

1919–1925

Atombau und Spektrallinien



Arnold Sommerfeld mit Niels Bohr
im Jahre 1919

Atombau und Spektrallinien

Im Juni 1918 begann Sommerfeld seine seit dem Wintersemester 1916/17 gehaltenen populären Vorlesungen über Atomphysik als Buch auszuarbeiten.^[1] Es sollte auch „dem Nichtfachmanne das Eindringen in die neue Welt des Atominneren“ ermöglichen, wie er im Vorwort von *Atombau und Spektrallinien* schrieb.^[2] Fast jährlich wurden Neuauflagen erforderlich. Die Änderungen und Erweiterungen sind Gradmesser für die rasante Entwicklung der Atomtheorie in dieser Zeit. Nach der vierten Auflage 1924 erzwang die Quantenmechanik von Heisenberg und die Wellenmechanik Schrödingers, die Sommerfeld begeistert aufnahm, eine längere Pause. Diesen einschneidenden Veränderungen trug Sommerfeld 1929 mit dem *Wellenmechanischen Ergänzungsband* Rechnung. Was von der alten Atomtheorie noch Gültigkeit besaß oder durch eine neue Interpretation dem aktuellen Wissensstand angepaßt werden konnte, erschien 1931 in der fünften Auflage von *Atombau und Spektrallinien*. Das nun zweibändige Lehrbuch galt noch lange als Standardwerk und diente über Sommerfelds Tod hinaus in Nachdrucken und Übersetzungen mehreren Physikergenerationen als Einstieg in die Atomphysik.

Die Arbeit an *Atombau und Spektrallinien* bot immer wieder Gelegenheit, Probleme der älteren Atomtheorie zu diskutieren. Daraus ergeben sich nicht nur für die Entwicklung der Sommerfeldschen Gedanken wichtige Einblicke, sondern auch für ein Verständnis der vorquantenmechanischen Epoche zwischen 1919 und 1925 insgesamt.

Freundschaft und Rivalität mit Bohr

Zu den bedeutendsten Quellen für die Geschichte der Quanten- und Atomtheorie zählt der Briefwechsel mit Niels Bohr. Nach einer kurzen Kontaktaufnahme vor dem Ersten Weltkrieg, die eine Einladung Bohrs zu einem

^[1] Siehe Band 1, Brief [283].

^[2] [Sommerfeld 1919a, S. V].

Kolloquiumsvortrag am 15. Juli 1914 in München zur Folge hatte, schrieben sich Sommerfeld und Bohr während des Krieges nur bei zwei Gelegenheiten 1916 und 1918.^[1] Doch nach dem Krieg stieg die Zahl der Briefe stark an: 22 sind aus dem Zeitraum Dezember 1918 bis November 1924 erhalten, in denen beide – bisweilen sehr ausführlich – ihre Standpunkte zur Atomtheorie darlegen. Danach bricht ihre Korrespondenz für mehrere Jahre ab. Die 11 Briefe zwischen 1932 und 1948 lassen von der intensiven Wechselwirkung beider um 1920 kaum noch etwas spüren.

Anlaß für die erneute Kontaktaufnahme nach dem Ersten Weltkrieg bot die Übersendung des im Dezember 1918 erschienenen zweiten Teils von Bohrs zusammenfassender Arbeit „On the quantum theory of line-spectra“.^[2] In seiner Antwort dankte Sommerfeld „für die ausserordentlich liberale und gewissenhafte Art“, mit der Bohr die in München entstandenen atomtheoretischen Arbeiten anerkannt habe; nun müßten „auch die Fachgenossen in den feindlichen Ländern, die sonst gern alle deutschen Leistungen unterschlagen möchten,“ zur Kenntnis nehmen, „dass sich die deutsche Wissenschaft selbst im Kriege nicht unterdrücken lässt.“^[3] Eher beiläufig erwähnte er, daß er gerade „ein Buch *Atombau und Spektrallinien*“ schreibe, „das auch für Nicht-Physiker verständlich sein soll.“ Den Wunsch Bohrs, „dass es bald möglich sein möge, mit ausländischen Kollegen zusammen zu kommen,“ teilte Sommerfeld „von Herzen. Besonders würde es mir eine grosse Freude sein, Sie wiederzusehen.“

Nur wenige Monate später ging dieser Wunsch dank einer Einladung des schwedischen Physikers Manne Siegbahn in Erfüllung:^[4]

Sie haben mir mit Ihrer Einladung nach Lund eine grosse Freude gemacht. Nicht nur die Aussicht, Sie und Ihre Mitarbeiter ausführlich über unsere gemeinsamen Studien sprechen zu können, und das Interesse, das mir das bisher fremde Land und die andersartige Universitäts-Verfassung verspricht, haben mich so angenehm berührt, sondern es kommen auch die besonderen Umstände der Zeit hinzu, die mir Ihre freundliche Einladung als erste wirkliche Friedens-Taube erscheinen lassen.

Diese Reise half ihm auch über einen Schicksalsschlag hinweg, der ihn „unendlich Schmerzliches“ durchleben ließ:^[5] „Nicht nur das allgemeine po-

^[1] Band 1, Briefe [202], [203], [245], [279] und [281].

^[2] [Bohr 1918b], vgl. Band 1, Brief [298].

^[3] Brief [2].

^[4] A. Sommerfeld an M. Siegbahn, 5. Juni 1919. Stockholm, Akademie, Siegbahn.

^[5] Brief [3].

litische Elend, auch ein besonderes Familienunglück hat mich getroffen.“ Sein 15jähriger Sohn Arnold Lorenz war beim Baden im Ammersee ertrunken. Zunächst wollte er deswegen die Fahrt absagen, doch überredete ihn seine Frau, die Einladung anzunehmen, um aus der Begegnung mit den skandinavischen Kollegen „neue Lebensenergie“ zu schöpfen. Bohr bekundete Sommerfeld die „innigste Teilnahme an Ihrer tiefen Trauer“ und sah der bevorstehenden Begegnung in Lund „mit der grössten Erwartung und Freude“ entgegen.^[1] Beinahe übergangslos eröffnete er dann die Diskussion über die strittigen Fragen der Atomtheorie.

Kurz zuvor hatte Sommerfeld in einer gemeinsamen Publikation mit Kossel die Entdeckung eines neuen Verschiebungssatzes bei Serienspektren bekanntgegeben. Demnach zeigen die Funken- und Bogenspektren aufeinanderfolgender Elemente im Periodensystem eine strukturelle Verwandtschaft:^[2] „Wenn ein Atom durch Ionisierung zwei Elektronen verloren hat, sollte es seinem äußeren Verhalten nach um zwei Schritte nach links im periodischen System rücken. Dementsprechend sollte sich auch der Charakter seiner Spektren ändern“. Die theoretische Grundlage dafür lieferte das Rubinowiczsche Auswahlprinzip, das Sommerfeld auf eine Stufe mit der von Bohr aus dem Korrespondenzprinzip abgeleiteten Auswahlregel stellte und auch als „Auswahlprinzip von Rubinowicz–Bohr“ bezeichnete. Für Bohr war das Auswahlprinzip jedoch nur eine Folgerung des von ihm als fundamental angesehenen Korrespondenzprinzips. Das formale „Analogie-Prinzip“ – wie das Korrespondenzprinzip anfangs bezeichnet wurde – fand Sommerfeld zwar „sehr interessant und fruchtbar“,^[3] doch eine zentrale Rolle, wie sie Bohr sah, erkannte Sommerfeld nicht an.

Während Bohr vom Korrespondenzprinzip ausgehend in den Spektren der Elemente nach Bestätigung suchte, tastete sich Sommerfeld von der entgegengesetzten Seite an die grundlegenden Gesetze der Atomphysik heran, indem er aus dem unübersichtlichen spektroskopischen Material Gesetzmäßigkeiten herauslas. Nach dem spektroskopischen Verschiebungssatz entdeckte er bei den anomalen Zeemaneffekten einen „magnetooptischen Zerlegungssatz“. Schon früher hatte Runge festgestellt, daß sich die anomalen Zeemanaufspaltungen $\Delta\nu$ als rationale Bruchteile mittels eines Faktors q/r aus der normalen Zeemanaufspaltung berechnen lassen, die sogenannte Rungesche Regel.^[4] Darin bedeutet die als „Rungesche Zahl“ oder als „Run-

^[1] Brief [4].

^[2] [Sommerfeld und Kossel 1919, S. 249 und 258].

^[3] Brief [2].

^[4] In [Runge 1907] wird das am Beispiel des Neons demonstriert.

gescher Nenner“ bezeichnete Größe r eine für den jeweiligen Aufspaltungstyp (Singulett, Dublett, Triplett usw.) charakteristische natürliche Zahl; der „Rungesche Zähler“ q durchläuft innerhalb eines Aufspaltungsbildes die Werte $0, \pm 1, \pm 2, \dots$. Sommerfeld verknüpfte diese Regel mit dem Kombinationsprinzip, wonach jede Spektrallinie und folglich auch jede Aufspaltung von Spektrallinien als eine Termdifferenz darstellbar sein sollte.^[1] „Die Runge’sche Zahl r jeder Termcombination zerlegt sich in die Runge’schen Zahlen r_1 und r_2 des ersten und zweiten Terms“, wobei „ $r = r_1 r_2$ “ zu gelten habe. Damit schmiedete er aus der Rungeschen Regel ein Instrument, mit dem die Linienvielfalt bei den anomalen Zeemaneffekten den jeweiligen Termdifferenzen zugeordnet werden konnte. Auch wenn es sich dabei nur um „etwas Halb-Empirisches“ handle und ihm der „eigentliche Grund“ für die komplizierten Aufspaltungsmuster beim anomalen Zeemaneffekt rätselhaft bleibe, erhalte man daraus doch Anstöße für neue Experimente, da man nun gezielt nach vorhergesagten Linien suchen konnte: „Ist das nicht sehr schön?“

Im stolzen Bewußtsein dieser Entdeckungen reiste Sommerfeld im September 1919 nach Skandinavien. Die Einladung Siegbahns nach Lund war wenige Tage vor Beginn der Reise noch von Bohr durch eine Einladung nach Kopenhagen ergänzt worden, der Sommerfeld „natürlich sehr gern“ folgte.^[2] Die Gastfreundschaft, mit der Sommerfeld in Schweden und Dänemark empfangen wurde, muß nach dem Abbruch der internationalen Beziehungen durch den Krieg für beide Seiten ein besonderes Erlebnis gewesen sein. Der Austausch blieb nicht auf das Wissenschaftliche beschränkt. In den Briefen an seine Frau Johanna und die Kinder schwingt die Herzlichkeit der Gastgeber mit. Nach dem Aufenthalt in Kopenhagen vom 20. bis 23. September 1919 berichtete er seiner 19jährigen Tochter Margarethe:^[3]

Ganz entzückend ist die junge Frau Bohr [...] Auch die Mutter von Bohr habe ich kennen gelernt, eine liebe alte Dame. Ich konnte mich nicht enthalten, der jungen Frau Bohr zu sagen, dass ich mich freute, Bohr in so guten weiblichen Händen, Frau u. Mutter, zu sehn. Beide sorgen sich, dass er sich überarbeitet, u. beide baten mich, bei seinem Kollegen Knudsen dahin zu wirken, dass er entlastet würde. Das habe ich natürlich getan. Bohr ist ganz wie Einstein, nur viel besser gewaschen und

^[1] Brief [6]; vgl. auch [Sommerfeld 1920a] und [Sommerfeld 1920c].

^[2] Briefe [7], [10] und [11].

^[3] A. Sommerfeld an M. Sommerfeld, 24. September 1919. München, Privatbesitz.

viel feiner. Er war die ganzen 3 Tage in Kopenhagen mit mir zusammen u. die Aufmerksamkeit selbst. [...] Die Aufnahme in Kop.[enhagen] war wirklich herzlich, nicht nur von Seiten Bohrs, mit dem ich wirklich befreundet geworden bin; ich hatte ihn vorher nur einmal in München gesehn.

Auch für Bohr blieb der Besuch Sommerfelds „eine unvergessliche Erlebung“, die ihm mit den lebhaften Diskussionen über die verschiedenen atomtheoretischen Fragen auch eine große „wissenschaftliche Erfrischung“ gebracht habe.^[1] Sein Bruder Harald, der des öfteren für die Durchsetzung der Ziele Niels Bohrs die Initiative ergriff, nutzte die Gelegenheit und bat Sommerfeld um Fürsprache für die Verwirklichung des schon länger gehegten Planes, für Niels „ein Institut für Arbeit in Atomfragen“ zu gründen.^[2] Sommerfeld seinerseits fühlte sich durch die Eindrücke seiner Skandinavienreise gestärkt „für die Überwindung aller Widerwärtigkeiten, die mir in dem kalten und trüben Deutschland entgegentreten.“^[3] Die Idee eines eigenen Forschungsinstituts für Niels Bohr in Kopenhagen fand er „sehr schön“. Indem er den Plan gegenüber dem dänischen Carlsberg-Fonds in einen politischen Zusammenhang rückte und die Chance für das kleine Dänemark betonte, für die am Weltkrieg beteiligten Staaten „in die Bresche zu treten“, verlieh er dem Projekt zusätzliches Gewicht. Wegen der Kriegsfolgen werde es Deutschland „auf lange Zeit unmöglich gemacht, die Wissenschaft wie bisher zu pflegen.“^[4] Auch das übrige Europa sei verarmt. Daher solle das Bohrsche Institut „nicht nur dem dänischen wissenschaftlichen Nachwuchs dienen, es sollte eine internationale Arbeitsstätte für Talente des Auslandes werden“.

In wissenschaftlicher Hinsicht führte die Skandinavienreise ebenfalls zu einem intensiveren Austausch zwischen Sommerfeld und Bohr. Sommerfeld bat Bohr gleich nach seiner Rückkehr um Übersendung eines unveröffentlichten Manuskripts, von dem er sich Fortschritte für die Arbeit seines Doktoranden Adolf Kratzer über Bandenspektren erhoffte. Bohr war gern dazu bereit und äußerte die Idee, „die alte unpublizierte Abhandlung zusammen mit den anderen früheren Abhandlungen in deutscher Übersetzung erscheinen zu lassen.“^[5] Dies sei „die beste Gelegenheit zu illustrieren welche eine grosse Umwälzung in der Theorie durch Ihre Arbeiten geschaffen war.“

^[1] *N. Bohr an A. Sommerfeld, 9. Oktober 1919, Kopenhagen, NBA, Bohr.*

^[2] Brief [12].

^[3] Brief [14].

^[4] Brief [13]. Zur Gründungsgeschichte siehe [Robertson 1979].

^[5] Brief [16]; gemeint ist [Bohr 1921a].

Es war Bohr ein großes Anliegen, seine bislang fast ausschließlich in englischen Organen veröffentlichte Theorie auch im deutschsprachigen Raum zur Geltung zu bringen und seine atomtheoretischen Vorstellungen gegenüber denen Sommerfelds zu behaupten. Daß für Bohr Anlaß bestand, sich über die gebührende Anerkennung seiner Ideen in Deutschland Gedanken zu machen, zeigte sich nach dem Erscheinen von *Atombau und Spektrallinien*. Sommerfeld stellte darin zwar das Bohrsche Atommodell an die Spitze aller Überlegungen, aber dem für Bohr so zentralen Korrespondenzprinzip wurde nicht die Bedeutung zugesprochen, die ihm nicht nur aus Bohrs eigener Sicht zukam. Max Born zum Beispiel kritisierte, daß „Bohr neben Rubinowitz beim Auswahlprinzip zu schlecht weg“ komme:^[1] „Bohrs Formulierung ist doch auch sehr schön.“

Allerdings mangelte es Bohr nicht an Gelegenheiten, schon vor dem Erscheinen der deutschen Übersetzung seiner Arbeiten die atomtheoretischen Probleme in Deutschland nach eigener Façon bekannt zu machen. Am 27. April 1920 hielt er auf Einladung der Deutschen Physikalischen Gesellschaft in Berlin einen Vortrag „Über die Serienspektren der Elemente“, der kurz darauf in der *Zeitschrift für Physik* gedruckt wurde.^[2] Hier wird das Korrespondenzprinzip erstmals in der Form präsentiert, in der es sich unter den Physikern seither eingebürgert hat. Schon im Vorwort zur wenig später erschienenen zweiten Auflage von *Atombau und Spektrallinien* machte Sommerfeld deutlich, daß „das Bohrsche Korrespondenzprinzip (Analogieprinzip)“ Berücksichtigung fände. Beinahe entschuldigend schrieb er an Bohr:^[3]

In den Zusätzen meines Buches können Sie sehen, dass ich mich bemüht habe, Ihr Korrespondenzprinzip besser zu würdigen, wie in der 1. Auflage. [...] Trotzdem muss ich bekennen, dass mir der der Quantentheorie fremde Ursprung Ihres Prinzipes immer noch peinlich ist, so sehr ich auch anerkenne, dass damit ein wichtigster Zusammenhang zwischen Quantenth.[eorie] und klassischer Elektrodynamik blossgelegt wird.

Dieses Unbehagen an den Grundüberzeugungen des Bohrschen Denkens hinderte Sommerfeld nicht, Bohr gegen die Kritik anderer in Schutz zu nehmen. Als Johannes Stark in seinem Nobelvortrag die Bohrsche Theorie als unzureichend für ein Verständnis der Aufspaltung von Spektrallinien im

^[1] Brief [20].

^[2] [Bohr 1920].

^[3] Brief [30]. Siehe [Sommerfeld 1921c, Vorwort und S. 527-537].

elektrischen Feld bezeichnete, ergriff Sommerfeld Partei und machte Stark auf die schon 1915 veröffentlichten Ergebnisse aufmerksam, die sich auch im Licht der genaueren Schwarzschild–Epsteinschen Theorie des Starkeffekts als zutreffend erwiesen hätten.^[1] Als Stark wenig später einen Generalangriff gegen die Bohrsche Theorie startete, trat Sommerfeld auch öffentlich als Anwalt Bohrs auf und wies die Einwände mit einer Entschiedenheit zurück, die das schon seit der Kontroverse um die Röntgenbremsstrahlung belastete Verhältnis zwischen Sommerfeld und Stark noch weiter zerrüttete.^[2] Seine Stellungnahme gegen den „recht leichtsinnigen“ Angriff Starks fand er Bohr gegenüber nur einer kurzen Erwähnung wert; wichtiger war ihm, von Bohr auf dem Laufenden gehalten zu werden.^[3]

Bohr reagierte auf die Starkschen Angriffe, indem er sie öffentlich keiner Antwort würdigte und sich Sommerfeld gegenüber nur wunderte, daß Stark nicht im Gegenteil die „wundervollen Erfolge der Ihrigen und der Epstein–Schwarzschild’schen Arbeiten“ als „Stütze der Quantentheorie“ werte.^[4] Die von Sommerfeld erbetene Auskunft über seine neuesten Vorstellungen beantwortete er mit der Übersendung einer Arbeit, die im März 1921 in *Nature* erschien; es handelte sich dabei um den Versuch, die Zusammenhänge zwischen der Stellung der Elemente im Periodensystem und der Elektronenkonfiguration im Atom aufzuklären.^[5] Sommerfeld war schon nach dieser einleitenden Arbeit überzeugt, daß sie „offenbar den grössten Fortschritt im Atombau seit 1913“ bedeute.^[6]

Bohrs „Zweite Atomtheorie“^[7] war im Gegensatz zu seinen Vorstellungen von 1913 keine neue modellhafte Berechnung von Elektronenbewegungen im Atom, sondern eine schemenhafte, fast visionär anmutende Betrachtung über das sukzessive Auffüllen der Elektronen im Atom beim Fortschreiten von Element zu Element im Periodensystem. Das kam einer Absage an die früher verfolgten Ringvorstellungen gleich. Der leitende theoretische Gesichtspunkt für die neuen Ideen war das Korrespondenzprinzip – obwohl Bohr nicht explizit ausführte, wie das eine aus dem anderen folgte. Die beiden *Nature*-Aufsätze von 1921 enthielten keine einzige Formel;

^[1] Brief [31], [Stark 1920a].

^[2] [Stark 1920b], [Sommerfeld 1920b]; siehe auch die Briefe [32] und [33] sowie Band 1, Seite 289, mit den dort angegebenen Briefen.

^[3] Brief [36].

^[4] Brief [37].

^[5] [Bohr 1921c], [Bohr 1921d].

^[6] Brief [39].

^[7] [Kragh 1979]. Bohrs einschlägige Arbeiten und unveröffentlichte Manuskripte sowie Briefwechsel sind in [Bohr 1977] abgedruckt.

weitergehende Ausführungen, wie er sie etwa 1922 anlässlich der Göttinger „Bohr-Festspiele“ gab, blieben unveröffentlicht. H. A. Kramers, Bohrs langjähriger Assistent, der die Entwicklung dieser Vorstellungen wie kein anderer miterlebt und mitgestaltet hat, erinnerte sich später:^[1]

It is interesting to remember that many physicists abroad believed [...] that [the theory] was based to a large part on unpublished calculations [...] while the truth was that Bohr, with divine vision, had created and deepened a synthesis between spectroscopic and chemical results.

Dessen ungeachtet wurde das „Aufbauprinzip“, wie der Kernpunkt von Bohrs Vorstellungen vom Periodensystem bezeichnet wurde, in den folgenden Jahren zu einem Markstein bei der weiteren Entwicklung der Atomtheorie: Die mit wachsender Ordnungszahl neu hinzukommenden Elektronen stören die Quantenzustände der schon vorhandenen Elektronen nicht. 1923 verschärfte Bohr dies zu dem „Postulat der Invarianz und Permanenz der Quantenzahlen“.^[2] Vielelektronenkonfigurationen wurden als eine Folge von n_k -Werten gekennzeichnet mit n als Hauptquantenzahl und $k = 1, 2, \dots, n$ als Hilfsquantenzahl, denen mit einer hochgestellten Ziffer die Besetzungszahl hinzugefügt wurde. Zum Beispiel wurde Neon mit seinen 10 Elektronen im Grundzustand durch $(1_1)^2(2_1)^4(2_2)^4$ gekennzeichnet: 2 Elektronen im Zustand mit $n = 1$ und $k = 1$, 4 Elektronen im Zustand $n = 2$, $k = 1$ und 4 Elektronen im Zustand $n = 2$, $k = 2$. Aufgrund dieser Theorie sagte Bohr 1922 ein bislang unentdecktes Element mit der Kernladung 72 voraus, das vier Valenzelektronen aufweisen und daher eine enge chemische Verwandtschaft mit Zirkon und Titan zeigen sollte. Das daraufhin tatsächlich von Bohrs Mitarbeitern in seinem Institut gefundene Element wurde als Hafnium, nach dem lateinischen Namen von Kopenhagen, in das Periodensystem aufgenommen.^[3] „Im ganzen also eine vollständige und ungezwungene Wiedergabe des chemischen Tatbestandes, die durch die Eigenschaften des Hafniums noch in besonders eindrucksvoller Weise bekräftigt wird“, urteilte Sommerfeld in der vierten Auflage von *Atombau und Spektrallinien* am Ende einer ausführlichen Darstellung der Bohrschen Theorie des Atomaufbaus; man könne „volles Vertrauen zur qualitativen Richtigkeit dieser Theorie des periodischen Systems haben, wenn auch ihr rechnerischer Beweis wahrscheinlich für lange Zeit noch ausstehen wird.“^[4]

^[1] Zitiert nach [Pais 1991, S. 205].

^[2] [Kragh 1979, S. 145].

^[3] [Robertson 1979, S. 67-72].

^[4] [Sommerfeld 1924b, S. 196-197]

Im Frühjahr 1921 war Bohr wegen Überarbeitung einem Zusammenbruch nahe. Sommerfeld fürchtete, Bohr habe sich in seiner „Doppelstellung als Institutsdirektor und Direktor der Atomtheorie zu viel übernommen“ und bat ihn eindringlich, sich zu schonen:^[1] „Ich finde es nur natürlich, dass Sie für Ihre neuesten Entdeckungen, die gewiss eine ungeheure Gedanken-Concentration erforderten, den Tribut der Menschlichkeit zahlen müssen. Und ich würde ihn, wenn mir so tiefe Einsichten beschert wären, *gerne* zahlen.“ Bohr bedankte sich im September 1921 für Sommerfelds Anteilnahme mit der Übersendung seines neuesten *Nature*-Artikels und gab sich zuversichtlich, daß man nun nicht nur die Serienspektren verstehe, sondern auch eine „Erklärung aller Einzelheiten der feineren Struktur der Röntgenspektren“ besitze, „die Ihre allgemeine Theorie derselben in schönster Weise bekräftigt.“^[2]

Im Juni 1922 folgte Bohr einer Einladung nach Göttingen, wo er eine Vorlesungsreihe über den Aufbau der Atome hielt. Die als „Bohr-Festspiele“ in die Geschichte eingegangenen Vorträge – Sommerfeld machte Bohr bei dieser Gelegenheit mit seinem neuen Musterschüler Heisenberg bekannt – markieren den Auftakt einer besonderen Beziehung zwischen den Instituten Bohrs, Sommerfelds und Borns in Kopenhagen, München und Göttingen. Das Interesse an den Fragen der Quantenphysik trat so stark in den Vordergrund, daß – wenn nicht offiziell, so doch informell – von einem gemeinsamen Forschungsprogramm gesprochen werden kann. „Im Sommer werde ich Sie jedenfalls in Göttingen einige Tage aufsuchen“, schrieb Sommerfeld im März 1922 nach Kopenhagen, nicht ohne anzukündigen, daß er bei aller Wertschätzung im allgemeinen Einzelheiten an der Bohrschen Theorie zu kritisieren habe.^[3] Bohr dankte Sommerfeld für die „freundliche Gesinnung“, mit der dieser seine Arbeit in den zurückliegenden Jahren stets begleitete, da er sich „oft wissenschaftlich sehr einsam gefühlt“ habe. Er freute sich, daß er in der gerade erschienenen dritten Auflage von *Atombau und Spektrallinien* eine Änderung fühlen könne, was Sommerfelds Haltung gegenüber den von ihm verfolgten Prinzipien der Quantentheorie anging.^[4] Gleichwohl teilte er nicht alle Ansichten: „Z. B. muss ich gestehen, dass mehrere der Annahmen die Sie und Ihre Mitarbeiter in der vielversprechenden Theorie des anomalen Zeemaneffectes benutzt haben, mir mit eine einheitliche Auffassung der Quantentheorie kaum verträglich erscheint.“

^[1] Brief [40].

^[2] Brief [44].

^[3] Brief [53].

^[4] Brief [55].

Zwischen diesem Meinungsaustausch und dem beinahe ein Jahr später geschriebenen Brief Sommerfelds lag die Verleihung des Physiknobelpreises an Bohr. Angesichts der eigenen Hoffnungen dürfte es für Sommerfeld eine nicht geringe Enttäuschung gewesen sein, daß der Preis nicht an Bohr und ihn gemeinsam verliehen wurde. Seiner Gratulation an Bohr für die „allgemeine und frühe Anerkennung Ihres Werkes, die in dem Preise ihren höchsten Ausdruck findet“, ist allerdings keine Bitterkeit anzumerken.^[1] Dennoch nahm die Intensität des Austausches spürbar ab. Dafür gibt es mehrere Gründe, so daß nicht auf eine durch Neid und Mißstimmung verursachte Abkühlung des zuvor so freundschaftlichen Verhältnisses der beiden geschlossen werden sollte. Zum einen begann mit den Sommerfeldschülern Heisenberg und Pauli ein immer intensiverer direkter Austausch zwischen der Münchner, Göttinger und Kopenhagener Physik, so daß sich Sommerfeld nicht mehr selbst als Vermittler einbringen mußte; zum anderen deckten sich die Forschungsinteressen von Bohr und Sommerfeld nicht mehr in dem Maße wie früher.

Das wurde deutlich, als sich Bohr mehr als eineinhalb Jahre später für die vierte Auflage von *Atombau und Spektrallinien* bedankte und nach Würdigung des Gesamtwerkes bemerkte, „dass in Einzelheiten, besonders was die Betonung des inneren Zusammenhangs betrifft, nicht immer Einigkeit herrschen“ könne.^[2] Nachdem er auf zwei Schreibmaschinenseiten Kritik an verschiedenen Auffassungen Sommerfelds geübt hatte, fand er am Ende des Briefes versöhnliche Worte. Er sei keineswegs blind für die Verdienste Sommerfelds um die „Entschleierung der systematischen Ordnung der Tatsachen“: „Auch wenn ich es wäre, brauchte ich wohl auch nur einen Blick in Ihr Buch zu werfen, um davon geheilt zu werden.“

Daß Sommerfeld um diese Zeit – als Folge des auch 1923 und 1924 nicht an ihn vergebenen Nobelpreises – eine gewisse Verstimmung gegenüber Bohr empfand, läßt sich aus späteren Briefen schließen. Als er seinem Münchner Chemiekollegen Heinrich Wieland 1928 zu dessen Nobelpreis gratulierte, fügte er hinzu, „dass es sich allmählich zum öffentlichen Skandal auswächst, dass ich den Preis immer noch nicht bekommen habe.“^[3] Man munkle, so gab er Gerüchte unter den Physikern wieder, „Bohr sei daran schuld, aus Rivalität. Ich weiss nicht, welche Kräfte im Spiel sind.“ Es gibt keine Belege für diese Vermutung. Daß Sommerfeld bis dahin jedes Jahr für den Nobelpreis nominiert worden war und diese Empfehlung von so berufenen

^[1] Brief [65].

^[2] Brief [82]; zwischen Januar 1923 und November 1924 sind keine Briefe erhalten.

^[3] Brief [132].

Fürsprechern wie Planck kam, aber nie von Bohr, verleiht dem Gerücht eine gewisse Berechtigung. Am nächsten scheint er dem Nobelpreis 1924 gewesen zu sein. Ein abwertendes Gutachten von Carl Wilhelm Oseen dürfte in diesem Jahr den Ausschlag gegeben haben. Darin wird Sommerfelds Atomtheorie mangelnde Stringenz und Logik vorgehalten:^[1] „[...] bei Sommerfelds starker – und bewußter – Abneigung gegen systematisches Denken ist es nur natürlich, daß seine Schöpfungen oft nur eine kurze Lebensdauer haben.“ Eine Antwort auf die Frage, ob Bohr bei diesem Gutachten die Hand im Spiel hatte, ist reine Spekulation. Angesichts seiner Rechtfertigungsversuche des Korrespondenzprinzips als zentralem heuristischen Gesichtspunkt in der Atomtheorie dürfte er jedoch die Vorgehensweise Sommerfelds ähnlich eingeschätzt haben wie Oseen.

Leitthemen

Der Briefwechsel zeigt deutlich die unterschiedliche Vorgehensweise der beiden. Er leide an „einem unglücklichen Hang alle Resultate in systematischer Reihenfolge erscheinen zu lassen“,^[2] schrieb Bohr an Sommerfeld. Dieser verlieh seiner ganz anderen Denkweise etwa in Briefen an Einstein Ausdruck, eigene Schwächen freimütig einräumend:^[3]

Sie grübeln mit Ihren Gedanken an den grundsätzlichen Fragen der Lichtquanten herum. Ich begnüge mich damit, weil ich zu jenem nicht die Kraft in mir fühle, den Einzelheiten des Quantenzaubers in den Spektren nachzugehen.

Sein Forschungsziel, ein umgrenztes Gebiet zu erklären, im Gegensatz zu Einsteins Suche nach den Grundlagen, zeigt ihre unterschiedliche Forschermentalität:^[4]

Ich war immer zufrieden, wenn ich einen gewissen Complex von Tatsachen mathematisch erklären konnte, ohne mich zu sehr zu beunruhigen, dass es andere Dinge giebt, die nicht hereinpassen. Einstein, der immer auf's Ganze blickt, macht sich das Leben schwerer.

^[1] Zitiert nach V. Telegdi. Veröffentlichung in Vorbereitung.

^[2] Brief [4].

^[3] A. Sommerfeld an A. Einstein, 17. Oktober 1921. Jerusalem, AEA, Einstein.

^[4] A. Sommerfeld an J. Sommerfeld, 24. Dezember 1928. München, Privatbesitz.

Es kommt also nicht von ungefähr, daß Sommerfeld das Stigma des Unsystematischen anhaftet. Weder die verschiedenen Auflagen von *Atombau und Spektrallinien* noch seine anderen Bücher und Artikel lassen auf tieferliegende, metaphysisch oder philosophisch begründete Motive schließen. Seine emphatische und gern zitierte Äußerung, die Quantentheorie sei das „geheimnisvolle Organon, auf dem die Natur die Spektralmusik spielt“, ist eher als Überschwang an Begeisterung denn als ein Bekenntnis zu einer tieferen Mystik hinter allem Naturgeschehen zu werten. Sommerfeld, selbst ein guter Klavierspieler, liebte musikalische Metaphern: „Was wir heutzutage aus der Sprache der Spektren heraushören“, sei eine „Sphärenmusik des Atoms“ und ein Hinweis auf eine „bei aller Mannigfaltigkeit zunehmende Ordnung und Harmonie.“^[1] Bei anderer Gelegenheit fühlte er sich jedoch genötigt, solche Bilder zu relativieren. Der Hinweis auf die „musikalische Schönheit“, schrieb er an Zeeman zu ganz ähnlichen Äußerungen in seiner Veröffentlichung über „Ein Zahlenmysterium in der Theorie des Zeemaneffektes“, sei dem Andenken des kurz vorher verstorbenen, als Musikliebhaber wie Kristallphysiker gleichermaßen geschätzten Woldemar Voigt geschuldet.^[2]

Es wäre daher irreführend, die Beweggründe für Sommerfelds Atomtheorie in pythagoreischer Zahlenmystik oder einem naturphilosophischen Harmoniebedürfnis zu suchen. Gleichzeitig liegt es auf der Hand, daß er seine eigene Forscherpersönlichkeit kokett herunterspielte, wenn er sich Einstein gegenüber als jemanden charakterisierte, der „nur die Technik der Quanten fördern“ könne.^[3] Seine vielen Arbeiten zur Atomtheorie weisen durchaus Leitthemen auf, die ein tiefes Gespür für die offenen Grundlagenfragen vertragen.

Das älteste dieser Leitthemen für die Erforschung des Atoms ist der Zeemaneffekt. Sommerfeld war sich darüber im Klaren, daß die von ihm und Debye 1916 publizierte Theorie dem anomalen Zeemaneffekt nicht gerecht wurde. Sie versagte schon beim einfachsten Fall, dem Wasserstoffatom, wo aufgrund seiner Feinstrukturtheorie ein anomaler Zeemaneffekt auftreten sollte. Der „hübsche Zerlegungssatz“, mit dem er durch die Verbindung des Ritzschen Kombinationsprinzips und der Rungeschen Regel ein neues heuristisches Instrument gewann, bereitete ihm sichtlich Vergnügen, auch wenn „eigentlich nichts Quantentheoretisches darin“ enthalten sei, „sondern nur eine empirische Feststellung“.^[4] Zehn Wochen später meinte er gegen-

^[1] [Sommerfeld 1919a, Vorwort, S. VIII].

^[2] Brief [19]. [Sommerfeld 1920c].

^[3] Brief [50].

^[4] Brief [34].

über Einstein:^[1] „Über die Spektrallinien weiss ich nicht viel Neues. Das Beste ist, dass der ‚magneto-optische Zerlegungssatz‘, den ich kürzlich in den *Annalen* veröffentlichte, weitere Kreise zieht und zu einer ‚vollständigen Constitutionsformel der anomalen Zeemanzerlegungen‘ führt“.

Sommerfelds Ergebnisse beruhten zu einem wesentlichen Teil auf den Experimenten von Ernst Back, den er als den „Vater des ganzen Gebietes“ auch gegenüber seinem Schüler Alfred Landé in Schutz nahm, als dieser mit einer Veröffentlichung Back um die Früchte seiner langjährigen Forschung zu bringen drohte.^[2] Back hatte in einem theoretischen Teil seiner Arbeit ganz ähnliche Gesetzmäßigkeiten zwischen den Quantenzahlen der verschiedenen Terme postuliert wie Landé. Weder Back noch Landé gelang es, die „Zahlen-Spielereien“^[3] im Rahmen eines physikalisch plausiblen Atommodells zu deuten. Doch die von Paschen und Back in den Experimenten gefundene Bestätigung verlieh diesen Forschungen eine eigene Dynamik. Mit einer quantentheoretischen Umdeutung der klassischen Theorie Voigts von 1913 suchte Sommerfeld nach einer einheitlichen Darstellung, die den empirisch bewährten Formeln neuen Sinn geben sollte. „Wir sind hier in München in der letzten Zeit ganz besonders für die anomalen Zeeman-Effekte interessiert“, berichtete er Zeeman; er habe sich in einer Spezialvorlesung im Sommersemester 1922 davon überzeugt und dies auch in der neuen Auflage von *Atombau und Spektrallinien* zum Ausdruck gebracht, daß damit „all die merkwürdigen Zahlengesetze zusammenfassend“ erklärbar sind:^[4] „Ihr Effekt erweist sich immer mehr als wichtigster Führer durch die Atomphysik.“ Auf ähnliche Weise hatte er in seinem 1921 zusammen mit Back verfaßten Jubiläumsartikel zur 25-Jahr-Feier der Entdeckung des Zeemaneffekts seiner Zuversicht Ausdruck verliehen, „daß mit der Klärung der anomalen Zeemaneffekte und ihrer Gesetze zugleich eine tiefe Erkenntnis aus der Physik des Atoms gewonnen sein wird.“^[5]

Am Ende seiner Arbeit über die quantentheoretische Umdeutung der Voigtschen Theorie dankte Sommerfeld „Herrn stud. W. Heisenberg für seine erfolgreiche Mitarbeit an dem ganzen Problem der anomalen Zeemaneffekte“.^[6] Werner Heisenberg hatte im Wintersemester 1920/21 sein

[1] A. Sommerfeld an A. Einstein, 14. März 1921. Jerusalem, AEA, Einstein. Vgl. [Sommerfeld 1920a] und [Back 1921].

[2] Brief [38]. Siehe auch [Forman 1970], wo Sommerfelds Korrespondenz mit Landé über diese Angelegenheit abgedruckt und eingehend kommentiert ist.

[3] E. Back an A. Sommerfeld, 7. Juni 1921. München, DM, Archiv HS 1977-28/A, 8.

[4] Brief [46]; vgl. [Sommerfeld 1922b].

[5] [Sommerfeld und Back 1921, S. 916].

[6] [Sommerfeld 1922b, S. 297].

Studium an der Universität München aufgenommen und von Anfang an Sommerfelds Aufmerksamkeit erregt. Unbeschwert von den jahrelangen, erfolglosen Bemühungen um ein modellhaftes Verständnis des anomalen Zeemaneffekts, gab Heisenberg den empirischen Gesetzmäßigkeiten eine eigenwillige Deutung. Er interpretierte die von Landé aufgestellte Formel für das Zustandekommen der Aufspaltung aus den Quantenzahlen der verschiedenen Terme, indem er zwischen den Drehimpulsbeiträgen von Atomhülle und Atomrumpf unterschied. Nach diesem „Rumpfmodell“^[1] konnten halbzahlige Quantenzahlen für den Drehimpuls auftreten, die sich in der Summe von Rumpf und Valenzelektronen zu den gewohnten ganzzahligen Quantenzahlen addierten, jedoch bei den magnetischen Aufspaltungen der Terme eine halbzahlige Ordnung zur Folge hatten. „Besonders überzeugend“ fand Sommerfeld, daß Heisenberg mit einer ganz anderen Ableitung das Ergebnis seiner Umdeutung der Voigtschen Theorie bestätigte. „Heisenberg ist Student im 3. Semester und ungeheuer begabt“, schrieb er Bohr.^[2] „Ich konnte seinen Publikationseifer nicht länger zügeln und finde seine Resultate so wichtig, dass ich ihrer Veröffentlichung zustimmte, trotzdem die Form der Ableitung noch nicht die definitive sein dürfte.“ Einstein gegenüber kommentierte er den von Heisenberg erzielten Fortschritt mit der Bemerkung:^[3] „Alles klappt, bleibt aber doch im tiefsten Grunde unklar.“ Im Nachsatz machte er den so gern zitierten Ausspruch, er könne nur die Technik der Quanten fördern, Einstein müsse ihre Philosophie machen.

Heisenbergs Arbeit „Zur Quantentheorie der Linienstruktur und der anomalen Zeemaneffekte“ erschien unmittelbar im Anschluß an Sommerfelds Umdeutung der Voigtschen Theorie und brachte dadurch auch nach außen zum Ausdruck, daß in München ein neuer Anlauf für das Verständnis von Mehrelektronensystemen unternommen wurde. Heisenbergs Briefe an Sommerfeld zwischen Oktober 1922 und Januar 1923, während Sommerfeld eine Gastprofessur an der University of Wisconsin in Madison bekleidete, zeigen die ganze Breite atomtheoretischer Fragen im Vorfeld der Quantenmechanik; daneben ist die Turbulenz, Heisenbergs Doktorarbeit, das zweite Hauptthema.^[4]

Eines der fordernden Probleme der Atomphysik betraf das Helium. Keines der bis dahin entworfenen Modelle konnte erklären, warum das Heliumspektrum zwei Arten von Linien aufweist, eine Serie von Singulets und eine

^[1] [Cassidy 1979a].

^[2] Brief [53] und [Heisenberg 1922b]. Siehe auch [Cassidy 1979a].

^[3] Brief [50].

^[4] Briefe [60], [61] und [62]. Zu Sommerfelds Gastprofessur siehe Seite 35.

aus Dubletts (die sich später als Triplets erwiesen). Der erste Typ wurde einem als Parahelium bezeichneten Zustand des Heliumatoms zugeordnet, der zweite dem Orthohelium. Bohr versuchte zusammen mit H. A. Kramers jahrelang vergeblich, dieses Problem zu lösen. Anders als beim „Aufbauprinzip“, das auf induktivem Weg durch Plausibilitätsbetrachtungen gewonnen wurde, stellte das Helium als das nach dem Wasserstoff einfachste Atom eine Herausforderung für quantitative Berechnungen dar. Schon 1916 glaubten sich Bohr und Kramers einem Ergebnis nahe, doch es ergaben sich Widersprüche und die Theorie blieb unveröffentlicht.^[1] Bohr gab 1921 und 1922 auf dem Solvaykongreß und den Göttinger „Bohr-Festspielen“ einen Abriß dieser Theorie. Sie beruhte auf der Annahme zweier gegeneinander um 120° geneigter 1_1 -Elektronenbahnen. Das Modell sagte jedoch eine zu geringe Ionisierungsenergie voraus und erwies sich, wie Kramers 1923 in einer detaillierten Arbeit zeigte, als instabil.^[2]

In Göttingen, wo Heisenberg das Wintersemester 1922/23 während der Abwesenheit Sommerfelds verbrachte, war die Übertragung himmelsmechanischer Methoden auf die Atomtheorie ein besonderer Forschungsschwerpunkt. Aus Heisenbergs Briefen geht hervor, daß Sommerfeld und Heisenberg eine gemeinsame Arbeit zum Heliumproblem planten. Unter dem Einfluß Borns wurde die Angelegenheit für Heisenberg jedoch zu einer mathematischen Detailstudie über Himmels- und Quantenmechanik, die schließlich zu einer mit Born abgefaßten Publikation führte.^[3] Sommerfeld gab seine eigenen Überlegungen in Druck, nachdem ihm Heisenberg den berechneten Wert des Ionisierungspotentials mitgeteilt hatte, der ausgezeichnet mit dem experimentell gemessenen übereinstimmte.^[4] Der Euphorie folgte jedoch bald neue Ernüchterung. Als Sommerfeld in der Neuauflage von *Atombau und Spektrallinien* das Heliumproblem ansprach und das eigene Modell vorstellte, bezeichnete er seine Publikation als „vorläufige Mitteilung“, sämtliche früheren Versuche als „gescheitert“ und schloß nach einer Erörterung der Schwierigkeiten:^[5] „Wir werden daher nach wie vor nicht von einem Heliummodell, sondern von dem Heliumproblem zu sprechen haben.“

^[1] Im Niels Bohr Archiv liegen dazu 200 Manuskriptseiten mit Berechnungen.

^[2] Vgl. [Bohr 1977, S. 36-39]; darin werden auch die einschlägigen Publikationen von E. C. Kemble, J. H. van Vleck und H. A. Kramers angeführt: Eine ausführliche Diskussion findet sich in [Small 1971] sowie [Mehra und Rechenberg 1982a, Kap. IV.2].

^[3] Den Auftakt bildete Brief [61]; vgl. auch [Born und Heisenberg 1923] sowie [Born 1925, S. 327-341].

^[4] [Sommerfeld 1923c].

^[5] [Sommerfeld 1924b, S. 206].

Das Versagen aller an der bisherigen Physik orientierten Modellrechnungen über das Heliumproblem warf für Bohr erneut die Grundsatzfrage nach der Beziehung zwischen klassischer Mechanik und Quantentheorie auf. „Bohr will die Mechanik jedenfalls nicht mehr gelten lassen; d. h. nur mit gewisser Annäherung“, schrieb Heisenberg.^[1] Für Sommerfeld war dies ein zu weitgehender Schluß. Seine pragmatische Ausrichtung nahm an unvereinbar erscheinenden Positionen keinen Anstoß, solange sie diskussionswürdige Ergebnisse hervorbrachten. Dadurch hielt er die Atomtheorie offen für Ansätze ganz unterschiedlicher Art. In seiner gemeinsam mit Heisenberg verfaßten Arbeit über „Die Intensität der Mehrfachlinien und ihrer Zeemankomponenten“ wurde zum Beispiel das Bohrsche Korrespondenzprinzip gewürdigt, denn es habe sich „vorzüglich bewährt“.^[2] In einer kurz zuvor erschienenen Veröffentlichung, ebenfalls mit Heisenberg als Koautor, hatten sie – wieder unter Zuhilfenahme des Korrespondenzprinzips – einen Einwand Bohrs gegen die Sommerfeldsche Interpretation der Röntgendoublets schwerer Atome widerlegt.^[3] Obwohl in beiden Arbeiten aus dem Korrespondenzprinzip Folgerungen abgeleitet wurden, mochte ihm Sommerfeld keinen zentralen Stellenwert für die Atomtheorie einräumen. Für ihn sei „die Bohr’sche Korrespondenz mehr u. mehr unbefriedigend, so unentbehrlich sie ist“, äußerte er sich ein Jahr später gegenüber Laue.^[4]

Damit reduzierte er seine eigenen Aussagen, die er seit der zweiten Auflage von *Atombau und Spektrallinien* für das Korrespondenzprinzip öffentlich abgegeben hatte, zu Lippenbekenntnissen. Das bedeutet nicht, daß er ihm – wie auch anderen, nicht weiter begründbaren Hypothesen und Modellen – die Nützlichkeit für den Fortgang der Atomtheorie abgesprochen hätte. Gerade der anomale Zeemaneffekt zeigte, wie weit man selbst mit nachträglich als falsch bewerteten Prinzipien und Modellen kommen konnte. Jedoch nicht diese, sondern die daraus gezogenen zahlenmäßigen Konsequenzen sah er als das Wesenselement seiner Atomtheorie an. „Wir haben in der letzten Zeit wiederholt erfahren, dass die arithmetischen Regelmäßigkeiten viel weiter reichen als nach den Modellvorstellungen zu erwarten wäre“, stellte er im Zusammenhang mit seiner gerade aufs neue bestätigten Formel für die Röntgendoublets fest.^[5]

^[1] Brief [64].

^[2] [Sommerfeld und Heisenberg 1922b, S. 154].

^[3] [Sommerfeld und Heisenberg 1922a].

^[4] Brief [69].

^[5] A. Sommerfeld an A. Landé, 20. April 1924. Berlin, SB, Nachlaß 70 Landé, Sommerfeld.

Die aus den Zeemaneffekten gezogenen Schlüsse hatten entscheidend zu dieser Auffassung beigetragen. In einem unmittelbaren Zusammenhang damit standen die sogenannten Multipletts, die ab 1922 zu einem weiteren Leitthema der Sommerfeldschule wurden. Bei den ersten drei Gruppen im Periodensystem herrscht ein Seriencharakter vor. Die entsprechende Serienformel kann als Differenz eines konstanten Terms und eines variablen Laufterms dargestellt werden. Dagegen ergab sich bei den hinteren Gruppen nur noch eine ungeheure Linienvermehrung. Sommerfeld hatte 1920 in seiner Arbeit über den magnetooptischen Verschiebungssatz eine neue „innere Quantenzahl“ eingeführt,^[1] mit der er die zwischen zwei Serientermen theoretisch möglichen Kombinationen unter Anwendung von Auswahlregeln auf die geringere Zahl tatsächlich beobachtbarer Serienlinien reduzieren konnte. In der Arbeit „Über die Deutung verwickelter Spektren (Mangan, Chrom usw.) nach der Methode der inneren Quantenzahlen“ konnte er zeigen, „wie sich das früher entworfene Schema bei entsprechender Erweiterung an den viel komplizierteren Linienstrukturen bewährt, die am Ende des periodischen Systems vorkommen.“^[2]

Der spanische Spektroskopiker Miguel Catalán hatte für die Liniengruppen im Manganspektrum den Begriff „Multipletts“ geprägt. Sommerfeld traf Catalán während seiner Spanienreise im Frühjahr 1922 und war von dessen experimenteller Forschung tief beeindruckt.^[3] Ähnlich wie 1916 in der Feinstruktur bei den Wasserstofflinien erkannte Sommerfeld nun in den Multipletts eine „Komplexstruktur“ der Serienlinien, die von einer geheimnisvollen zahlenmäßigen Ordnung zeugte. „Nirgends tritt der arithmetische Charakter der Quantentheorie einfacher und schöner zutage als in der Komplexstruktur der Serienterme“, leitete er das auf weit über hundert Seiten angeschwollene Kapitel über die Multipletts in der vierten Auflage von *Atombau und Spektrallinien* ein; darin konnte er bereits auf eine Vielzahl neuester Messungen verweisen, die seine mit der inneren Quantenzahl entworfene Ordnungsstruktur bestätigten. „Je komplexer die Struktur eines Liniengebildes ist, desto leichter ist es zu erkennen“, schrieb er zu einer Tabelle über den systematischen Wechsel zu immer höheren Multipletts, von den Dubletts bei Kalium bis zu den Quartetts, Sextetts und Oktetts bei Mangan.^[4]

^[1] [Sommerfeld 1920a].

^[2] [Sommerfeld 1923a, S. 32].

^[3] [Sánchez-Ron 1983].

^[4] [Sommerfeld 1924b, S. 575-702, besonders S. 596-597 und Tab. 57].

Es bereitete Sommerfeld sichtlich Vergnügen, daß er mit seinem Ordnungsschema erneut in engen Kontakt mit Experimentatoren kam, neben Catalán und dessen Arbeitsgruppe in Madrid vor allem mit dem Spektroskopiker William F. Meggers vom National Bureau of Standards in Washington. In den Arbeiten seiner Schüler Otto Laporte und Karl Bechert, die in Washington und Madrid längere Forschungsaufenthalte verbrachten, fand diese Wechselwirkung einen sichtbaren Niederschlag.^[1]

Dank der einfachen zahlenmäßigen Ordnung in der Komplexstruktur der Serienspektren erhielt die „innere Quantenzahl“ einen festen Platz im Inventar atomtheoretischer Begriffe. Aber ihre modellhafte Deutung bereitete immer größere Schwierigkeiten. Bohr neigte anfänglich der Auffassung zu, in der Vielfachheit von Serienlinien wie zum Beispiel den Natriumdubletts deute sich eine Abweichung von der Zentralsymmetrie des von den Valenzelektronen verspürten elektrostatischen Feldes an.^[2] Sommerfeld glaubte nicht, „dass die Multipl.[etts] elektrischen Ursprungs sind“, sondern schloß sich zunächst der von Heisenberg mit dem Rumpfmolekülmodell nahegelegten Deutung an, wonach sich in der Vielfachheit einer Linie unterschiedliche Einstellungen der Drehimpulse von Rumpf und Valenzelektronen äußerten. „Sie werden daraus sehen“, schrieb er an Bohr zu einer Sendung neuer Arbeiten von ihm und Heisenberg, „dass wir den Ursprung der Termmultiplicitäten in's Magnetische legen.“^[3] Am stärksten wurde diese Deutung von Landé ausgebaut, doch Sommerfeld stimmte Landé nicht zu, was die Zuordnung der inneren Quantenzahlen zu den Termen anging. Grundsätzliche Schwierigkeiten mit der magnetischen Interpretation ergaben sich aus der Frage, ob die Dubletts der Röntgenspektren und der optischen Serienspektren gleichen Ursprungs seien. Erstere waren im Rahmen der Sommerfeldschen Feinstrukturtheorie nur vergrößerte Abbilder der relativistischen Aufspaltung des Wasserstoffelektrons, also nicht durch unterschiedliche Einstellungen von Drehimpulsen und magnetischen Momenten bedingt. An diesem „Dubleträtsel“ schieden sich die Geister.^[4]

Im Kern ging es bei Sommerfelds Zeemaneffekt- und Multiplettforchung – wie schon bei seinen früheren Bemühungen bei den Serien- und Röntgenspektren – um den Versuch, ein immer größeres und beinahe unüberschaubares empirisches Material theoretisch in den Griff zu bekommen. Solange

^[1] Briefe [86] und [91]. Der erhaltene Briefwechsel zwischen Sommerfeld und Meggers umfaßt 47 Dokumente zwischen 1921 und 1949; zur Korrespondenz mit der Madrider Arbeitsgruppe vgl. [Sánchez-Ron 1983].

^[2] [Bohr 1977, S. 282].

^[3] Brief [53].

^[4] [Forman 1968].

das Gebiet sich derart schnell und unvorhersehbar entwickelte, mißtraute Sommerfeld dem umgekehrten, von vorgefaßten Prinzipien ausgehenden deduktiven Weg. Erst wenn gesicherte zahlenmäßige Regeln vorlägen, seien tieferliegende physikalische Gesetze zu erkennen. Pauli reagierte auf die vierte Auflage von *Atombau und Spektrallinien*, am Vorabend der neuen quantenmechanischen Konzepte, die diese ältere Phase der Atomtheorie beendeten, mit dem Kommentar:^[1]

Bei der Darstellung der Komplexstruktur fand ich es besonders schön, daß Sie alles modellmäßige beiseite gelassen haben. Die Modellvorstellungen befinden sich ja jetzt in einer schweren, prinzipiellen Krise, von der ich glaube, daß sie schließlich mit einer weiteren radikalen Verschärfung des Gegensatzes zwischen klassischer und Quanten-Theorie enden wird.

Daß es Sommerfeld gelang, mithilfe der inneren Quantenzahl ohne nähere physikalische Deutung Ordnung in die Komplexstruktur der Serienspektren zu bringen, erregte einiges Aufsehen unter den Theoretikern. „Bewundernd stand ich vor Ihrer vollständigen Entwirrung der Multiplettintensitäten“, gratulierte Schrödinger, und dies „ohne eigentliches Modell“; er machte keinen Hehl daraus, welch große Mühe ihm selbst die verwickelten Zahlengesetze bereiteten, „und Sie haben dieselben in das Beobachtungsmaterial hineinkomponiert, so dass sie nun straff sitzen, wie eine Gardeuniform!“^[2] Noch heute sei es, so der Herausgeber von Sommerfelds *Gesammelten Schriften*, „für uns aufregend, das Kapitel über innere Quantenzahlen in der 4. Auflage von ‚Atombau und Spektrallinien‘ zu lesen, in der so vieles, was man über den Spin weiß, enthalten ist, ohne daß der Spin konzipiert wird.“^[3] Nicht weniger aufregend ist die Diskussion über die inneren Quantenzahlen im Briefwechsel mit Pauli, der 1925 in diesem Zusammenhang eine vierte, später als Spin identifizierte Quantenzahl postulierte und mit dem „Prinzip der 4 Quantenzahlen“ (dem später nach Pauli benannten Ausschlußprinzip) ganz nach Sommerfelds Geschmack weiter Ordnung in die Spektren brachte.^[4] Erst mit Pauliverbot und Spin gelang eine befriedigende Interpretation der auf induktivem Weg gefundenen Ordnungsschemata. Die innere Quantenzahl erwies sich als die Quantenzahl des Gesamtdrehimpulses, d. h. als die Resultierende aus Bahndrehimpulsen und Spin aller Atomelektronen. Mit dem Spin fanden die Spektren von Vielelektronenatomen, die von

^[1] Brief [83].

^[2] Brief [89].

^[3] [Sommerfeld 1968b, S. 680-681].

^[4] Briefe [78], [87] und [88]; vgl. [Heilbron 1983].

Heisenberg, Landé, Sommerfeld und anderen schon zutreffend formelmäßig beschrieben, aber noch nicht modellhaft interpretiert werden konnten, eine befriedigende Erklärung.^[1]

Doch nicht alle Leitthemen hatten mit der Ordnung der Spektren zu tun. Als Sommerfeld während seines USA-Aufenthaltes 1922/23 Zeuge der Entdeckung des Comptoneffektes wurde, zeigte er sich davon wie von kaum einem anderen atomphysikalischen Experiment beeindruckt. Daß er die Nachricht aus erster Hand erfuhr, mag sein Interesse daran noch gesteigert haben. Was ihn jedoch vor allem in Bann zog, war der nun aufs Neue heraufbeschworene Welle-Teilchen-Dualismus: „Hiernach würde die Wellentheorie für Röntgenstrahlen endgültig fallen zu lassen sein“, schrieb er an Bohr noch voller Unsicherheit, ob er mit dieser Nachricht eine Indiskretion beging und ob sie sich auch in weiteren Experimenten würde bestätigen lassen.^[2] Auch seiner Frau teilte er die Entdeckung mit:^[3] „Ich habe auch wissenschaftlich viel Interessantes gesehn, besonders eine neue Erfahrung über Röntgenstrahlen, die die ganze Lichttheorie umwirft.“

Zehn Jahre nach der Entdeckung der Röntgeninterferenz im Keller seines Instituts galt die Wellennatur der Röntgenstrahlen als gesicherter Tatbestand. Die von Compton beobachtete Streuung von Röntgenstrahlen an Elektronen schien aber nur eine Teilchendeutung zuzulassen. „Wie man jetzt die Kristallinterferenzen auffassen soll, ist sehr dunkel“, schrieb Sommerfeld nach seiner Rückkehr an Compton.^[4] Im selben Brief ließ er den Entdecker des Effektes auch wissen, daß er bei seinen weiteren Stationen in den USA „überall darüber vorgetragen (Pasadena, Berkeley, Bureau of Standards, Harvard, Columbia N.Y)“ habe; der Effekt „beschäftigt auch in Deutschland die wissenschaftliche Welt auf's lebhafteste.“ Ähnlich berichtete er auch nach Madison. Die „Beobachtung und Theorie von Compton“ interessiere ihn sehr, und als er kürzlich einige Tage mit Einstein zusammen gewesen sei, „haben wir hauptsächlich über diesen fundamentalen Gegenstand gesprochen.“^[5] Laue gegenüber bezeichnete er den Comptoneffekt als das gegenwärtig „wichtigste physikal.[ische] Geschehnis“:^[6] „Ich glaube nun wirklich mehr und mehr, dass die Wellentheorie (und Feldtheorie) zu verlassen ist.“ Als er kurz darauf Millikan zum Nobelpreis für das Jahr 1923 gratulierte, stellte er sich Compton schon als den Preisträger des nächsten

^[1] Beispielsweise Landéscher g-Faktor, Vektorgerüstmodell usw.

^[2] Brief [65]. Zur Entdeckungsgeschichte und Rezeption siehe [Stuewer 1975, S. 217-285].

^[3] A. Sommerfeld an J. Sommerfeld, 16. Februar 1923. München, Privatbesitz.

^[4] Brief [68].

^[5] Brief [67].

^[6] Brief [69].

Jahres vor:^[1] „Die ausserordentliche Bedeutung der Compton’schen Entdeckung, über die ich schon im vorigen Jahre keine Zweifel hatte und die sich inzwischen immer deutlicher gezeigt hat, würde dies rechtfertigen.“ Es erübrigt sich fast zu erwähnen, daß er dem Comptoneffekt auch in *Atombau und Spektrallinien* einen Ehrenplatz einräumte. „In der neuen Auflage meines Buches habe ich gleich im ersten Kapitel hinter Einsteins photoelektrischem Gesetz Ihren Versuch besprochen“, teilte er Compton mit.^[2]

Sommerfelds Reaktion auf den Comptoneffekt zeigt, daß es ihm bei aller Skepsis gegenüber der mehr durch Prinzipien geleiteten Vorgehensweise Bohrs durchaus um die Grundlagen und nicht nur um eine phänomenologische Ordnung in der Atomtheorie ging. Bei einem Vortrag über die „Grundlagen der Quantentheorie und des Bohrschen Atommodelles“ brachte er dies deutlich zum Ausdruck:^[3] „Jede grundlegende physikalische Theorie muß letzten Endes deduktiv vorgehen“, wobei die Betonung auf „letzten Endes“ liegt. Denn gleich darauf schränkte er ein, „daß die Quantentheorie noch nicht reif ist für eine rein deduktive Darstellung“. Bohr versuche „in seinem Korrespondenzprinzip die Quantentheorie eng an die klassische Strahlungstheorie anzuschließen“, kritisierte er das darin zum Ausdruck kommende deduktive Vorgehen, das „für alle neueren Entdeckungen Bohrs und seiner Schüler“ kennzeichnend sei. Er könne dies „nicht als endgültig befriedigend ansehen, schon wegen seiner Mischung quantentheoretischer und klassischer Gesichtspunkte“. Das jüngste Produkt dieser Kopenhagener Vorgehensweise, die Strahlungstheorie von Bohr, Kramers und Slater stufte er als einen „Kompromißstandpunkt“ zwischen Wellen- und Quantenvorstellung ein, während doch gerade die von Einstein verfochtene „radikale Lichtquantentheorie“ bei der Erklärung des Comptoneffekts ihren „schönsten Triumph“ feiere. Im ursprünglichen Vortragsmanuskript muß die Kritik noch um einiges deutlicher ausgefallen sein, denn Kramers reagierte stellvertretend für Bohr mit der Gegenfrage, „ob nicht gewissermassen ein Missverständnis eingeschlichen ist, was Bohr’s ganze Auffassung der Quantentheorie betrifft.“^[4] Was die neue Strahlungstheorie anging, bestätigte er Sommerfeld. Darin sei der Versuch gemacht worden, die Strahlungsphänomene zu beschreiben, „ohne dass der Strahlung selbst eine rätselhafte dualistische Natur (Quanten und Wellen) zugeschrieben wird“. Sommerfeld ant-

^[1] Brief [71]. A. H. Compton erhielt den Physiknobelpreis im Jahr 1927.

^[2] Brief [74].

^[3] [Sommerfeld 1924d] ist der Abdruck seines Vortrags vom 23. September 1924 bei der Naturforscherversammlung in Innsbruck; vgl. auch Brief [84].

^[4] Brief [77].

wortete, er habe bereits von sich aus seine Kritik am Korrespondenzprinzip „für den Vortrag und für den Druck abgeschwächt“. Was das Strahlungsproblem anging, entgegnete er lapidar:^[1] „Auf mich hat der Compton-Versuch, der so natürlich durch die Lichtquanten-Vorstellung wiedergegeben wird, einen grossen Eindruck gemacht.“

Wie sehr diese von Sommerfeld aufgeführten Grundfragen auch das Denken seiner Schüler bewegte, geht aus den Briefen Paulis und Heisenbergs hervor, die nach ihren Münchner und Göttinger Lehrjahren beide mit der Bohrschen Gedankenwelt in enge Berührung kamen. Pauli glaubte „nicht, daß die Kopenhagener Auffassung der Strahlungsphänomene einen wirklich nennenswerten Fortschritt bringt“, und war ganz im Einklang mit Sommerfeld davon überzeugt, daß „die Zukunft mehr den Lichtquanten gehört.“^[2] Heisenberg neigte eher dem Bohrschen Standpunkt zu:^[3] „Meine Arbeit bewegt sich sehr in den Bahnen des Korrespondenzprinzips [...] Im übrigen glaub ich aber immer mehr, dass die Frage ‚Lichtquanten oder Korrespondenzprinzip‘ nur eine Wortfrage ist. Alle Effekte in der Quantentheorie müssen ja ihr Analogon in der klassischen Theorie haben, denn die klassische Theorie ist doch *fast* richtig; also haben alle Effekte immer zwei Namen, einen klassischen u. einen quantentheoretischen u. welchen man vorzieht, ist eine Art Geschmackssache.“

Repräsentant deutscher Wissenschaft

Nach dem Ersten Weltkrieg wurden wissenschaftliche Erfolge – mehr noch als zu anderen Zeiten und besonders in Deutschland – als ein Ausweis nationaler Größe gewertet. Entsprechend galt die Verleihung der Nobelpreise an Max Planck und Johannes Stark als ein Sieg deutscher Wissenschaft. Nicht nur national gesinnte Deutsche, sondern auch befreundete Physiker aus dem ehemals neutralen Ausland wie der Niederländer Pieter Zeeman empfanden so:^[4] „Die Siege der deutschen Wissenschaft werden doch schliesslich überall anerkannt werden müssen. Die diesjährige Verteilung der Nobelpreise schien mir eine gerechte zu sein, und diese Anerkennung des Auslands wird auch bei Ihnen in weiteren Kreisen Freude erregt haben.“

Sommerfeld fiel in dieser Situation eine Rolle als Repräsentant deutscher Wissenschaft zu. „Die Ausländer sprechen begeistert von dem Fortschritt

^[1] Brief [77].

^[2] Brief [80].

^[3] Brief [81].

^[4] Brief [17]; vgl. allgemein [Metzler 1996].

der Physik, der in Deutschland trotz des Krieges gemacht ist“, schrieb Paschen an Sommerfeld:^[1] „Auch aus Amerika habe ich Briefe, welche die Bewunderung ausdrücken über die grossen Erkenntnisse in der Physik, die in den letzten Jahren von Deutschen errungen seien. Einstein’s und Ihre Arbeiten spielen in den dortigen Versammlungen eine sehr grosse Rolle.“

Trotz des Boykotts deutscher Wissenschaft auf offizieller Ebene wurde Sommerfeld zu Auslandsaufenthalten eingeladen, die ihm Gelegenheit boten, Deutschland zu repräsentieren. Nach der Skandinavienreise im Herbst 1919 standen im Frühjahr 1922 Gastvorträge in Spanien auf dem Programm. Die Briefe machen deutlich, in welchem Ausmaß er sich als ein Vertreter deutscher Wissenschaft fühlte. Nachdem er „das feindliche Frankreich ohne Zwischenfall passiert“ hatte, genoß er die in Barcelona und Madrid erfahrene deutschfreundliche Gesinnung mit um so größerer Genugtuung.^[2] Sein Gastgeber in Barcelona, der Physiker F. Esteve Terradas, sei ein „glühender Deutschenfreund. Die Zuversicht in Deutschlands Zukunft ist allgemein.“^[3] Die nächste Reise führte Sommerfeld für ein halbes Jahr zu Gastvorlesungen in die USA:^[4]

Die Wisconsin-University in Madison hat mich eingeladen, die daselbst vor dem Kriege errichtete Karl-Schurz-Professur, die satzungsgemäss von einem Deutschen zu versehen ist, für die Monate September bis Januar zu übernehmen.^[5] Ausserdem haben mich bereits die Physikalischen Institute der Harvard University in Cambridge und der Universität in Chikago, die von der Einladung der Wisconsin-Universität gehört hatten, zu kürzeren Vortragsreihen aufgefordert. Da ich es für meine Pflicht halte, diesen Einladungen zu folgen, bitte ich das Staatsministerium um Urlaub für das kommende Wintersemester.

Sommerfeld bemühte sich auch selbst um Einladungen. So informierte er etwa seinen Schüler Epstein, der kurz zuvor eine Professur am California Institute of Technology (CalTech) in Pasadena erhalten hatte:^[6] „Sie werden jedenfalls die Möglichkeit überlegen, ob wir uns bei dieser Gelegen-

^[1] *F. Paschen an A. Sommerfeld, 16. Juni 1920. München, DM, Archiv HS 1977-28/A, 253.*

^[2] *A. Sommerfeld an J. Sommerfeld, 25. März 1922. München, Privatbesitz.*

^[3] *A. Sommerfeld an J. Sommerfeld, 1. April 1922. München, Privatbesitz.*

^[4] *A. Sommerfeld an das Bayerische Kultusministerium, 4. Juli 1922. München, DM, Archiv NL 89, 004.*

^[5] [Klenze 1929].

^[6] *A. Sommerfeld an P. Epstein, 29. Juli 1922. CalTech, Epstein 8.3.*

heit sehen können.“ Natürlich wolle er sich „als Deutscher nicht anbieten“, und Epstein solle diesen Brief auch nicht „als Wink mit dem Zaunpfahl nehmen, sondern nur als Andeutung der obwaltenden Möglichkeiten.“ Von den Universitäten in den USA, die auf diese oder eine andere Weise von Sommerfelds Amerikaaufenthalt erfuhren, ließ sich kaum eine die Möglichkeit entgehen, Sommerfeld für Gastvorträge einzuladen. Das übliche Vortragsthema sei „atomic structure“, schrieb er an Felix Klein:^[1] „Auf dieses Thema bin ich in Amerika abgestempelt. Alle Universitäten, zu denen ich eingeladen bin, wollen hierüber etwas hören. Meine erste Einladung nach auswärts führt mich nach Evanstone, Northwestern Un. of Chikago.“ Hier hatte Klein 1893 im Anschluß an den zeitgleich mit der Weltausstellung in Chicago abgehaltenen Internationalen Mathematikerkongreß Vorlesungen gehalten. Die Liste der Einladungen umfaßte außerdem die University of Illinois in Urbana, die University of Kansas, das CalTech, die University of California in Berkeley, das National Bureau of Standards in Washington, DC, die Cornell University in Ithaca, die Harvard University in Cambridge, Massachusetts, sowie die Forschungslaboratorien von Western Electric in New York und General Electric in Schenectady. Gewöhnlich hielt er nur einen oder zwei Vorträge, meist in englischer Sprache.

Den nach Madison längsten Aufenthalt verbrachte er am National Bureau of Standards, wo der Atomphysik besonderes Interesse entgegengebracht wurde. Der dortige Spektroskopiker William F. Meggers hatte schon 1921 mit Sommerfeld Kontakt aufgenommen und sein Interesse erläutert:^[2]

For the present I am concentrating on the standardization of methods of spectral analysis. This is for commercial and industrial applications and is intended to gain recognition for practical spectroscopy and thereby justify some of our researches in Pure Science. I am anxiously awaiting the third edition of your marvelous book to make its appearance; the earlier editions have given us much inspiration for experimental work.

Die Historiker des National Bureau of Standards fanden den Besuch Sommerfelds bemerkenswert genug, um ihn in der Geschichte dieser Einrichtung noch mehr als 40 Jahre später zu erwähnen.^[3] Da es sich um eine staatliche Behörde handelte, waren auch bürokratische Formalitäten einzuhalten. „Heute habe ich einen Eid auf die Verfassung der U.S.A. ablegen müssen.

^[1] A. Sommerfeld an F. Klein, 5. November 1922. Göttingen, NSUB, Klein 11.

^[2] Brief [48].

^[3] [Cochrane 1966, S. 478].

Ich bin förmlich angestellt, für 10 Tage“, berichtete Sommerfeld seiner Frau halb stolz, halb belustigt.^[1] Er fand die ihm zuge dachte Beratertätigkeit, „sehr befriedigend“, seine Arbeit werde auch „sehr geschätzt“, was ihm allerdings etliche Mühe bereite:^[2]

Jeder will mir seinen Kram vortragen, man reisst sich um mich. Dass ich nicht in Stücke gehe, ist ein Wunder. Ausgesucht zuvorkommende Behandlung. Ich spreche jetzt auch politisch ganz offen mit den Leuten. Alles hat hier einen etwas officielleren Anstrich [. . .]

Als Sommerfeld viele Jahre später noch einmal auf seine Beziehungen zu amerikanischen Physikern zu sprechen kam, war ihm das politische Klima noch immer präsent: „Der Boden war im Jahre 1922 natürlich noch heiß: Politische Gespräche wurden besser vermieden“; man sei ihm fast ausnahmslos sehr freundlich begegnet, nur ein einziger „hervorragender Fachgenosse“ sei ihm damals „unfreundlich aus dem Wege gegangen“.^[3] Um wen es sich dabei handelte, geht aus den Briefen an seine Frau hervor:^[4] „Die erste Unfreundlichkeit, die ich in Amerika erfuhr kam via Kunz: Prof. Gale von Chikago, der mich via K.[unz] zu 3 or 4 lectures eingeladen hatte, sagt via K.[unz] ohne Motivierung ab. Offenbar steckt Michelson dahinter, ein rechter Deutschenfresser, polnischer Jude.“

Selbst bei Kollegen, mit denen Sommerfeld vor dem Krieg sehr herzlich verkehrt war, war die Anknüpfung neuer Beziehungen nicht ohne Probleme. Von einer Reise in die Niederlande im Frühjahr 1924 berichtete er seiner Frau, Lorentz sei „sehr liebenswürdig“ gewesen:^[5] „Natürlich war alle Politik streng ausgeschaltet zwischen uns. Ähnlich ist es bei Zeeman – menschlich vertraulich und einhellig, politisch vorsichtig und zurückhaltend.“ Wie tief das politische Klima der Nachkriegszeit Sommerfelds Gefühlslage beeinflusste, drückt besonders ein Brief aus, den er seiner Frau zur silbernen Hochzeit schrieb. Das „verhängnisvolle Ende des Krieges und – fast zusammenfallend mit dem fürchterlichen Frieden – der grosse Schmerz unseres Lebens“, so fügte sich ihm das persönliche Leid um den tödlich verunglückten Sohn zusammen mit der als Schmach empfundenen Nachkriegssituation Deutschlands.^[6] Die Vorkriegszeit erschien ihm als „ein schönes Kapitel

[1] A. Sommerfeld an J. Sommerfeld, 2. März 1923. München, Privatbesitz.

[2] A. Sommerfeld an J. Sommerfeld, 9. März 1923. München, Privatbesitz.

[3] [Sommerfeld 1945b].

[4] A. Sommerfeld an J. Sommerfeld, 22. Oktober 1922. München, Privatbesitz.

[5] A. Sommerfeld an J. Sommerfeld, 1. April 1924. München, Privatbesitz.

[6] A. Sommerfeld an J. Sommerfeld, 5. Dezember 1922. München, Privatbesitz.

der Vergangenheit, das nicht wieder lebendig werden wird, so wenig wie die schönen alten Zeiten, da Deutschland gross und gesund war, da wir jung waren und da unser prächtiger Ucki lebte!“^[1] Mit dieser wehmütigen Beschwörung der Vergangenheit gratulierte er Debye zu dessen Berufung nach Zürich. Andere sahen die politische Lage ähnlich. Hilbert klagte 1920 in einem Brief:^[2] „Es ist ein Jammer, wie in Deutschland sich seit nahezu 6 Jahren Niemand findet, der genug Herz u. Verstand hat, um den Sturz in den Abgrund abzuwenden.“

Im Rahmen der Physik versuchte Sommerfeld in den beiden ersten Nachkriegsjahren als Vorsitzender der Deutschen Physikalischen Gesellschaft (DPG) in diesem Sinne sein Möglichstes. Gelegenheiten dazu gab es reichlich. Die DPG war in einem Umstrukturierungsprozeß begriffen. Aus der im 19. Jahrhundert als Berliner Physikergesellschaft gegründeten Organisation wurde erst allmählich eine Vereinigung, durch die sich auch die nicht in Berlin ansässigen Physiker vertreten fühlten. Nominell war die „Physikalische Gesellschaft zu Berlin“ seit 1899 als „Deutsche Physikalische Gesellschaft“ tätig, doch de facto vollzog sich die Umstellung erst in den Jahren vor und nach dem Ersten Weltkrieg.^[3] Mit einer am 1. Januar 1920 in Kraft getretenen neuen Satzung wurde eine Dezentralisierung beschlossen, die in Gestalt von regionalen „Gauvereinen“ den Interessen in den verschiedenen Landesteilen gerecht werden sollte. Zwei Wochen später wurde unter Sommerfelds Vorsitz in München der erste dieser Gauvereine gegründet; im Oktober 1921 wurde als letzter der Gauverein Berlin ins Leben gerufen. Anfang 1924 waren in der DPG 1 300 Mitglieder organisiert, davon 360 im Gauverein Berlin, 94 in Hessen, 60 in München, 120 in Niedersachsen, 55 in Prag und 90 in Wien.^[4] Weitere Maßnahmen betrafen die angemessene Repräsentation der Industriephysiker, die immerhin zwei Drittel der Mitglieder ausmachten. Am 9. Juni 1919 wurde die „Deutsche Gesellschaft für Technische Physik“ gegründet, die zwar als Organisation auf Eigenständigkeit bedacht war, jedoch in der Praxis eng mit der DPG kooperierte. Als besonders reformbedürftig erwies sich das Zeitschriftenwesen, sowohl hinsichtlich der Referateorgane als auch wegen der Veröffentlichung von wissenschaftlichen Originalabhandlungen.

Die entscheidenden Weichenstellungen fanden unter dem Vorsitz von Sommerfeld in der Zweijahresperiode 1919 und 1920 statt. Bei vielen Vor-

^[1] Brief [24].

^[2] Brief [18].

^[3] Siehe auch Brief [134] in Band 1.

^[4] [Hermann 1995, S. F-78–F-79], ausführlich [Forman 1967, S. 142-205].

standssitzungen ließ er sich zwar von seinem Berliner Kollegen Heinrich Rubens vertreten, doch bei der Beratung der neuen Statuten, in denen die neue Struktur definitiv festgeschrieben wurde, nahm er die Regie selbst in die Hand.^[1] Dennoch gelang es ihm nicht immer, den Streit zwischen den Berliner und Nichtberliner Physikern zu schlichten. Er entzündete sich meist an Einzelfragen, wie etwa der Benennung von Zeitschriften. „Der neue Titel ‚Z[e]itschr.[ift] f.[ür] Physik‘ macht mir viel Sorge u. Schreiberei“, wandte er sich im Dezember 1919 an Einstein:^[2] „W. Wien hat bereits seinen Austritt aus der Gesellschaft angemeldet, weil er diese neue Ztschr. ohne irgend eine vorherige Nachricht als Unfreundlichkeit gegen die Ann.[alen der Physik] empfindet.“ Planck wollte das seine dazu beitragen, um „Wiens und Ihre Auffassung nach Kräften zu vertreten“ und „über diese Krisis“ hinwegzukommen.^[3] Sommerfeld schrieb vor der Fahrt zu einer DPG-Sitzung an W. Wien, er „rede naturgemäß zu den Berlinern anders wie zu Ihnen u. glaube an ihre Unschuldsbeteuerungen nur teilweise“; daß Wien ihm gegenüber bereits Kompromißbereitschaft signalisiert hatte und sich „im Notfall mit der ‚Zeitschr.‘ einverstanden erklären“ würde, wolle er „nicht sogleich bekannt geben.“^[4]

Die Auseinandersetzungen in der deutschen Physikerschaft nahmen vielfältige Formen an und wurden nicht nur bei den DPG-Vorstandssitzungen in Berlin ausgetragen. Als eine dezidiert Antiberliner Vereinigung rief Johannes Stark im Frühjahr 1920 die „Fachgemeinschaft der deutschen Hochschullehrer für Physik“ ins Leben. Sie sorgte bei der Naturforscherversammlung 1920 in Bad Nauheim für Aufsehen und wurde als weiteres Indiz dafür gewertet, „daß in der Physik ein süddeutscher Partikularismus existiert“.^[5] Bei dieser Versammlung kam es auch zu einer spektakulären Debatte Einsteins mit den Gegnern der Relativitätstheorie, die kurz vorher mit einer Großveranstaltung in der Berliner Philharmonie für Schlagzeilen gesorgt hatten. Laue berichtete Sommerfeld am Tag danach, dies sei „eine der 20 angekündigten Protestversammlungen gegen die Relativitätstheorie“ gewesen, die von einer „Arbeitsgemeinschaft deutscher Naturforscher“ organisiert worden sei.^[6] Sommerfeld möge bei der bevorstehenden Nauheimer Tagung eine Resolution gegen diese von einem „Schieber“ namens Weyland

^[1] Brief [15].

^[2] A. Sommerfeld an A. Einstein, 13. Dezember 1919. Jerusalem, AEA, Einstein.

^[3] M. Planck an A. Sommerfeld, 15. Dezember 1919. München, DM, Archiv HS 1977-28/A, 263.

^[4] A. Sommerfeld an W. Wien, 27. Dezember 1919. München, DM, Archiv NL 56, 010.

^[5] M. Born an F. Klein, 21. November 1920, zitiert nach [Richter 1973, S. 196].

^[6] Brief [25]; vgl. auch [Kleinert 1993].

organisierte Kampagne veranlassen und überlegen, „wie das einzuleiten ist. Wenn etwas noch geeignet ist, Ihren Eifer anzuregen, so ist es gewiß die Mitteilung, daß Einstein und seine Frau fest entschlossen zu sein scheinen, wegen dieser Anfeindungen Berlin und Deutschland überhaupt bei nächster Gelegenheit zu verlassen.“^[1] Sommerfeld schilderte Einstein seine Empfindungen:^[2] „Mit wahrer Wut habe ich, als Mensch und als Vorsitzender der Phys. Ges., die Berliner Hetze gegen Sie verfolgt.“ Da es Weyland verstanden hatte, renommierte Physiker wie Philipp Lenard und Ernst Gehrcke gegen Einstein zu mobilisieren, nahm Einstein die Angelegenheit anfangs sehr ernst. Er habe diesen Angriffen „zu viel Bedeutung zugeschrieben“, antwortete er Sommerfeld, da er geglaubt habe, „dass ein grosser Teil unserer Physiker dabei beteiligt sei. So dachte ich wirklich zwei Tage lang an ‚Fahnenflucht‘, wie Sie das nennen.“^[3] Das Berliner Tageblatt vom 27. August 1920 hatte die Meldung verbreitet, Einstein wolle das Land verlassen, und eine Entgegnung Einsteins veröffentlicht, wonach „unter den Physikern von internationaler Bedeutung nur Lenard zu nennen“ sei, der sich als ein „ausgesprochener Gegner der Relativitätstheorie“ geäußert habe:^[4]

Ich bewundere Lenard als Meister der Experimentalphysik; in der theoretischen Physik aber hat er noch nichts geleistet, und seine Einwände gegen die allgemeine Relativitätstheorie sind von solcher Oberflächlichkeit, daß ich es bis jetzt nicht für nötig erachtet habe, ausführlich auf dieselben einzugehen.

Nach dieser Replik war der Streit zwischen Lenard und Einstein kaum mehr beizulegen. Sommerfeld versuchte zwar, sowohl Einstein als auch Lenard noch vor der Nauheimer Zusammenkunft zu einer brieflichen Versöhnung zu bewegen, doch ohne Erfolg. Lenard wies den „Gedanken, eine Entschuldigung des Herrn Einstein mir gegenüber, noch dazu unter Voraussetzung einer ihm genehmen Äußerung meinerseits, für zufriedenstellend zu halten“, entrüstet von sich.^[5]

^[1] Brief [26].

^[2] Brief [27].

^[3] Brief [28].

^[4] Zitiert nach [Kleinert und Schönbeck 1978, S. 328].

^[5] *P. Lenard an A. Sommerfeld, 14. September 1920. München, DM, Archiv HS 1977-28/A, 198.* Der Brief ist abgedruckt in [Kleinert und Schönbeck 1978, S. 329-330].

Die „Bibel“ der Atomphysik

Sommerfelds Stellung in der deutschen und internationalen Physik zeigt sich nicht nur in seinen Auslandsreisen und seiner Rolle als Vorsitzender der Deutschen Physikalischen Gesellschaft während der ersten beiden Nachkriegsjahre. Anders als in den Debatten bei der Nauheimer Naturforschertagung oder den DPG-Satzungsberatungen in Berlin wird die Wertschätzung oder Kritik der Kollegen in ihren Reaktionen auf die Neuerscheinungen von *Atombau und Spektrallinien* erkennbar. Es war ja nicht in erster Linie ein Lehrbuch der *Atomtheorie*, sondern ein allgemeiner Führer durch die Atomphysik schlechthin. Er war an eine breite Leserschaft gerichtet und brachte neueste experimentelle Ergebnisse wie den Comptoneffekt ebenso wie die theoretischen Konzepte, die der Fülle des gesammelten empirischen Materials Sinn und Richtung geben sollten. Max Born schrieb nach dem Erscheinen der dritten Auflage, das Buch sei „heute die Bibel des modernen Physikers“.^[1] Daß dies nicht nur ein Kompliment von Theoretiker zu Theoretiker war, zeigt das Urteil Paschens, der *Atombau und Spektrallinien* die „Bibel des praktischen Spektroskopikers“ nannte.^[2] Auch ein so praktisch ausgerichteter Experimentalphysiker wie Karl Wilhelm Meissner geriet „beim genußreichen Lesen dieser Spektroskopikerbibel“ ins Schwärmen.^[3] Selbst einer „abstrakten Mathematiker-Seele“ wie der Hermann Weyls bereitete es sichtlich Vergnügen, sich in die Quantenphysik anhand dieses Leitfadens einführen zu lassen:^[4] „Sie sind wenigstens auch sonst mit dieser Sinnenwirklichkeit in engerem Bunde und ziehen die Register ihrer Quantenorgel. Ihr Buch ist jetzt meine physikalische Bibel.“

1923 erschienen die ersten Übersetzungen ins Englische und Französische. Auch für japanische und russische Übersetzungen wurden seit 1922 die ersten Fäden geknüpft.^[5] In den USA war das Buch so beliebt, „that they cannot keep it“, wie Sommerfeld 1923 aus Berkeley seiner Frau schrieb:^[6] „Es wurde aus der Instituts-Bibliothek gestohlen u. musste nachgeschafft werden.“ Sommerfelds Buch lese sich „wie ein Roman“, hatte Pieter Zeeman schon im Januar 1920 gelobt.^[7]

[1] Brief [56].

[2] F. Paschen an A. Sommerfeld, 27. Januar 1925. München, DM, Archiv NL 89, 012.

[3] K. Meissner an A. Sommerfeld, 2. Dezember 1924. München, DM, Archiv NL 89, 011.

[4] Brief [57].

[5] A. Sommerfeld an Vieweg, 27. August 1922. Braunschweig, Vieweg, Sommerfeld. E. von der Pahlen an A. Sommerfeld, 2. Juni 1923. München, DM, Archiv NL 89, 012.

[6] A. Sommerfeld an J. Sommerfeld, 16. Februar 1923. München, Privatbesitz.

[7] Brief [17].

Übersicht über die deutschen Ausgaben von
Atombau und Spektrallinien
 vor Sommerfelds Tod

Jahr	Band	Auflage	Buch
1919	1.	1.	[Sommerfeld 1919a]
1921	1.	2.	[Sommerfeld 1921c]
1922	1.	3.	[Sommerfeld 1922a]
1924	1.	4.	[Sommerfeld 1924b]
1929	2.	1.	[Sommerfeld 1929a]
1931	1.	5.	[Sommerfeld 1931]
1939	2.	2.	[Sommerfeld 1939]
1944	1.	6.	[Sommerfeld 1944a]
1951	1.	7.	[Sommerfeld 1951a]
1951	2.	3.	[Sommerfeld 1951b]

Diese Reaktionen lassen erkennen, in welchem Maße es Sommerfeld gelungen war, die schnellen Entwicklungen in der Atomphysik der zwanziger Jahre nicht nur für die Physiker faßlich darzustellen und weitere Entwicklungen anzuregen. Albrecht Unsöld, der später zu den ersten Sommerfeldschülern zählen sollte, die mit der neuen Schrödingerschen Wellenmechanik atomphysikalische Probleme lösten und der durch das Anwenden der Atomtheorie auf astrophysikalische Fragen zu einem Pionier der theoretischen Astrophysik wurde, schrieb als 15jähriger Schüler 1920 an Sommerfeld:^[1] „In den letzten Wochen habe ich Ihr Buch über ‚Atombau und Spektrallinien‘ mit großem Interesse gelesen.“ Die aus dieser Lektüre erwachsene physikalische Spekulation des Schülers erwies sich als haltlos, doch der Brief des Schülers und seines um Verständnis bittenden Vaters zeugen „von grosser Liebe und Vertiefung in den Gegenstand“, wie Sommerfeld zurückschrieb; Unsölds Vater werde „noch viel Freude an seinem Sohn erleben“.^[2]

Natürlich gab das Buch auch zu Mißstimmungen Anlaß, wenn darin etwa eine Entdeckung oder eine neue Theorie so dargestellt wurden, daß über die Priorität bei der Entdeckung oder ihre Bedeutung Zweifel entstehen konnten. Max von Laue sah sich zum Beispiel mit seinen Verdiensten um die Theorie der Röntgeninterferenz an Kristallen nicht ausreichend gewürdigt; erst nachdem Sommerfeld in der zweiten Auflage durch eine Fußnote den entsprechenden Passus korrigierte, betrachtete er die „Sache durch die

^[1] Brief [21].

^[2] Brief [22].

Umformung der auf den Strukturfaktor bezüglichen Anmerkung als vollkommen erledigt.“^[1] Paul Ehrenfest spottete über „St. Sommerfeldus als Quantenpabst“ und fand, daß die wahre Bedeutung der Adiabatenhypothese nicht zum Ausdruck komme. Sommerfeld brachte daraufhin „eine kleine Korrektur für die engl. Auflage“ an, wie er im Oktober 1922 seiner Frau aus den USA schrieb, wo Ehrenfest um diese Zeit ebenfalls mehrere Universitäten besuchte.^[2]

Unabhängig von den durch verletzte Eitelkeiten oder Mißverständnisse ausgelösten Spannungen empfand Sommerfeld den selbstauferlegten Zwang einer ständigen Anpassung des Buches an den aktuellen Wissensstand zunehmend als Belastung. Vor der Fertigstellung der vierten Auflage klagte er:^[3]

Ich habe etwas mühsame Ferien gehabt, 3 Wochen Holland, die übrige Zeit Neubearbeitung meines Buches. Eine undankbare Sache, weil alles wacklig ist. Wieviel geruhsamer war es früher, Maxwell'sche Gleichungen zu integrieren!

Er tröstete sich mit dem Gedanken, den er im Oktober 1924 auch Runge für die Abfassung des Encyklopädieartikels über die Spektroskopie ans Herz legte:^[4] „Vollständigkeit in den neueren Dingen ist doch nicht zu erreichen, denn jeder Tag bringt Fortschritte.“ Er konnte nicht ahnen, wie rasant diese Fortschritte in den kommenden Wochen und Monaten sein würden.

^[1] Brief [23].

^[2] Brief [59].

^[3] Brief [72].

^[4] Brief [79]; vgl. auch [Runge 1925].