seine Forschungsfortschritte zu verstehen, zwingt aber andererseits zu großer Aufmerksamkeit. Ein bewährter Ratschlag des Autors ist, die Formeln bei der ersten Durchsicht als Illustrationen zum erklärenden Text zu betrachten. Ihr Bild wird sich dann etwa bei einer Wiederholung im Gedächtnis festsetzen und mehr oder weniger einprägen. Die Mühe wird sich sicher lohnen, denn ganz das Hauptwerkzeug des theoretischen Physikers, die mathematische Beschreibung, auszulassen führt zu einer oberflächlichen Beschreibung der wirklichen Leistungen und nicht zu ihrem wirklichen Verständnis. Letzteres ist jedoch gerade die Aufgabe einer wissenschaftlichen Biografie. Der geduldige Leser erhält dafür die Anleitung, die vielfältigen Quellen und Mittel, die den Physiker Heisenberg motiviert haben, selbst einzusehen und in den Ursprung und die Entwicklung seiner Gedanken hinein zu blicken.

Schlussendlich sei noch auf eine weitere Illustration von Heisenbergs Leben und Wirken hingewiesen, nämlich jene den einzelnen Kapiteln beigegebenen Bildtafeln. Es wurde dabei versucht, dem Leser charakteristische Situationen aus dem Leben und Schaffen Heisenbergs durch ausgewählte Photos und Urkunden anschaulich näher zu bringen. Bei der Beschaffung unterstützten den Autor besonders Frau Felicity Pors vom Niels-Bohr-Archiv in Kopenhagen, Frau Sandy Muhl vom Universitätsarchiv Leipzig, Herr Heinrich Becker aus Rheinfelden und das Ehepaar Dr. Barbara und Dr. Walter Blum aus Veraz sur Gex. Ihnen dankt der Autor ebenso herzlich wie Herrn Antonios Dettlaff, dem die nicht einfache Aufgabe gelang, aus teilweise schwachen und unvollkommenen Vorlagen durch eine verständnisvolle und sorgfältige Behandlung anschauliche Bildtafeln zu gestalten.

Der letzte Dank gilt dem *Max-Planck-Institut für Physik* für die hilfreich unterstützte Gastfreundschaft und Herrn Professor Wolf Beiglböck, der die Arbeit an dieser Biografie mit Rat und Tat begleitete.

Inhaltsverzeichnis

Band 1

Prolog: Der Aufbruch zur modernen Physik (1895–1921)	1
Teil I Jugend- und Lehrjahre	
Einleitung.....	15
1 Werner Heisenbergs Jugend	17
1.1 Vorfahren von Werner Heisenberg und seine Kinderjahre (1901–1907)	17
1.2 Ein guter Start, unruhige Schuljahre und das glänzende Abitur (Herbst 1907 bis Sommer 1920).....	24
1.3 Eine prägende Erfahrung: Beginn der frohen „jugendbewegten“ Zeit (1919–1921)	40
1.4 Die „Gruppe Heisenberg“ bei den „Neupfadfindern“ (Herbst 1921 bis Herbst 1922).....	52
2 Sommerfelds Optimismus und Heisenbergs Münchner Studium	67
2.1 Arnold Sommerfeld und seine Münchner Schule (1906–1921)	71
2.2 Heisenbergs Studium, seine „halben Quanten“ und die Zusammenarbeit mit Sommerfeld über den anomalen Zeeman-Effekt und andere spektroskopische Probleme (Herbst 1920 bis Sommer 1922).....	91
2.3 Erste Erfolge in einer hydrodynamischen Frage und das Turbulenzproblem (Juni 1921 bis Oktober 1922)	116
2.4 Abschluss der Doktorarbeit und die Beinahe-Katastrophe im Examen rigorosum (März bis Juli 1923)	125

3	Die Göttinger Lehre. Hilberts Mathematik und Borns Physik	143
3.1	Die Mathematische Tradition Göttingens, David Hilbert und sein physikalischer Meisterschüler Max Born.....	151
3.2	Borns neuer Assistent Heisenberg und die Bemühungen um das Heliumproblem (Winter 1922/23).....	171
3.3	Heisenbergs Finnlandreise, Inflation und Politik in der Heimat (Sommer bis Herbst 1923).....	185
3.4	Borns Schule und die Vorahnung einer „Quantenmechanik“ (Herbst 1923 bis Sommer 1924).....	198
4	In der Spur von Niels Bohrs Physik und Philosophie	223
4.1	Einleitung: Niels Bohrs Persönlichkeit und Entwicklung bis 1920.....	223
4.2	Bohr und der Weg vom Triumph in die Krise der Atomtheorie (1921–1923).....	227
4.3	Heisenbergs Osterbesuch und die Erfolge der neuen Kopenhagener Strahlungstheorie (Herbst 1923 bis Sommer 1924).....	240
4.4	„Zum höheren Ruhm des Korrespondenzprinzips“: Harmonie mit Bohr und Konkurrenz mit Kramers (September bis Dezember 1924).....	259
4.5	Der besondere „Schwindel“ oder Heisenbergs erfolgreiche Modelle komplexer Atome (Dezember 1924 bis März 1925).....	282
Teil II	Die Geburt der Quantenmechanik und ihrer physikalischen Deutung	
	Dramatisches Vorspiel.....	301
5	Der „Sonnenaufgang in Helgoland“ und das „große Quantenei“	309
5.1	Einleitung.....	309
5.2	Vom Wasserstoffatom zum anharmonischen Oszillator (Mai bis Anfang Juni 1925).....	314
5.3	Der Durchbruch zur Quantenmechanik in Helgoland (8. bis 18. Juni 1925).....	323
5.4	Beobachtbare Größen in der Quantenmechanik und „Quantentheoretische Umdeutung kinematischer und mechanischer Beziehungen“ (Ende Juni bis 9. Juli 1925).....	334
5.5	Heisenbergs Englandfahrt und sein Abschied von „Termzoologie und Zeemanbotanik“ (Juli bis August 1925).....	351

6	Die ersten mathematischen Formulierungen der Quantenmechanik: Matrizenmechanik, Quantenalgebra und Operatorenmechanik	361
6.1	Vorbemerkung	361
6.2	Born und Jordan begründen die Matrizenmechanik (Juli bis September 1925)	363
6.3	Das magnum opus der Matrizenmechanik: Die Drei-Männer-Arbeit (September bis November 1925)	379
6.4	Paulis Matrizenlösung des Wasserstoffproblems, Diracs Quantenalgebra, Lanczos' feldmäßige Darstellung und die Operatorenmechanik von Born und Wiener (Oktober 1925 bis Januar 1926)	405
6.5	Zweideutiger Zwang oder der Elektronenspin von Uhlenbeck und Goudsmit in der Quantenmechanik (Oktober 1925 bis März 1926)	429
7	Quantenmechanik, Wellenmechanik und Anschauung	449
7.1	Der Ruf nach Kopenhagen und Heisenbergs Beziehungen zu Einstein (Sommer 1925 bis April 1926)	449
7.2	Intermezzo: De Broglies Materiewellen und Schrödingers Wellenmechanik (November 1922 bis März 1926)	464
7.3	Heisenbergs quantenmechanische Resonanz und die Lösung des Heliumproblems (April bis August 1926)	485
7.4	Das „anschauliche“ oder das „statistische Atom“: Die Auseinandersetzungen der Quantenmechaniker mit Schrödinger (Frühjahr bis Oktober 1926)	503
8	„Unbestimmtheit“ oder „Komplementarität“: Der beschwerliche Weg zur physikalischen Interpretation der Quantenmechanik	527
8.1	Einleitung	527
8.2	Moleküle, Fluktuation und quantentheoretische Transformationstheorie (Oktober 1926 bis Februar 1927)	530
8.3	Heisenbergs Diskussionen mit Bohr und Pauli und seine Entdeckung der Unbestimmtheitsbeziehungen (Oktober 1926 bis März 1927)	554
8.4	Heisenbergs Streit mit Bohr und der Ruf nach Deutschland (April bis August 1927)	576
8.5	Die Volta-Konferenz in Como und Bohrs Komplementaritätsprinzip (September bis Oktober 1927)	591

Band 2

Teil III Der Triumph der Quantenmechanik

	Vorspiel: Die Entstehung des „Kopenhagener Geistes der Quantentheorie“ (1927–1929).....	607
9	Leipzig, das neue Zentrum der Atomphysik	633
9.1	Einleitung: Heisenbergs Weg nach Leipzig (Mai bis November 1927).....	633
9.2	Die Physiktradition an der ehrwürdigen Universitas Lipsiensis	636
9.3	Professor Heisenberg lebt sich in Leipzig ein (Oktober 1927 bis Februar 1929)	650
9.4	Der neue Institutschef Peter Debye und die „Leipziger Universitätswoche“	664
9.5	Der dritte Professor im Leipziger Physikalischen Institut: Wentzel und sein Nachfolger Friedrich Hund	676
10	Die Begründung neuer quantenmechanischer Theorien in Leipzig ...	687
10.1	Einleitung	687
10.2	Anfänge der Heisenberg-Pauli’schen Quantelektrodynamik, Jordans zweite Quantelung und Diracs relativistische Elektronentheorie (Februar 1926 bis Mai 1928).....	689
10.3	Heisenbergs Lösung des Rätsels Ferromagnetismus (Mai bis Juli 1928).....	706
10.4	Die ersten Schüler Heisenbergs: Bloch, Peierls und die Metallelektronen (Frühjahr 1928 bis Februar 1929).....	720
10.5	Der Kunstgriff in der Heisenberg-Pauli’schen Quantenelektrodynamik (Herbst 1928 bis März 1929)	738
11	Weltreise und Weltruhm	755
11.1	Reisevorbereitungen mit Dirac und Heisenbergs Fahrt in den „Wilden Westen“ (März bis Juli 1929).....	755
11.2	Chicagoer Vorlesungen über „Die Physikalischen Prinzipien der Quantentheorie“	769
11.3	Ausbau der Heisenberg-Pauli’schen Quantenelektrodynamik (Mai bis Juli 1929).....	784
11.4	Reisen mit Dirac in den USA und Japan und Heisenbergs Rückkehr von Japan über Indien nach Leipzig (Frühjahr bis Oktober 1929)	797

12 Aus dem Stillstand zu neuen Erweiterungen der Quantenmechanik 817

12.1 Einleitung 817

12.2 Das Leipziger Physikalische Institut von Debye, Heisenberg und Hund (1929–1931)..... 820

12.3 Neue Probleme der Quantenmechanik, Quantenelektrodynamik, Betazerfall sowie philosophische Diskussionen mit Bohr und Moritz Schlick (1929–32)..... 842

12.4 Quantenelektrodynamische Probleme und theoretische Überlegungen zur Höhenstrahlung (Ende 1931 bis April 1932) 869

12.5 Heisenbergs Begründung der Theorie der Atomkerne und der Kernkräfte (1932) 892

Epilog 1933: Die Brüsseler Konferenz und der Nobelpreis..... 925

E.1 Die 7. Solvay-Konferenz: Kernphysik und neue Elementarteilchen der Materie..... 926

E.2 Die Krönung der Quantenmechanik: Nobelpreise für Heisenberg, Schrödinger und Dirac im Dezember 1933..... 939

Bibliographie und Quellen 953

A.1 Ungedruckte Dokumente 953

A.2 Foto-Nachweis..... 954

B. Gedruckte Dokumente: Briefeditionen und Gesammelte Werke..... 955

C. Biografien, Festschriften, Handbuchartikel und Forschungsberichte, physikalische und physikhistorische Monographien 957

D. Wissenschaftliche und wissenschaftshistorische Artikel..... 963

Verzeichnis der Bildtafeln..... 983

Namensverzeichnis 985

Prolog: Der Aufbruch zur modernen Physik (1895–1921)

Als Max Planck sich im Herbst 1874 an der Münchener Universität zum Physikstudium einschreiben wollte, riet ihm der zuständige Professor Philipp von Jolly eindringlich ab: die Physik sei nun schon längst eine abgeschlossene Disziplin geworden, nur noch unwesentliche Lücken müssten geschlossen werden. In der Tat hatte sich die Lehre von den Bewegungen der Materie unter dem Einsatz systematischer mathematischer und experimenteller Methoden schrittweise zu einer vorbildlich strengen Naturwissenschaft entwickelt. Seit dem 18. Jahrhundert hatte sich ihr auch die Chemie beigesellt, welche speziell die Veränderung von ihren Grundsubstanzen mit eigenen Methoden untersuchte. Im 19. Jahrhundert begannen dann diese beiden benachbarten Disziplinen einander näher zu rücken, während zugleich jede von ihnen selbst durch grundlegende Erkenntnisfortschritte jeweils in mehrere Unterfächer aufspaltete. So traten in der Physik neben die Mechanik himmlischer und irdischer Körper, welche Galilei, Kepler und Newton als erstes Fachgebiet in eine allgemeine, abstrakte Sprache gefasst hatten, die umfangreichen neuen Gebiete Thermodynamik und Elektrodynamik. Die letztere war aus der Vereinigung der früheren Lehren von Elektrizität und Magnetismus entstanden und sog sogar ein anderes, früheres physikalisches Grundgebiet auf, die Optik. Die erstere fügte die physikalischen und technischen Lehren von Wärme, Energie und der Änderung physikalischer – und teilweise auch chemischer – Zustände zu einer einheitlichen theoretischen Beschreibung zusammen.

Die neu konstituierten, großen Gebiete der Physik, also die Elektrodynamik in ihrer von James Clerk Maxwell und Heinrich Hertz gegebenen Form und die Thermodynamik von Rudolf Clausius, Hermann von Helmholtz, William Thomson (Lord Kelvin) und Josiah Willard Gibbs teilten mit der Mechanik – diese war bereits im 18. Jahrhundert voll ausgebildet worden und wurde im 19. Jahrhundert durch William Rowan Hamilton und Carl Gustav Jacob Jacobi ergänzt – die unbedingte quantitative Zuverlässigkeit in allen wissenschaftlichen und technischen Anwendungen. So leistete etwa die Mechanik ebenso entscheidende Dienste in der Astronomie wie bei der Konstruktion von Brücken, die Elektrodynamik in der Mikroskopie, bei der Radiowellenübertragung und bei der Konstruktion von Strom erzeugenden und

verbrauchenden Maschinen, die Thermodynamik in der Beobachtung von physikalischen und chemischen Phasenumwandlungen und dem Bau nutzbarer Dampfmaschinen für die wirtschaftlichen Produktionsprozesse und den Transport von Menschen und Gütern. Die genannten großen Theoriesysteme ließen sich mathematisch jeweils durch wenige grundlegende Differentialgleichungen ausdrücken, deren Lösungen absolut und ewig gültige Wahrheiten über die Natur verkünden sollten. Das gleichzeitig geforderte, strenge Prinzip der Kausalität von Ursache und Wirkung, welches die Beschreibung durch Differentialgleichungen sicherte, schien zudem mit einer Haupteigenschaft von allem, nicht vom Menschen beeinflussbaren natürlichen Geschehen verbunden, welche lautete: „Die Natur macht keine Sprünge.“¹

Diesem großartigen, nahezu ehern erscheinenden Gebäude der Physik – man würde es bald die „Klassische Physik“ nennen – schien auch keine Gefahr zu drohen von der Vorstellung einer gekörnten, atomistischen Struktur der Materie, die bereits aus dem griechischen Altertum stammte. Eine seit der Mitte des 19. Jahrhunderts vor allem durch Maxwell und Ludwig Boltzmann neu geschaffene Disziplin, die so genannte „Statistische Mechanik“, konnte nämlich die meisten Ergebnisse der Thermodynamik, welche mit einer kontinuierlichen Vorstellung der Materie arbeitete, auch auf atomarer Basis bestätigen. Freilich deuteten sich hier gelegentlich einige Erklärungsschwierigkeiten an, die man aber durch mathematische Verfeinerungen der theoretischen Beschreibung zu beheben hoffte. Gegen Ende des Jahrhunderts erhoben sich dann aber doch zwei „dunkle Wolken über der dynamischen Theorie der Wärme und des Lichtes“, die der ehrwürdige Lord Kelvin, selbst einer der Begründer der klassischen Thermodynamik, in seinem Londoner Vortrag vom 27. April 1900 hervorhob: Die erste Wolke bezog sich auf die relative Bewegung zwischen dem elektromagnetischen „Äther“ – eine Art absolutes Bezugssystem in der Physik – und den „ponderablen“ oder massiven Körpern, die zweite aber auf das Versagen eines wichtigen Gesetzes der Statistischen Mechanik, das die Gleichverteilung der Energie eines atomaren Systems oder Moleküls auf dessen Freiheitsgrade forderte.² Weitere, teilweise noch ge-

¹ Dieser Satz wird bereits dem griechischen Philosophen Aristoteles zugeschrieben. In der Neuzeit vertrat ihn zuerst ausdrücklich Gottfried Wilhelm Leibniz bereits in seinen Jugendschriften – siehe sein Dreiergespräch über die „Grundphilosophie der Bewegung“ vom Oktober 1676. Damals entwickelte der Philosoph und Mathematiker auch seine neue Differentialrechnung, in der später die Gesetze der klassischen Physik formuliert wurden. In den *Nouveaux Essais sur l'intendement humain* von 1704 formulierte er schließlich: „Nichts geschieht plötzlich, und einer von meinen größten und bewährtesten Grundsätzen lautet, daß die Natur niemals Sprünge macht. Ich habe dies, als ich in den ersten Heften der ‚Nouvelles de la République des lettres‘ davon sprach, das *Gesetz der Stetigkeit* genannt; die Bedeutung dieses Gesetzes für die Physik ist erheblich; es besagt, daß man vom Kleinen zum Großen und umgekehrt immer durch ein Mittleres fortschreitet, bei den Geraden wie bei den Teilen, daß eine Bewegung nie unmittelbar aus der Ruhe erwächst und immer nur auf dem Wege über eine kleinere Bewegung zu ihr zurückkehrt, so wie man mit dem Durchlaufen einer Linie oder Länge nie fertig wird, bevor man nicht mit einer kürzeren Teillinie fertig geworden ist.“ (Deutsche Übersetzung von ‚Neue Studien über den menschlichen Verstand‘. In G. W. Leibniz: *Die Hauptwerke*. Alfred Kröner Verlag, Stuttgart, 3. Auflage 1049, S.116–129, bes. S. 127).

² Thomson, Lord Kelvin: Nineteenth century clouds over the dynamical theory of heat and light. *Proceedings of Meetings of the Royal Institution of Great Britain* 16, 363–397 (1902).

wichtigere Angriffe auf die Gültigkeit der so genannten „Klassischen Physik“ gingen schließlich aus drei experimentellen Befunden hervor, kurz vor der Wende zum neuen, 20. Jahrhundert bekannt wurden. Es begann Ende 1895, als Wilhelm Conrad Röntgen in Würzburg eine bisher unbekannte Art von Strahlen nachwies, die Materie durchdringen konnte. Sein Erfolg regte Anfang 1896 in Paris Henri Becquerel an, einige Mineralien auf natürliche Strahlung zu untersuchen, und bei Pechblende fand er auch eine Strahlung mit ähnlichen Wirkungen wie die der Röntgen'schen: er entdeckte namentlich die so genante „Radioaktivität“. Im folgenden Jahr 1897 isolierten dann verschiedene Forscher im englischen Cambridge (Joseph John Thomson), in Königsberg (Emil Wiechert) und in Aachen (Willy Wien) ein offensichtlich subatomares, mit einer negativen elektrischen Elementarladung versehenes Teilchen, das „Elektron“. Die gleichzeitig von Pieter Zeeman in Leyden gefundene Aufspaltung von atomaren Spektrallinien („Zeeman-Effekt“) und ihre theoretische Deutung durch seinen Kollegen Hendrik Antoon Lorentz erkannte dann zunächst im Elektron die wesentliche Quelle der Entstehung von Licht aus Atomen. Diese eben entdeckten Phänomene verlangten bald nach einer ganz neuen, die klassische Physik revolutionierenden Beschreibung, zu der kurz darauf in Berlin und in Bern die ersten und entscheidenden Schritte getan wurden.

Die revolutionäre Entwicklung ging von einer besonderen optischen Erscheinung aus, die seit 1886 vor allem Boltzmann, Wien und Friedrich Paschen näher untersucht worden war, der von der Temperatur abhängigen Strahlung eines so genannten „schwarzen Körpers“, d. h., eines idealen, im thermischen Gleichgewicht befindlicher Körpers, der die auffallende elektromagnetische Strahlung aller Wellenlängen vollständig absorbiert und selbst ebenso vollständig emittiert. Mit der Hilfe von thermodynamischen Überlegungen hatte Wien schon 1896 ein Gesetz abgeleitet, das die entsprechenden experimentellen Befunde, vor allem die von Friedrich Paschen in Hannover, bestätigte. Dieses Gesetz erregte auch das Interesse von Max Planck, dem Professor für theoretische Physik an der Universität Berlin. Ihm gelang 1899 eine, wie er hoffte, strenge Ableitung der so genannten „schwarzen“ oder der „Hohlraumstrahlung“ im thermischen Gleichgewicht und ihrer Temperaturabhängigkeit aus den Prinzipien der Elektro- und Thermodynamik, wozu er die vier Konstanten a , b , c und f einführen musste. Davon war c die bereits aus der Elektrodynamik bekannte Lichtgeschwindigkeit im Vakuum und f die Gravitationskonstante des Newton'schen Gesetzes. Dagegen besaßen die übrigen zwei Konstanten noch keine physikalische Deutung.

Genauere experimentelle Nachmessungen der Temperaturabhängigkeit der „Schwarzen Strahlung“ in Berlin seit Anfang 1900 zeigten allerdings zunehmend deutliche Abweichungen vom Wien-Paschen'schen Gesetz, die den gründlichen Planck sehr beunruhigten und ihn zu weiteren theoretischen Untersuchungen veranlasste. Am 14. Dezember 1900 trug er schließlich die Ableitung seiner einige Wochen früher angegebenen Formel, welche die empirisch gewonnene Temperaturstrahlung eines absolut „schwarzen Körpers“ (oder „Hohlraumes“) aufs Genaueste beschrieb, den Mitgliedern der lokalen Deutschen Physikalischen Gesellschaft vor. In diese Ableitung gingen nun zwei neue, offensichtlich universelle Konstanten ein, nämlich erstens die Konstante k , mit der er in die von Boltzmann 1877

vorgeschlagene Proportionalitätsbeziehung zwischen der thermodynamischen Größe S , der „Entropie“, und der Wahrscheinlichkeit W eines physikalischen Zustandes zur Gleichung

$$S = k \log W \quad (\text{P.1})$$

umformte. k würde später Boltzmann'sche Konstante heißen, auch wenn Ludwig Boltzmann Beziehung (P.1) nie explizit niederschrieben hatte. Dagegen bestimmte die zweite Konstante h nun nach Planck die neuerdings *diskreten* Energiestufen ε_n des mit der Frequenz ν strahlenden Hohlraum-Resonators nach der Beziehung

$$\varepsilon_n = nh\nu, \quad (\text{P.2})$$

mit n einer ganzen Zahl. Somit hatten also auch die Konstanten h (sie entsprach der früheren a) und k (der frühere Quotient a/b) endlich eine eindeutige physikalische Bedeutung erlangt, und Planck musste als neues Prinzip in die Naturwissenschaft verkünden, dass *die Natur eben doch Sprünge macht*.

Allerdings bezeichnete der damals 43-jährige Gelehrte noch Jahrzehnte später, im Brief an Robert Williams Wood, die Schritte in seiner Ableitung insgesamt als einen „Akt der Verzweiflung“, um „koste es, was es wolle, ein positives Ergebnis herbei zu führen“. Allerdings betrachtete er im Jahre 1900 zunächst nur die Gleichung (P.1) als den wirklich revolutionären Schritt. Denn sie bestätigte nach seiner Ansicht zum ersten Mal vollständig die Existenz des diskreten atomaren Aufbaus der Materie, weil sie die „Größe der Atome“ sogar unabhängig von Experimenten mit materiellen physikalischen Systemen festlegte. Außerdem ermöglichte sie sofort, die so genannte „Avogadro'sche Zahl“ N der Atome in einer für die betreffende Substanz jeweils charakteristischen Masse ebenso zu berechnen und ebenso die elektrische Ladung e des Elektrons, und dies, wie sich in dem kommenden Jahrzehnt erweisen sollte, in ausgezeichneter Übereinstimmung mit spezifischen Messungen der Größen N und e . Die Konstante h , die Planck wegen ihrer physikalischen Dimension als „Wirkungsquantum“ bezeichnete – man nannte sie später nach ihm die „Planck'sche Konstante“ – hoffte er dagegen etwa aus den besonderen Eigenschaften des Elektrons, das ja für die schwarze Strahlung des betrachteten Hohlraums verantwortlich war, noch einmal berechnen zu können.

Weniger als fünf Jahre später, im März 1905 reichte Albert Einstein, ein Angestellter am Schweizer Patentamt in Bern, eine Untersuchung über die „Erzeugung und Verwandlung von Licht“ zur Veröffentlichung bei den von Planck mit herausgegebenen *Annalen der Physik* ein. In ihr zeigte er, dass bei diesen Prozessen die elektromagnetische Ausstrahlung und die Absorption von Licht eine körnige Struktur besitzt, das heißt die Strahlung tritt nur in Paketen oder „Lichtquanten“ auf, deren Energie durch Plancks Gleichung (P.2) gegeben ist. Es gelang ihm mit dieser Annahme sofort, eine bereits empirisch von Philipp Lenard gefundene Beziehung für den wohlbekannten lichtelektrischen Effekt aufzustellen. Noch im Sommer desselben Jahres begründete Einstein mit seiner folgenden Publikation „Zur Elektrodynamik bewegter Körper“ die so genannte „Relativitätstheorie“ – den Namen gab Planck 1906, den die Arbeit sofort interessierte! –, für die er

wenige Monate später die grundlegende Beziehung zwischen Masse m und Energie E materieller Teilchen

$$E = mc^2 \quad (\text{P.3})$$

aufstellte (mit c der Lichtgeschwindigkeit im Vakuum). Entscheidend für die Ableitung dieser Theorie war, dass der 1879 in Ulm geborene und seit 1895 in der Schweiz lebende und ausgebildete junge Forscher den Begriff der Gleichzeitigkeit in der Physik neu definierte und dadurch die klassisch getrennten Begriffe von Raum und Zeit zu einer untrennbaren vierdimensionalen Einheit verband. Damit löste er, kaum fünf Jahre nach Planck, eine zweite Revolution in der gesamten Naturwissenschaft aus.

Die Relativitätstheorie Einsteins beseitigte insbesondere die bereits erwähnte „dunkle Wolke über der dynamischen Theorie des Lichts“ von Lord Kelvin. Übrigens ließ sich bei einem näheren Studium der relativistischen Mechanik – d.h. der Mechanik hoher Geschwindigkeiten – und ihrer Anwendung auf das Elektron, die Planck schon 1906 unternahm, seine Konstante h nicht herleiten, wie er ursprünglich gehofft hatte. D.h. man musste sie von jetzt an, ebenso wie vorher die Konstante k in der Statistischen Mechanik, als eine weitere physikalische Fundamentalgroße ansehen, die von jetzt an die von Planck 1900 begründete „Quantentheorie“ charakterisierte.

Einstein zeigte außerdem gegen Ende 1906, dass auch die von der Wärmebewegung in Festkörpern erzeugten akustischen Schwingungen nach der quantentheoretischen Grundgleichung (P.2) von Planck eine diskrete, quantenartige Struktur besitzen. Er erklärte dadurch auch eine, dem bisherigen Verständnis rätselhafte Anomalie der spezifischen Wärme von Kohlenstoff bei tiefen Temperaturen. Diese Theorie bewährte sich auch in den späteren Experimenten des Berliner Physikochemikers Walther Nernst bei anderen Substanzen. Sie löste insbesondere, wie sich bald im Einzelnen herausstellen würde, Lord Kelvins „dunkle Wolke über der dynamischen Theorie der Wärme“ auf. Der Münchner Theorieordinarius Arnold Sommerfeld formulierte schließlich 1911 den Sachverhalt ganz anschaulich: Die mechanischen Freiheitsgrade von atomaren Systemen müssen „nicht gezählt, sondern gewogen werden“ – d.h. wegen der Größe ihrer nach Gleichung (P.2) zugeordneten quantentheoretischen Energiepakete lassen sich diejenigen Freiheitsgrade, die hohen Eigenfrequenzen entsprechen, erst bei höheren Temperaturen anregen und so bei der Gleichverteilung der Energie erfassen.

Ende Oktober 1911 wurde in Brüssel eine länger geplante Konferenz über die „Theorie der Strahlung und der Quanten“ einberufen, auf der die hervorragendsten Pioniere der Atom- und Quantenphysik ihre neuesten theoretischen und experimentellen Ergebnisse vor einer ausgewählten wissenschaftlichen Elite aus den europäischen Ländern – von Marie Curie bis Ernest Rutherford und Emil Warburg – vorstellten und diskutierten. Der berühmte, ebenfalls teilnehmende französische Mathematiker Henri Poincaré, selbst ein Pionier der Relativitätstheorie, fasste in der Generaldebatte die wichtigsten Folgerungen für die zukünftige Naturbeschreibung zusammen:

„Die neuen, hier besprochenen Untersuchungen scheinen nicht allein die Grundprinzipien der Mechanik in Frage zu stellen, sondern erschüttern sogar einen Punkt, der bisher mit dem Begriff des Naturgesetzes überhaupt vollständig verwachsen galt. Es handelt sich darum: *Können wir jene Gesetze noch in Gestalt von Differentialgleichungen darstellen?*“³

Gleichzeitig wies Poincaré auf ein grundlegendes Problem der neuen Beschreibung durch die „Quanten“ hin, das die damalige Situation besonders charakterisierte, nämlich:

„Es fiel mir bei den an dieser Stelle gehaltenen Vorträgen und Diskussionen auf, daß ein und dieselbe Theorie teils auf der Grundlage der alten Mechanik, teils aber auf solchen Hypothesen aufgebaut wird, die zu dieser im Gegensatz stehen. Man muß hierbei im Auge behalten, dass wohl jeder Satz ohne allzu große Mühe bewiesen werden kann, wenn man den Beweis auf zwei einander widersprechenden Prämissen begründet.“³

Auf derselben Brüsseler Konferenz stellte Fritz Hasenöhlrl, übrigens der Schüler und Nachfolger Ludwig Boltzmanns auf dem Wiener Lehrstuhl, auch das erste quantentheoretische Modell des Atoms vor, das sein Doktorand Arthur Haas 1910 nach dem früheren Atommodell des Engländers Joseph John Thomson (1904) entworfen hatte, in dem sich die Elektronen punktförmig in einer massiven, entsprechend positiv geladenen Kugel anordnen: Haas berechnete insbesondere die Größe des Wasserstoffatoms mit Hilfe einer zusätzliche quantentheoretischen Bedingung. Bedeutendere Erfolge erzielte aber erst Niels Bohr aus Kopenhagen, als er im März 1913 das von Ernest Rutherford 1911 in Manchester aus der Streuung von radioaktiven Alphastrahlen an Metallfolien abgeleitete „Kernmodell“ des Atoms zugrunde legte. Hier kreisen die leichten Elektronen (Masse m und Ladung $-e$) wie Planeten in Bahnen um einen im Zentrum konzentrierten schweren Atomkern. Bohr legte nun nicht nur die Radien und die Energie der einzelnen Elektronenbahnen durch eine Quantenbedingung für den Drehimpuls des Elektrons fest, sondern erklärte auch den Ursprung der diskreten atomaren Spektrallinien aus Sprüngen der Elektronen zwischen den zwei verschiedenen Bahnen oder Energiezuständen E_2 und E_1 nach der Beziehung für die Frequenz ν ,

$$E_2 - E_1 = h\nu . \quad (\text{P.4})$$

Für das leichteste chemische Element, den Wasserstoff, erhielt er auf diese Weise die Frequenzen der ausgesandten Spektrallinien zu

$$\nu = R \left(\frac{1}{n_2} - \frac{1}{n_1} \right), \quad (\text{P.5})$$

mit den ganzen Quantenzahlen n_1 und n_2 und der Rydberg-Konstanten $R = 8\pi^2 m e^2 / h^3$. Bohrs Quantentheorie der Atomstruktur beschrieb nicht nur die bekannten „Balmer-Serie“ des Wasserstoffs für die Grundbahn $n_2 = 2$, und $n_1 = 3, 4, 5, \dots$, sondern auch einige neue Ergebnisse aus der neuen experimentellen Untersuchungen der diskreten Röntgenspektren der schweren Elemente (Moseley 1913, 1914).

³ Siehe H. Poincaré in *Brüssel 1911*, S. 365.

Entscheidend für den praktischen Erfolg des Modells wurde dann die Erweiterung, die Arnold Sommerfeld in München Ende 1915 vorschlug: Er ersetzte die Rutherford-Bohr'schen Kreisbahnen durch elliptische Keplerbahnen in der Ebene bzw. im Raum, deren Parameter durch zwei bzw. drei ganze Quantenzahlen bestimmt wurden. Mit diesem Atommodell versuchten nun er und einige seiner Schüler einerseits qualitativ die Struktur von Atomen mit mehreren Elektronen und ihrer emittierten oder absorbierten Spektrallinien zu beschreiben, andererseits auch die Einwirkung von elektrischen und magnetischen Feldern auf diese zu erfassen. Darüber hinaus berücksichtigte Sommerfeld das Auftreten großer Geschwindigkeiten beim rotierenden Elektron und entdeckte die so genannte relativistische „Feinstruktur“ der Spektrallinien, die der befreundete Tübinger Spektroskopiker Friedrich Paschen umgehend experimentell bestätigen konnte. Der gesamte jahrzehntelang gesammelte Reichtum spektroskopischer Forschungen, ja sogar die chemischen Eigenschaften der Atome, schien nunmehr aus der Bohr-Sommerfeld'schen Theorie ableitbar.

Bohr stellte erstmals im September 1913 seine atomtheoretischen Untersuchungen auf der 83. Tagung der *British Association for the Advancement of Science* in Birmingham einem größeren internationalen Publikum vor. Diese Veranstaltung und die fast gleichzeitig abgehaltene 85. *Versammlung Deutscher Naturforscher und Ärzte*, auf der übrigens Einstein über Ansätze zu einer relativistischen Gravitationstheorie vortrug, standen am Ende einer vierzigjährigen, fast ununterbrochenen Friedensperiode, und sie vereinigten eine Vielzahl der besten Forscher aus vielen Nationen, die in intensivem Austausch und beflügelndem Wettbewerb eine große Blüte der Naturwissenschaften herbeigeführt hatten. Ein Jahr später wütete in Europa und vielen anderen Erdteilen der Erste Weltkrieg. Vor allen Dingen die Jugend der beteiligten Völker zog an die verschiedenen Fronten, in denen die Mittelmächte – das Kaiserliche Deutsche Reich und das Austro-Ungarische Imperium – mit dem russische Zaren-Reich, Italien, Japan und den Westmächte Frankreich, Großbritannien und schließlich (ab 1917) den Vereinigten Staaten von Amerika kämpften. Viele der bereits anerkannten jungen Forscher – wie der Österreicher Fritz Hasenöhl oder der Brite Henry Gwyn Jeffreys Moseley – starben im Kugelhagel, und mit ihnen wurden hoffnungsvolle Talente in den Tod gerissen, die die großen physikalischen Ideen des noch jungen 20. Jahrhunderts hätten befruchten und fortführen sollen. Die zu Hause gebliebenen älteren Professoren, wie Ernest Rutherford oder Arnold Sommerfeld, arbeiteten damals allein oder durch wenige Helfer – meist Gäste aus dem neutralen Ausland oder gar internierte Wissenschaftler – unterstützt, an den grundlegenden Problemen weiter. Nur Niels Bohr, der 1916 aus Rutherfords Institut in Manchester ins neutrale Dänemark zurückkehrte, konnte langsam in Kopenhagen ein eigenes Institut aufbauen: Er gewann bald seinen ersten Studenten und späteren langjährigen Mitarbeiter Hendrik Kramers aus dem ebenfalls neutral gebliebenen Holland. Der große Weltkrieg endete mit dem militärischen und politischen Zusammenbruch der Mittelmächte und ihrer vollständigen Kapitulation. Die große Habsburger Vielvölker-Monarchie wurde in einzelne Nationalstaaten zerstückelt und ihre Kernländer Österreich und Ungarn darüber hinaus verkleinert. Revolu-

tionäre Bewegungen stürzten alle Fürsten im Deutschen Reich, das militärisch abgerüstet wurde und neben den überseeischen Kolonien ein Drittel seines Gebietes und die wirtschaftlich wichtige Hochseeflotte verlor. Im wissenschaftlichen Verkehr drangen die Siegermächte darauf, die Forscher und Gelehrten aus den besiegten Staaten aus den internationalen Körperschaften verbannen. Eine schwere Zeit schien auch für den wissenschaftlichen Austausch und den Fortschritt gerade auch in der neuesten Physik anzubrechen.

Am 14. November 1918, drei Tage nach dem offiziellen Ende der Kampfhandlungen, eröffnete der Sekretär der Physikalisch-mathematischen Klasse Max Planck die erste Gesamtsitzung der ehemals Königlich Preußischen Akademie der Wissenschaften in Räumen, die jüngst durch revolutionäre Auseinandersetzungen und Plünderungen in Berlin beschädigt worden waren. Der sechzigjährige Doyen der deutschen Physik plädierte gerade jetzt mit jugendlichem Feuer für die Fortsetzung der Arbeit in der Akademie, der „vornehmsten wissenschaftlichen Behörde“ auch in der neuen deutschen Republik, denn: „Wenn es wahr ist, dass nach den Tagen des nationalen Unglücks wieder einmal bessere Zeiten ausbrechen, so werden sie ihren Anfang nehmen von dem aus, was dem deutschen Volk als Bestes und Edelstes eigen ist: von den idealen Gütern der Gedankenwelt, denselben Gütern, die uns schon einmal, vor hundert Jahren, vor dem gänzlichen Zusammenbruch bewahrt haben.“⁴ Fast sieben Monate später, am 3. Juli 1919 sprach Planck erneut in einer öffentlichen Sitzung der Preußischen Akademie. Neben den Nöten der deutschen Forschung widmete er sich dem anderen Hauptthema des Tages, den Schwierigkeiten der Beziehungen zum Ausland, und führte im Einzelnen aus:

„Die Wissenschaft ist nun einmal ihrem Wesen nach international. Es gibt weite Gebiete derselben, große bedeutende Aufgaben, sowohl in der Philosophie und Geschichte als auch in der Naturwissenschaft, die zu ihrer gedeihlichen Bearbeitung des internationalen Zusammenschlusses bedürfen. Unsere Akademie wird vor allem ihre wissenschaftliche Arbeit mit voller Energie fortsetzen. Soweit ihre Unternehmungen internationalen Charakter tragen, wird sie dieselben, wenn und insoweit das möglich ist, als deutsche Untersuchungen weiterführen und ihre ganze Kraft, ihre ganze Energie daran wenden, sie zu einem guten Abschluss zu bringen. Denn sie ist sich dessen bewusst: Solange die deutsche Wissenschaft in der bisherigen Weise voranzuschreiten vermag, so lange ist es undenkbar, dass Deutschland aus der Reihe der Kulturnationen gestrichen wird. Sollte es sich dann zugleich ergeben, dass die Gelehrten der feindlichen Länder es in ihrem eigenen Interesse finden würden, die abgebrochenen wissenschaftlichen Beziehungen mit den deutschen Kollegen wieder anzuknüpfen, so wäre dadurch jedenfalls eine aussichtsreichere Grundlage für eine Wiederannäherung der Geister geschaffen, als das durch eine noch so aufrichtig gemeinte und geschickt abgefasste grundsätzliche Erklärung je geschehen könnte.“⁵

Die Skandinavier, die nicht am Krieg teilgenommen hatten, wirkten unverzüglich tatkräftig dem Boykott deutscher und österreichischer Wissenschaftler entgegen.

⁴ M. Planck: Ansprache in der Gesamtsitzung vom 14. November 1918. *Sitz.Ber.Preuß.Akad. Wiss.* 1918, S. 992–993.

⁵ M. Planck: Eröffnungsansprache in der Öffentlichen Sitzung zur Feier des Leibniz'schen Jahrestages, 3. Juli 1919. *Sitz.Ber.Preuß.Akad. Wiss.* 1919, 547–551, bes. S. 550.

gen. So verlieh die Schwedische Akademie die Physik-Nobelpreise von 1918 und 1919 an Max Planck für seine Energiequanten im Strahlungsgesetz und Johannes Stark besonders für dessen Entdeckung der Aufspaltung von Spektrallinien im elektrischen Feld, und drei Jahre später folgte die Preisvergabe an den in Ulm geborenen und seit April 1914 in Berlin wirkenden Albert Einstein für seine „Verdienste um die theoretische Physik und besonders der Anwendung auf den lichtelektrischen Effekt“. Die wichtigste Rolle in der Vermittlung zwischen den Wissenschaftlern aus den ehemals verfeindeten Staaten aber nahm wohl der dänische Physiker Niels Bohr ein. Er lud etwa Arnold Sommerfeld nach Kopenhagen ein, am 21. September 1919 vor der *Dänischen Physikalischen Gesellschaft* zu sprechen, und betonte nach dem Vortrag: „Wir sind besonders glücklich, Sie hier bei uns zu haben, denn Sie sind der erste Wissenschaftler aus dem Ausland, der in diesen schwierigen Zeiten zu uns nach Skandinavien gekommen ist, um über seine wissenschaftlichen Ergebnisse zu berichten.“⁶

Sommerfeld seinerseits freute sich natürlich sehr über den warmen Empfang des Gastgebers, über dessen Pionierrolle in der Atomtheorie er bereits im Vorwort seines Buches „*Atombau und Spektrallinien*“ fast hymnisch geschrieben hatte:

„Was wir heutzutage aus der Sprache der Spektren heraushören, ist eine wirkliche Sphärensphäusik des Atoms, ein Zusammenklängen ganzzahliger Verhältnisse, eine bei aller Mannigfaltigkeit zunehmende Ordnung und Harmonie. Für alle Zeiten wird die Theorie der Spektrallinien den Namen *Bohrs* tragen.“

Und er wies damals zugleich auf die Verbindung der Theorie Bohrs mit Plancks Quantentheorie hin, als dem „geheimen Organon, aus dem die Natur die Spektralmusik spielt und nach dessen Rhythmus sie den Bau der Atome und Kerne regelt“.⁷ Bohr seinerseits kannte diese Verbindung sehr wohl, und er nahm deshalb mit großer Freude eine Einladung Max Plancks an, und trug am 27. April 1920 vor der Physikalischen Gesellschaft zu Berlin über „die Serienspektren der Elemente“ vor. Dort traf und diskutierte er erstmalig mit Planck und Einstein, aber auch mit den jüngeren dort versammelten deutschen Physikern. Als ersten auf einer langen Liste lud er unmittelbar nach der Eröffnung seines Instituts für Theoretische Physik am Blegdamsvej im Jahre 1921 James Franck zu einem längeren Aufenthalt nach Kopenhagen ein. Dieser lehrte dort mehrere Monate als Gastprofessor und baute auch die Apparatur nach, mit der ihm und Gustav Hertz 1914 in Berlin die Anregung von Spektrallinien durch Elektronenstöße gelungen war, also die erste direkte experimentelle Bestätigung der von Bohr angenommenen stationären Quantenbahnen.

Ziemlich genau ein Jahr nach Kriegsende brachte die Londoner *Times* am 7. November 1919 einen umfangreichen Bericht unter der Überschrift „*Revolution in Science*“, in dem sie eine „neue Theorie des Universums“ ankündigte. Mitgeteilt wurden hier die Ergebnisse von zwei britischen Expeditionen an die Westkü-

⁶ N. Bohr: *Collected Works*, Band 3, North Holland Publishing Company, Amsterdam, New York, Oxford 1976, fortan zitiert als *BCW 3*, S. 19.

⁷ A. Sommerfeld: *Atombau und Spektrallinien*, Fr. Vieweg, Braunschweig 1919, S. VIII, fortan zitiert als *Sommerfeld 1919*.

te Afrikas und nach Brasilien, die bei der Sonnenfinsternis am 29. Mai 1919 eine Ablenkung des Lichtes von Sternen im Gravitationsfeld der Sonne beobachtet hatten. Die Ergebnisse erhärteten insbesondere eine Theorie Albert Einsteins, die nun offensichtlich „Newtons Ideen revidierte“. Nach vielen Versuchen war der „berühmte Physiker“, der 1914 in Berlin an der Preußischen Akademie eine herausragende Stellung übernommen hatte, nämlich im November 1915 zu den Gleichungen der „Allgemeinen Relativitätstheorie“ gelangt, die eine weitere Grundlage der klassischen Mechanik überholte, nämlich das Gravitationsgesetz des Engländers Isaac Newton. Gleichzeitig war Einstein weiter voran geschritten in der Umwälzung der Vorstellungen von Raum und Zeit und hatte eine Krümmung des von schweren Massen erfüllten physikalischen Raumes gefordert, die als Ablenkung von Lichtstrahlen in Erscheinung treten sollte. Genau ein Jahr nach dem Ende des Krieges, im November 1919 wurde Einstein jedenfalls gebeten, einen populären Artikel über die Relativitätstheorie für die Londoner Times zu schreiben, der in der Ausgabe vom 28. des Monats erschien. Scherzhaft endete er seine Erläuterungen mit einer weiteren Anwendung der Relativitätstheorie: „Heute werde ich in Deutschland ein Mann der Wissenschaft genannt, in England ein Schweizer Jude; sollte ich einmal als *bête noir* betrachtet werden, dann wäre ich für die Deutschen ein Schweizer Jude und die Engländer ein deutscher Mann der Wissenschaft.“ Im Sommer 1921 zuvor wurde Einstein schließlich von der gelehrten Welt in England als erster wissenschaftlicher Bote aus Deutschland besonders geehrt. Offizielle deutsche und englische Beobachter stellten fest, dass er mit seinem Besuch und seiner Theorie wesentlich beigetragen hatte, die durch den Weltkrieg verloren gegangenen internationalen Beziehungen zu erneuern.⁸ Auch der weiteren Verbreitung der Quantentheorie würde dieser persönliche Erfolg Einsteins wesentlich nützen, obwohl hier wiederum Niels Bohr mit seinen alten Beziehungen zu Rutherford und Cambridge entscheidend nachhalf.

Am 10. Dezember 1901 war Wilhelm Conrad Röntgen in Stockholm der erste Physik-Nobelpreis verliehen worden „für die Entdeckung seiner bemerkenswerten Strahlen“, die die Lawine weiterer experimenteller Entdeckungen auslöste und ein neues Zeitalter in der Physik herauf führten. 1895 hatte auch Planck mit seinen Studien begonnen, die fünf Jahre später zu dem Strahlungsgesetz führten, das zugleich die Geburtsstunde der ersten modernen Theorie, der Quantentheorie markierte. Mit dem Nobelpreis (1918) für ihn und Albert Einstein (1921) hatten endlich die beiden grundlegenden theoretischen Systeme der neuen Physik die höchste Anerkennung in der Wissenschaft gewonnen, und sie begannen jetzt endlich ihren Siegeszug in der ganzen Welt. Um dieselbe Zeit reichte in München ein junger Student im dritten Semester seine erste wissenschaftliche Arbeit zur Veröffentlichung ein. Es war Werner Heisenberg, der weniger als fünf Jahre später in die Fußstapfen dieser großen Pioniere der theoretischen Physik treten würde. Indem er den entscheidenden Schritt zur Vollendung der Quantentheorie tun sollte. Er öffnete damit das Tor zur heute gültigen Sprache der Atome.

⁸ R.Clark: *Einstein – Leben und Werk*. Bechtle, Esslingen 1974 S. 170–177, bes. S. 177, sowie S. 199–200.

Tafel 1

Die Pioniere der neuen Atomtheorie



Planck überreicht Einstein die goldene Planck-Medaille im Juli 1929



Sommerfeld und Bohr in Lund 1919