

JOHN L. HEILBRON



Max Planck

HIRZEL

Heilbron, Max Planck



Edmond Kapp, Max Planck 1932 (Zeichnung)

John L. Heilbron

Max Planck

Ein Leben für die Wissenschaft
1858–1947

Mit einer Auswahl der allgemein verständlichen Schriften
von Max Planck

2., korrigierte und ergänzte Auflage

Mit 22 Abbildungen



S. Hirzel Verlag Stuttgart

IV

Übersetzung aus dem Amerikanischen: Dr. Norma von Ragenfeld-Feldman
Übersetzung der ergänzenden Texte für die 2. Auflage: Carsten Heinisch

Der Abdruck einer Auswahl allgemein verständlicher Schriften von Max Planck erfolgte mit freundlicher Genehmigung der Erbhengemeinschaft.

Vom Verfasser eingehend analysierte allgemein verständliche Schriften Plancks im Anhang sind in vollem Wortlaut abgedruckt. An den betreffenden Stellen der Darstellung Heilbrons werden Hinweise auf diese Texte gegeben. Weitere Schriften Plancks werden in den Fußnoten abgekürzt zitiert, die vollständigen bibliografischen Angaben bietet das Literaturverzeichnis.

Ein Markenzeichen kann warenrechtlich geschützt sein, auch wenn ein Hinweis auf etwa bestehende Schutzrechte fehlt.

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

ISBN-10: 3-7776-1438-6

ISBN-13: 978-3-7776-1438-0

Jede Verwertung des Werkes außerhalb der Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist unzulässig und strafbar. Dies gilt insbesondere für Übersetzungen, Nachdruck, Mikroverfilmung oder vergleichbare Verfahren sowie für die Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen.

2., korrigierte und ergänzte Auflage 2006

1. Auflage 1988

© 2006 S. Hirzel Verlag

Birkenwaldstraße 44, 70191 Stuttgart

Printed in Germany

Einbandgestaltung: Neil McBeath, Stuttgart

Druck + Bindung: Grosch Druckzentrum, Eppelheim

Inhalt

Vorwort	IX
Vorwort zur 2. Auflage	XIII
I. Die Entstehung des Weltbildes	1
1. Plancks Formel	7
2. Der widerwillige Atomist	12
Die Bekehrung	24
Beständigkeit im Fluss	31
3. Der enthusiastische Relativist	40
4. Der engagierte Pädagoge	47
II. Zur Verteidigung des Weltbildes	68
1. Die Kontroverse mit Mach	68
2. An der Preußischen Akademie der Wissenschaften	86
3. Im Krieg	100
4. Vom Schicksal getroffen	116
III. Wortführer der Wissenschaft	125
1. Institutioneller Aufbau	127
2. Internationale Beziehungen	146
3. Gegen die Widersacher der Relativität	166
4. Über Geist und Seele	177
Der Kopenhagener Geist	186
Irrationale Beziehungen	206
IV. Schiffbruch	217
1. Planck als Kapitän	226
Resignation und Entlassung	240
Die Arche	271

2. Als Rufer in der Wüste	262
3. Rettungsaktionen	281
4. An ihren Früchten sollt ihr sie erkennen	292
 Nachwort	 300
Abkürzungen	326
Literaturverzeichnis	328

Anhang

Max Planck – ausgewählte allgemein

verständliche Schriften	347
-----------------------------------	-----

1. Wissenschaftliche Selbstbiografie 348
2. Mein Besuch bei Adolf Hitler 375
3. Erwiderung [auf die Gratulationsansprache
zum 60. Geburtstag] 377
4. Antrittsrede [als Mitglied der Königlich
Preußischen Akademie der Wissenschaften] 382

Sitzungsberichte der Königlich Preußischen

Akademie der Wissenschaften

5. – vom 25. Januar 1917 387
6. – vom 14. November 1918 395
7. – vom 3. Juli 1919 398
8. – vom 29. Juni 1922 405
9. James Clerk Maxwell in seiner Bedeutung
für die theoretische Physik in Deutschland 414
10. Neue Erkenntnisse der Physik 432
11. Der Weg führt von reiner Forschung
zu industrieller Verwertung 438
12. Max Planck/Hans Hartmann, Zwiegespräch 441

13. Die Einheit des physikalischen Weltbildes	456
14. Zur Mach'schen Theorie der physikalischen Erkenntnis	496
15. Der Kausalbegriff in der Physik	508
16. Die Physik im Kampf um die Weltanschauung . .	529
17. Vom Wesen der Willensfreiheit	556
18. Religion und Naturwissenschaft	584
19. Sinn und Grenzen der exakten Wissenschaft . . .	611
Nachweis der Erstveröffentlichungen	640
Bildnachweis	640
Register	641

Vorwort

Max Planck galt um die Wende vom 19. zum 20. Jahrhundert längere Zeit als Doyen und Hauptvertreter der theoretischen Physik in Deutschland. Nach langem und hartnäckigem Ringen mit einem obskur erscheinenden technischen Problem gelang ihm im Jahre 1900 der Durchbruch: Er hatte die Quantentheorie entworfen. Stand diese auch im Widerspruch zu den Konzepten der herkömmlichen Physik, so bildete sie doch die Grundlage der modernen. Die dadurch bewirkte wissenschaftliche Revolution war von Planck weder beabsichtigt gewesen noch war sie ihm willkommen.

Kurz nachdem er diesen höchst bedeutsamen Beitrag zum Erkenntnisstand der Wissenschaft geleistet hatte, nahm es Planck auf sich, wissenschaftliche Institutionen ins Leben zu rufen und eine Philosophie der Wissenschaften zu erarbeiten. Er bekleidete zentrale Ämter in wissenschaftsfördernden Organisationen und hielt in weiten Kreisen Vorträge über das Wesen der Natur und über die Theorien, die zur Aufklärung der Naturvorgänge aufgestellt worden waren. Zunächst wirkten Plancks Wissenschaftspolitik und seine erkenntnistheoretische Sicht der Natur, seine Physik und sein Privatleben in sich vollkommen stimmig; sie standen im Einklang mit seinen Auffassungen über das Individuum, den Staat und die Gesellschaft. Doch gleichzeitig mit der steten Zunahme der Autorität seiner amtlichen Funktionen, die er während des Ersten Weltkrieges, in der Weimarer Republik und im Dritten Reich ausübte, brach sein im Kaiserreich herangereiftes Konzept der Einheit des Weltbildes auseinander. Plancks Bemühungen, sein Weltbild sowie die

Grundlage seiner Wissenschaftspolitik zurückzugewinnen, sind das eigentliche Thema dieses Buches.

Die Strategien, die Planck anwandte, können deshalb unsere Aufmerksamkeit besonders beanspruchen, weil er ein Mann von außergewöhnlicher Rechtschaffenheit war, der in außergewöhnlich heikle Lagen hineinversetzt wurde. Keine seiner Entscheidungen wurden leichtfertig getroffen. Sein Ringen um ein umfassendes Verständnis der sich ändernden politischen Umstände und sein Bemühen, seine vor 1900 entwickelten Vorstellungen von Wissenschaft und staatsbürgerlichem Leben den Realitäten Deutschlands im 20. Jahrhundert anzupassen, gleichen einem heroischen Drama. Aus seinem Leben selbst ist eine Lehre zu ziehen.

Plancks Bibliothek und sein gesamter privater Nachlass fielen den Bombenangriffen der Alliierten im Jahre 1940 zum Opfer. Bisher unbekannte Informationen über ihn sind deshalb nur in den Archiven derjenigen Institutionen, denen er angehört hat, und in den Nachlässen seiner Korrespondenzpartner, soweit noch vorhanden, ausfindig zu machen. Sein Wirken im öffentlichen Leben als Amtsträger wie auch die uns zugänglichen Hinweise auf sein Privatleben werden hauptsächlich durch diese Quellen belegt. Die mühevollen Ermittlungen von Wissenschaftlern in der DDR, insbesondere die der Autoren der unschätzbaren „Studien zur Geschichte der Akademie der Wissenschaften der DDR“, waren von großem Gewinn für mich. Die Suche nach den Quellen von Plancks wissenschaftlichem Briefwechsel wurde mir durch das „Inventory of Sources for Twentieth-Century Physics“, das vom Office for History of Science and Technology an der University of California in Berkeley¹ erarbeitet wurde, erleichtert und durch freundliche Hilfeleistungen von Bibliothekaren und Archivaren in Europa und den Ver-

einigten Staaten weitgehend unterstützt, diese stellten mir in großzügiger Weise Fotokopien der von mir benötigten Dokumente zur Verfügung. Ich bin zudem folgenden Personen, die mir den Zugang zu wichtigem Quellenmaterial verschafft haben, in besonderem Maße zu Dank verpflichtet: David Cassidy (Einstein Papers, Boston University), Armin Hermann (Universität Stuttgart), Dietrich Hoffmann (Akademie der Wissenschaften der DDR), Otto Mayr und Rudolf Heinrich (Deutsches Museum, München), Robin Rider (Bancroft Library, Berkeley) und Silva Sandow (Archiv der Max-Planck-Gesellschaft, Berlin). Mein Manuskript ist freundlicherweise von Alan D. Beyerchen, Gerald D. Feldman, Barbara Reeves und Spencer Weart gelesen worden; ihre kritischen Anmerkungen waren mir sehr wertvoll.

Danken möchte ich auch denjenigen Institutionen und Personen, die mir erlaubt haben, aus ihren Sammlungen zu zitieren. Es sind dies: The American Philosophical Society (Philadelphia), Archive for History of Quantum Physics und The Bancroft Library, University of California (Berkeley), Niels Bohr Archive, Niels Bohr Institut (Kopenhagen) und Professor Aage Bohr, Bundesarchiv (Koblenz), Cornell University Library (Ithaca, N. Y.), Deutsches Museum (München), Einstein Papers, Hebrew University (Jerusalem) und The American Friends of the Hebrew University, Universitätsbibliothek Göttingen, Heinrich-Heine-Institut (Düsseldorf), Schiller-National-Museum (Marbach), Max-Planck-Nachlass, Max-Planck-Gesellschaft (Berlin), Museum Boerhaave (Leiden), Sächsische Landesbibliothek (Dresden), Oslo Uni-

1. Eine Darstellung dieses Dokumentationsmaterials findet sich in: Wheaton, *Isis* 75 (1984), S. 153–157.

versity Library, Rensselaer Polytechnic Institute (Troy, N. Y.), Rockefeller Archive Center (North Tarrytown, N. Y.), Staatsbibliothek Preußischer Kulturbesitz (Berlin), Society for Psychical Research (London), Stockholm University Library, Universitätsbibliothek Tübingen, Zentrales Staatsarchiv (Potsdam).

Der Anstoß zu diesem Buch ist ganz unvorhergesehenerweise einer Bibliografie von Plancks nicht-fachwissenschaftlichen Veröffentlichungen zu verdanken, die 1977 als Nebenprodukt des bereits erwähnten „Inventory of Sources“ erschien.² Sie brachte Hans Rotta vom S. Hirzel Verlag, Stuttgart, einem der wichtigsten Verlage Plancks, auf die Idee, eine Neuauflage dieser Planck'schen Arbeiten, die fraglos von bleibendem Wert sind, anzuregen. Die für diesen Sammelband ursprünglich vorgesehene kurze Einleitung wuchs sich dann zu der nachstehenden Darstellung in vier Kapiteln aus. Ich schulde Hans Rotta großen Dank für seine Bemühungen um dieses Projekt und für seine gleich bleibende Geduld und Nachsicht bis zur Fertigstellung meines Manuskripts. Dessen deutsche Originalausgabe entspricht voll und ganz dem Text der englischen Fassung; in dieser wurde auf den Abdruck der wichtigsten allgemein verständlichen Abhandlungen Plancks verzichtet, die Zitate aus Plancks Korrespondenz werden dort in englischer Übersetzung geboten.

Berkeley, im Juli 1986

John L. Heilbron

2. Lowood, Max Planck (1977).

Vorwort zur 2. Auflage

Diese Ausgabe unterscheidet sich von der ersten durch die Korrektur einiger Fehler und die Ergänzung eines Berichts von Plancks Auftritt vor der Royal Society of London im Jahr 1946. Außerdem werden in einem neuen Nachwort Veröffentlichungen diskutiert, die seit der ersten Ausgabe erschienen sind. Dieses Material erlaubt eine eindeutigere Einschätzung von Plancks Handeln in der Nazizeit, als dies in der ersten Auflage möglich war.

Berkeley, im Mai 2006

John L. Heilbron

I.

Die Entstehung des Weltbildes

Max Planck, Inbegriff des klassischen Physikers, kam aus einer Familie, deren Stammbaum eine Reihe von Pastoren, Gelehrten und Juristen aufweist. Sein Urgroßvater (um nicht weiter als drei Generationen zurückzugehen) war Gottlieb Jakob Planck (1751–1833), er wirkte fast 50 Jahre als Professor der Theologie an der Universität Göttingen, in seinem Denken dem Philosophen Leibniz stark verpflichtet. Die von ihm vertretenen Aufklärungsideale der Vernunft und der Toleranz, die im Einklang mit dem religiösen Empfinden gegen Ende des 19. Jahrhunderts mit Gott, und nicht Christus, als zentrale Kraft des Glaubens erneut zum Ausdruck gebracht wurden, bildeten die Grundpfeiler der unerschütterlichen, liberalen und ökumenischen Religiosität des Physikers Max Planck.

Dem Beispiel Gottlieb Jakobs als Hochschullehrer folgten zunächst sein Sohn, ebenfalls Theologieprofessor in Göttingen, und dann sein Enkel Wilhelm Johann Julius Planck, Letzterer teilte allerdings nicht die ausgeprägten kirchenrechtlichen Neigungen seiner Familie und wurde Professor der Rechtswissenschaft. Er lehrte bis 1867 Zivilrecht an der Universität Kiel – wo 1858 das sechste seiner Kinder, Max, geboren wurde – und erhielt dann einen Ruf nach München, wo er 1900 starb. Seine zweite Frau, die Mutter von Max Planck, entstammte einer Pfarrersfamilie und soll eine lebhaftere, ja leidenschaftliche Frau gewesen sein, für die

Planck stets große Zuneigung empfand.¹ Sie starb im August 1914 im hohen Alter von 93 Jahren.

Planck hatte feste familiäre Bindungen auch zu seinen anderen Verwandten, und als Junge spielte er oft mit seinen Vettern in der Weise, wie sie bei den wohlbehüteten Kindern wilhelminischer Universitätsprofessoren, Rechtsanwälte, Geistlicher und hoher Regierungsbeamter üblich waren. Plancks Briefe erlauben einen flüchtigen Einblick in seine Jugendjahre: Sommerferien in Eldena an der Ostsee, die er rückblickend als Kindheitsparadies empfand; Kroketspiele auf dem Rasen, abendliche Lektüre der Romane von Sir Walter Scott, Tontaubenschießen, Liebhaberaufführungen, musikalische Veranstaltungen.² Wir lernen Planck auch als ernsthaften jungen Mann kennen, wie er mit genau so ernst gesinnten Kameraden Lebenserfahrungen austauscht; die dabei entwickelten Gedanken wurden im zweiwöchentlichen Turnus in einem großen, leider verloren gegangenen Heft aufgezeichnet. Außerdem gab es Reisen nach Österreich und Italien, Planck machte der jungen Bankierstochter Marie Merck mit Erfolg den Hof, und die Jagdhütte eines Onkels in Ostpreußen wurde zu einem beliebten Ausflugsziel.³

1. Vgl. Hartmann, 1953, S. 29–40; Dinkler, in: Zeitschrift für Theologie und Kirche, 56 (1959), S. 215, 221. Zu Max Plancks Vorfahren vgl. die Abschnitte „G. K. Planck“ und „H. L. Planck“, in: Realencyclopädie für protestantische Theologie und Kirche, hg. v. Albert Hauck. 3. Aufl. Leipzig 1896–1913; Born, Royal Society of London, Obituary notices, 6 (1948), S. 161–188; Unsöld, Physik und Historie, 1958, S. 9.
2. Planck an Carl Runge, 11.10.1877, StaBi Dahlem, NL Runge; Planck an „Emmachen“ (Frau Max Lenz, eine leibliche Cousine Plancks), 21.11.1917; Planck an Hildegard Gravemann (eine Nichte), 27.2.1944; Planck an Dora Martin (eine Cousine), 23.5.1942, MPG-Archiv.
3. Runge, Carl Runge, 1949, S. 34; Planck an Carl Runge, 31.7.1877 und 24.1.1880, StaBi Dahlem, NL Runge.

Bei einem dieser Ausflüge im Jahre 1885 begegnete Planck dem sechs Jahre jüngeren Physikstudenten Wilhelm Wien, dem Sohn eines preußischen Grundbesitzers, dessen theoretische und experimentelle Arbeiten später zum Ausgangspunkt für seinen eigenen bedeutsamsten Beitrag zur Physik werden sollten. Wien entstammte einer ostpreußischen Familie mit ländlichem Besitz und wurde zum engen Freund und Mitarbeiter Plancks in einer Beziehung, die über vierzig Jahre währte. Ungeachtet dieser anhaltenden Freundschaft und beruflichen Interessengemeinschaft, klafften die politischen Meinungen der beiden Männer weit auseinander. Obwohl grundsätzlich konservativ, wirkten die Plancks fast liberal im Vergleich mit den reaktionären und chauvinistischen Wiens, die zum Beispiel in Bismarcks Entlassung den Anfang vom Ende Deutschlands sahen oder die Tatsache beklagten, dass dem Kaiser die Macht fehle, das „Krämervolk“ seiner Großmutter Victoria zu vernichten. Plancks Vater missbilligte dagegen die Annexionspolitik Bismarcks, und weder Vater noch Sohn hätten einen Präventivkrieg gegen England gutgeheißen.⁴ Und dabei schätzte sich Planck selbst sowohl in politischer als auch in sozialer Hinsicht liberaler als den Großteil seiner Familie ein.⁵ Er war indes genauso wenig ein sozialpolitischer wie ein wissenschaftlicher Revolutionär. Die besondere Stärke des im grundsätzlichen Sinne konservativen Planck lag darin, dass er sich Realitäten der Gegenwart anzupassen vermochte, diese sogar steuern konnte, während er gleichzeitig an überlieferten Wertvorstellungen festhielt und nach ihnen handelte. Planck war kein Genie. Seine Lehrer auf dem Maximilians-

4. Zu Plancks Stellungnahme vgl. Wien, *Aus dem Leben*, 1930, S. 139; siehe auch ebd., S. 29 f., 62; Planck, *Selbstdarstellung* (1942), S. 5.

5. Planck an Frieda Clarke (eine Nichte), 2.5.1925, APS.

gymnasium stuften ihn immer als vorzüglichen Schüler, nie aber als den Besten seiner Klasse ein: Im Jahre 1868/69 war er der viertbeste von 28 Schülern, in den folgenden Jahren fünfter von 37, achter von 23, dritter von 21 und schließlich vierter von 19 Schülern. Planck erbrachte gute Leistungen in allen Fächern: in Deutsch, Mathematik, Geschichte, Musik und Fremdsprachen, war äußerst fleißig und pflichtbewusst, doch in seinen Zeugnissen ist keine besondere Virtuosität oder herausragende Begabung vermerkt. Anders hingegen beurteilten Plancks Lehrer seine Wesensart; sie schätzten die ruhige Kraft seiner Persönlichkeit, seine Bescheidenheit wie seine unauffällige Charakterstärke, und sie sahen ihn „mit Recht [als den] Liebling seiner Lehrer und seiner Mitschüler“ an.⁶

In der Physik, für die er nach eigener Überzeugung kein außerordentliches Talent besaß,⁷ und seinen vielen anderen geistigen und administrativen Tätigkeiten erzielte Planck seine Erfolge dadurch, dass er sich gründlich in die Materie vertiefte und seine Gedanken langsam reifen ließ. Neuheiten reizten ihn nicht besonders, zumal er, wie er sich einmal selbst beschrieb, „von Natur [...] friedlich und bedenklichen Abenteuern abgeneigt“ war; auch griff er neue Ideen nicht spontan auf, „denn es ist mir leider nicht gegeben, schnell auf geistige Anregungen zu reagieren“.⁸ Die Fähigkeit so

6. Die Informationen aus den Zeugnissen-Protokollen des Kgl. Maximiliansgymnasiums sind mir freundlicherweise von Armin Hermann zur Verfügung gestellt worden.

7. Planck an Joseph Strauß, 14.12.1930, zitiert in: H. Balmer, *Physikalische Blätter* 25 (1969), S. 558. (Im Nachfolgenden als PB zitiert).

8. Zu den vorgegangenen Zitaten siehe jeweils: Planck an R. W. Wood, 7.10.1931, zitiert in: Hermann, *Frühgeschichte* (1969), S. 31; Planck an Bohr, 7.5.1920, zitiert in: Bohr, *Collected works*, Bd. 3, S. 677. Runge gegenüber klagte Planck einmal, dass ihm zur Fertigstellung

mancher Wissenschaftler, mehrere Forschungsrichtungen gleichzeitig zu verfolgen, erstaunte Planck, und, wie er dem zeitgenössischen theoretischen Physiker und langjährigen Freund Arnold Sommerfeld einmal schrieb, es fiel ihm sehr schwer, „einen Gegenstand, in den ich mich eingesponnen habe, schnell zu verlassen und bei günstiger Gelegenheit schnell zu ergreifen“.⁹ „Schnell“ war nicht das Tempo Plancks. Hatte er aber einmal etwas gemeistert, dann begriff er dies mit einer geistigen Kraft und Klarheit, die uns, um mit Descartes zu sprechen, die beste Gewähr für die Wahrheit unserer Ansichten bieten.

Gleichzeitig mit den militärischen Siegen Preußens und der fortschreitenden Machtausweitung des neuen Reiches nahm auch Plancks Vertrauen zu sich selbst und seinen Ideen zu. Obwohl persönlich der bescheidenste Mann, identifizierte er seine Entwicklung mit der Deutschlands so vollständig, dass er die Sicherung des deutschen Kulturgutes als untrennbar verknüpft sah mit der Wahrung seiner persönlichen Werthaltungen und beruflichen Existenz. Den Bogen über alle seine Leitbilder spannte das höchste, das Ideal der Einheit, das im politischen Bereich zur Entstehung des Deutschen Reiches inspiriert hatte und im kulturellen Bereich die Überzeugung vieler Gelehrter widerspiegelte, die Wissenschaften seien ein einheitliches Ganzes. Plancks Stolz auf das kaiserliche Deutschland und seine Hingabe an das akademische Ideal der Einheit des Wissens waren die Grundpfeiler seiner Wissenschaftspolitik.

sogar einer einfachen Examensarbeit die nötige Zeit gefehlt hätte. Vgl. Planck an Runge, 9.12.1878, StaBi Dahlem, NL Carl Runge.

9. Vgl. hierzu: Planck an Albert Schweitzer, 20.12.1930, zitiert in: Kangro, *Vorgeschichte* (1970), S. 123; Planck an Sommerfeld, 1.7.1923, zitiert in: Hermann, *Max Planck* (1973), S. 68. Siehe auch: Sommerfeld, in: *Die Naturwissenschaften* 5 (1918), S. 199.

Achtung vor dem Gesetz, Vertrauen in die etablierten Institutionen, pflichtgemäße Wahrnehmung seiner Obliegenheiten und absolute Ehrlichkeit kennzeichneten ihn; manchmal war er nachgerade zu skrupulös. Plancks gleich bleibende Bescheidenheit trotz seiner vielen Tugenden, seines Ruhms und seiner Autorität wurden oft bemerkt, und seine Zeitgenossen respektierten ihn als Menschen genau so, wie sie ihn als Wissenschaftler bewunderten. Bei der Feier seines goldenen Doktorjubiläums im Jahre 1929, um nur ein Beispiel zu nennen, priesen Plancks langjährige Kollegen an der Preußischen Akademie der Wissenschaften nicht nur seine wissenschaftlichen Leistungen, sondern auch, was unter Akademikern weniger üblich ist, die „makellose Reinheit seiner Gesinnung“.¹⁰ Planck wertete ein reines Gewissen als die größte Gnade, die einem Menschen gegeben sein kann.

Diese innere Haltung der Außenwelt gegenüber kann sich jedoch auch als Hindernis erweisen, da sie den Weg zu einem Meinungswechsel versperren kann. Der Planck-Schüler Walther Meißner zum Beispiel hatte den Eindruck, dass der große Physiker nie „umgestimmt wurde durch die Ansichten anderer, nicht nur was die Wissenschaften, sondern auch was menschliche Beziehungen betraf“. Der einzige Kompass, den Planck auf seinem Lebensweg brauchte, war ein reines Gewissen. Seinem Schüler und Nachfolger an der Friedrich-Wilhelms-Universität zu Berlin, Max von Laue, beschrieb Planck einmal, wie er sich auf eine bestimmte

10. Vgl. Akademie der Wissenschaften zu Berlin, Max Planck in seinen Akademie-Ansprachen (1948), S. 127 (1929). Plancks Bescheidenheit wurde auch von A. Bertholet, H. Ficker und E. Lamla in ihren Beiträgen zu: „Max Planck zum Gedächtnis“ gewürdigt. In: PB 4 (1948), S. 162, 174. Vgl. auch: Hermann, Planck in Selbstzeugnissen, S. 76.

Richtung festlege: „Meine Maxime ist immer: jeden Schritt vorher überlegen, dann aber, wenn man ihn verantworten zu können glaubt, sich nichts gefallen zu lassen.“¹¹ Freilich änderte Planck seine Meinung zuweilen, auch dann, wenn es um wichtige Dinge ging; er tat dies jedoch nie mit Leichtigkeit.

Es waren indes weder seine Hartnäckigkeit noch seine Redlichkeit, die Planck zum wichtigsten Wortführer der deutschen Wissenschaft zwischen den beiden Kriegen werden ließen, obwohl er im Umgang mit Kollegen und Beamten dieser beiden Eigenschaften, und einer großen Portion Geduld obendrein, bedurfte. Plancks einflussreiche Stellung in seinem eigenen Land beruhte auf seinem Ansehen als Naturforscher, der die Richtung der internationalen Wissenschaft verändert hatte.

1. Plancks Formel

Dass Planck um die Jahrhundertwende die Physik zum Umdenken brachte, war auf einen Kompromiss, ja sogar eine Kapitulation seinerseits zurückzuführen. Seine Veränderungen in der Physik entstammten aus der für ihn unangenehmen Erkenntnis, dass er ein Problem, dem er sich mehrere Jahre gewidmet hatte, nicht in dem von ihm konzipierten Rahmen zu lösen vermochte. Einem erwachsenen Menschen mag ein Problem dieser Art kaum der Beachtung wert sein, geschweige denn zum Auslöser seines Unbehagens werden: Planck hatte sich zur Aufgabe gestellt, ausgehend

11. Vgl. Meißner, in: *Science* 113 (1951), S. 75; Planck an Laue, 22.3.1934, zitiert in: Hermann, *Max Planck in Selbstzeugnissen*, S. 86.

von den Hauptsätzen der Wärmetheorie die relative Intensität jeder einzelnen Farbe in der Strahlung, die aus der schmalen Öffnung eines speziellen elektrischen Ofens oder aus einem Hohlraum emittiert wurde, zu berechnen. Grob gesagt, wollte er die Farben, wie etwa „Rotglut“, „Weißglut“ usw., im Innenraum eines Ofens bei jeder beliebigen Temperatur bestimmen.

Es gab zwei unterschiedliche Gründe für den Wunsch, die Farbenintensität – oder Energieverteilung – feststellen zu können. Zum einen ließ sich anhand fundamentaler und plausibler Argumente demonstrieren, dass die Verteilung im Zustand des Gleichgewichts weder von der Größe oder Form des Hohlraums noch von der Beschaffenheit seiner Wände abhängt. Aufgrund einer Verteilungsformel hätte sich für eine Volumeneinheit des Hohlraums die Spezifizierung der Energie, die von den Lichtwellen jeder Farbe getragen wurde, ermitteln lassen und sie hätte folglich nur die Temperatur, die Wellenlänge (ein Maß der Farbe) sowie eine – oder mehrere – „universelle Konstante“, gleich bleibend für alle Hohlräume, Farben und Verteilungen enthalten. Das Auffinden einer solchen Formel bedeutete für Planck, dass er Beziehungen von generellem theoretischen Interesse entdecken würde, „welche unabhängig von speziellen Körpern oder Substanzen, ihre Bedeutung für alle Zeiten und alle, auch außerirdische und außermenschliche Kulturen notwendig behalten“.¹²

Zum Zweiten beschäftigte man sich mit der Hohlraumstrahlung aus einem ganz praktischen Grund. Die Gleichgewichtsverteilung maximiert die Menge der Wärme (längere

12. Vgl. Max Planck, *Physikalische Abhandlungen und Vorträge*. Bd. 1, S. 599 f. (1899). (Im Nachfolgenden als PA zitiert).

Wellenlängen) für eine bestimmte Menge des Lichts (kürzere Wellenlängen). Aus diesem Grund hätte die von Planck gesuchte Formel die schlechteste Quelle der Beleuchtung beschrieben und so als Nullpunktstandard zur Bewertung elektrischer Glühbirnen dienen können. Dementsprechend zeigte sich auch die bedeutende wissenschaftliche Institution für angewandte Forschung, die Physikalisch-Technische Reichsanstalt (PTR), daran interessiert, die Gleichgewichtsverteilung der Hohlraumstrahlung zu vermessen. Wilhelm Wien und andere Experimentatoren in der physikalischen Abteilung der PTR konstruierten einen teuren leeren Zylinder aus Porzellan und Platin und verzeichneten die Farbenverteilung der Strahlung, die aus der Öffnung an einem Ende des Zylinders emittiert wurde. Diese Physiker arbeiteten vornehmlich mit kürzeren, den infraroten bis violetten Wellenlängen. Ein weiterer enger Mitarbeiter Plancks, Heinrich Rubens, stellte an der Technischen Hochschule in Charlottenburg Untersuchungen mit einem anderen Ofen an und verfolgte seine Messungen bis in das tiefe Infrarot. Schließlich kam eine Reihe empirisch ermittelter Formeln zustande, die mehr oder weniger den Fakten entsprachen. Eine Zeit lang schien die von Wien im Jahre 1896 vorgeschlagene quasi-theoretische Formel die beste von allen zu sein.¹³ Planck machte es sich zur Aufgabe, Wiens Formel von den Grundgesetzen der Elektro- und der Thermodynamik herzuleiten.

Da die Gleichgewichtsverteilung unabhängig ist von den Materialeigenschaften des Körpers, konnte Planck diesen in der für seine Untersuchungen zweckmäßigsten Weise modellieren. Er repräsentierte die Hohlraumwände als eine

13. Vgl. Kangro, Vorgeschichte, Kap. 5.4, 7.2.

Sammlung von „Resonatoren“ und jeden dieser Resonatoren als eine schwerelose Feder mit einer elektrischen Ladung am Ende. Da die Federn in allen möglichen Steifheitsgraden verfügbar sind, können sie bei allen möglichen Frequenzen oszillieren. Durch die Erhitzung der Wände werden die Federn in Bewegung gesetzt. Dem Maxwell'schen Gesetz der Elektrodynamik gemäß strahlen die beschleunigten Ladungen Energie in den Hohlraum und absorbieren auch die Farben, mit deren Wellen sie mitschwingen. Es entsteht schließlich ein Gleichgewicht, in dem alle Resonatoren einer bestimmten Frequenz genau so viel Energie von der Hohlraumstrahlung absorbieren, wie sie aufwenden.

Im Hinblick auf die Emission, Absorption und Ausbreitung der Strahlung von Resonatoren waren Maxwells Gleichungen seinerzeit umfassend, sie informierten indes nicht über die Energieverteilung im letztendlichen Gleichgewicht. Planck meinte, das Wien'sche Gesetz aus der Hypothese, nach der die Durchschnittsenergie der Resonatoren in Beziehung zu ihrer Entropie gesetzt würde, herleiten zu können. (Die physikalische Bedeutung der Entropie, ein Konzept, das Planck ungemein zusagte, wird im Folgenden noch zu erörtern sein.) Sein Optimismus zerschlug sich jedoch gewaltsam an der Kritik einer unbestritten weltweit anerkannten Autorität auf diesem Gebiet, Ludwig Boltzmann, der das Gleichgewicht der Gase sowie deren Annäherung zum Gleichgewicht in allen Einzelheiten untersucht hatte. Obwohl Planck der Boltzmann'schen Gastheorie nicht zustimmte, bewunderte er ihren Verfasser.¹⁴ Er anerkannte

14. Planck an Leo Königsberger, 7.2.1895, StaBi Dahlem, acc. Darmst., 1922.93.

die von Boltzmann erhobenen Einwände gegen seine Theorie, erarbeitete eine weitere Hypothese über Entropie und Energie und konnte Wiens Formel abermals ableiten. Dies war im Jahre 1899. Da die Formel immer noch den Fakten entsprach, schien die Beweisführung Plancks geglückt. Verdrießlich an der Sache war nur, dass sein neuer Ansatz einer festen Grundlage entbehrte und andere Hypothesen nicht auszuschließen waren.¹⁵

Im Jahre 1900 fanden die Experimentatoren an der Reichsanstalt, die ihre Messungen nunmehr bis in das Infrarot verfolgten, nicht reduzierbare Diskrepanzen zwischen dem Wien'schen Gesetz und ihren eigenen Messungsergebnissen. Im März 1900 trug Planck bei der Preußischen Akademie der Wissenschaften ein verbessertes Argument für die Erklärbarkeit seiner Hypothese vor. Doch einige Monate später, im Oktober, beugte er sich dem Gewicht der Tatsachen und reduzierte Wiens Gesetz zu einem Annäherungswert, der nur für kurze Wellenlängen gültig war. Plancks Gewissen erlaubte ihm nicht, an Theorien zu glauben, die mit den exakten Messungen unwiderlegbar im Widerspruch standen. Eine solche Haltung wäre der eines Philosophen gleichgekommen. In einem Schreiben an Wien kritisierte Planck einige Jahre später den britischen Physiker James Jean, der eine durchschlagendere Beweisführung ablehnte als jene Diskrepanzen, von denen er, Planck, ehemals selbst überzeugt worden war, und beschrieb ihn als „ein Bild eines Theoretikers, wie er *nicht* sein soll, dasselbe, was Hegel in der Philosophie war; umso schlimmer für die Tatsachen, wenn sie nicht stimmen“.¹⁶

15. Vgl. Kuhn, *Black-Body theory* (1978), S. 6–11, 82–91, 278.

16. Planck an Wien, 27.2.1909, AHQP; ders., PA, Bd. 2, S. 247 (1910).

Wie die Natur verabscheuen auch die theoretischen Physiker das Vakuum. Nachdem Planck die nicht stichhaltige Formel Wiens verworfen hatte, ersetzte er sie durch eine andere, die im Ergebnis auf die genialen Vermutungen sowie den wissenschaftlichen Takt und nüchternen Kompromiss Plancks zurückführte, kurzum, ein Produkt seines Herumbastelns war. Die neue Formel stimmte mit allen zuverlässigen Messungen überein und enthielt darüber hinaus zwei empirische, nicht mehr als Wien erforderte, universelle Konstanten.

Dies also war Plancks Kompromiss, woraufhin seine Kapitulation folgte. Bei dem Versuch, seine Kompromissformel herzuleiten, formte Planck sie in einer Weise um, die die Entropie aller Oszillatoren bei einer bestimmten Frequenz zum Ausdruck brachte. Dabei entdeckte er eine starke Ähnlichkeit mit Boltzmanns Formulierung der Entropie der Gase im Gleichgewicht, die auf der Annahme beruhte, dass das Gleichgewicht nicht ein endgültiger und unveränderlicher, sondern nur der wahrscheinlichste Zustand ist. Planck wehrte sich dagegen und zögerte noch eine Zeit lang, diese Hypothese zu akzeptieren. Sie bedrohte sein Konzept der Wissenschaft ebenso wie seine Auffassung dessen, was er sich zur Lebensaufgabe gemacht hatte.

2. Der widerwillige Atomist

In seiner wissenschaftlichen Arbeit ließ sich Planck von der großartigen, durch Rudolf Clausius und William Thomson in den 50er-Jahren des 19. Jahrhunderts bewirkten Synthese der klassischen Physik, der Thermodynamik, inspirieren; ihr Lehrsatz von der Erhaltung, Transformation und Entartung der Energie sprach zugleich auch den Juristen und

Theologen in Planck an. Die Thermodynamik erhob Anspruch auf Universalität, mit ihr mussten alle physikalischen Gesetze im Einklang stehen, und sie befasste sich mit absoluten und unveränderlichen Gesetzmäßigkeiten, die von den Physikern seit Aristoteles mit dem Wahren und dem Guten identifiziert wurden. So erhabene Erwägungen wie diese, schrieb Planck am Ende seines langen Lebens, hätten ihn dazu bewogen, sich der Physik und nicht der Mathematik, Geschichte oder Musik zu widmen.¹⁷ Zu Plancks Zeiten aber bedeutete die Entscheidung zur Physik nicht das gleiche Prestige wie heute, zumal damals an den Universitäten immer noch die Geisteswissenschaften vorherrschten. In diesem Zusammenhang erzählte Planck dem ersten Verfasser seiner Biographie die folgende Anekdote: „Damals wurden die Naturwissenschaften in der allgemeinen Meinung der Gebildeten als eine geringere Art der Wissenschaft behandelt; ich erinnere mich sehr gut, wie mein Vetter und Kollege, der Historiker Max Lenz, scherzweise von uns Naturforschern als ‚Naturförster‘ sprach.“¹⁸ Um weltliche Erfolge aber kümmerte sich Planck ohnehin nicht, wie er hierzu einmal bemerkte: „Ich habe vielmehr stets aus einem inneren Drang heraus gearbeitet.“¹⁹

Planck führte die Erkenntnis seiner Berufung zur Physik auf den Unterricht seines Mathematiklehrers Hermann Müller am Maximiliansgymnasium zurück, der in ihm das Interesse erweckt hatte – später wurde dies zur Leidenschaft –, „der Harmonie nachzuspüren, welche herrscht einerseits zwischen der Strenge der Mathematik und andererseits zwi-

17. Planck, *Erinnerungen* (1948), Spalte 116–119; PA, Bd. 3, S. 374 (1948). Vgl. auch: Hermann, Planck in Selbstzeugnissen, S. 7–13.

18. Planck an Hans Hartmann, 4.7.1942, MPG-Archiv.

19. Vgl. Balmer, Planck und Einstein, in: PB 25 (1969), S. 558.

schen der Fülle der Naturgesetze, die uns umgeben“. Im Jahre 1878 wählte der damals 20-jährige Planck die Thermodynamik zum Thema seiner Doktorarbeit, die er binnen vier Monaten abschloss. Rückblickend erinnerte er sich daran, dass sein Physikprofessor an der Universität München, Philipp von Jolly, von einer Karriere in der Physik abgeraten hatte mit der Begründung, durch die Entdeckung der thermodynamischen Gesetze seien die Strukturen der theoretischen Physik vervollkommenet worden. Doch Planck, der seinem „inneren Drang“ folgte und außerdem ein bestimmtes Ziel, weit entfernt übrigens vom maßgebenden Ehrgeiz heutiger Physiker, vor Augen hatte, ließ sich nicht beirren. Er hege nicht den Wunsch, wie er Jolly mitteilte, Neuland zu entdecken, sondern lediglich die bereits bestehenden Fundamente der physikalischen Wissenschaft zu verstehen, vielleicht auch noch zu vertiefen.²⁰

In seiner Dissertation von 1879 behandelte Planck die zwei Hauptsätze der klassischen Wärmetheorie. Der erste bezieht sich auf das Prinzip der Erhaltung der Energie. Der zweite Hauptsatz, und darin sah Planck seine Bedeutung im weitesten Sinn, fixiert eine bestimmte Richtung im zeitlichen Prozess dadurch, dass eine gewisse Quantität, und zwar Entropie, die sich in allen realen physikalischen Prozessen vermehrt, definiert wird.²¹ In seiner ersten wissenschaftlichen Forschungsarbeit, der Habilitationsschrift von 1880 über die „Gleichgewichtszustände isotroper Körper“, extrahierte Planck aus den Hauptsätzen der Thermodyna-

20. Vgl. Plancks Briefe an Runge, in denen er über den Beginn seiner Arbeit an der Dissertation und über deren Abschluss berichtet: Planck an Runge, 9.12.1878 und 4.3.1879, StaBi Dahlem, NL Carl Runge. Siehe auch: Planck, Selbstdarstellung, S. 4, 6.

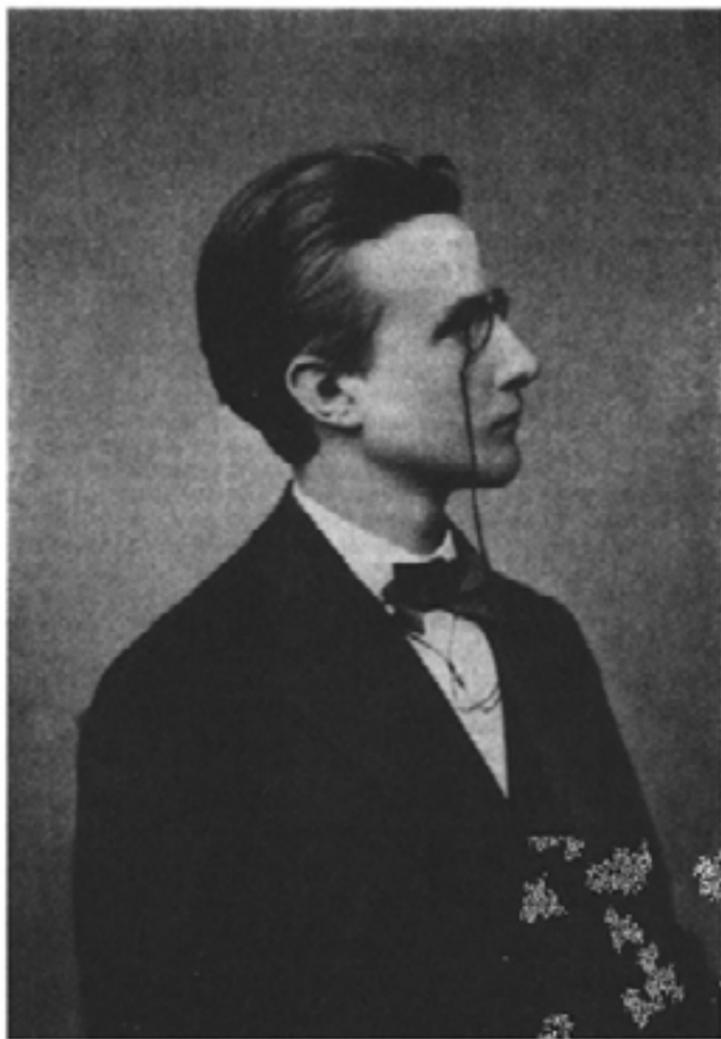
21. Planck, PA, Bd. 1, S. 1, 3 (1879). Vgl. auch: ebd., S. 197 (1887), S. 427 (1892).

mik einige konkrete und überprüfbare Ergebnisse, ohne damit Hypothesen über die innere Struktur der Substanzen aufzustellen. Er fügte nur die eine Prämisse hinzu, die besagte, dass mit dem Maximum der Entropie ein endgültig stabiles Gleichgewicht erreicht wird und danach, Plancks eigener strengen Konstruktion gemäß, weitere Veränderungen im System ausgeschlossen sind. Er betonte ausdrücklich die Fähigkeit der Wärmetheorie, nützliche Ergebnisse hervorzubringen, ohne auf die atomistische Hypothese zurückgreifen zu müssen, die, wie er 1882 schrieb, bestenfalls als Hilfsmittel zu betrachten und nur dann heranzuziehen sei, wenn die Folgerungen der Gesetze der Energie und Entropie ihre Grenzen erreicht hätten.²²

Weder die Tatsache, dass Planck dem Entropieprinzip einen hohen Wert beimaß, noch die von ihm vorgeschlagenen Experimente waren geeignet, die Physiker seiner Zeit zu beeindrucken. Von den ehemaligen Münchener Professoren wurde Plancks Doktorarbeit nicht verstanden. Von Gustav Kirchhoff, dem Ordinarius für theoretische Physik in Berlin, wo Planck ein Studienjahr verbracht hatte, wurde sie falsch beurteilt; Hermann Helmholtz, einer der Entdecker des Energieprinzips, schenkte ihr überhaupt keine Beachtung; und was Rudolf Clausius in Bonn anging, so waren Plancks wiederholte Bemühungen, ihm ein Exemplar seiner Dissertation persönlich zu präsentieren, vergeblich.²³ Doch ungeachtet der Tatsache, ob man seine Arbeit nun las oder nicht, wurde sie von der Universität Kiel, wo sein Vater immer noch Freunde und vielleicht auch einen gewissen Einfluss besaß,

22. Planck, PA, Bd. 1, S. 62–63 (1880); S. 140, 161 (1882). Vgl. auch: ebd., S. 197, 202 (1887).

23. Planck, Erinnerungen, Spalte 121–126; PA, Bd. 3, S. 377–379 (1948). Vgl. auch: Hermann, Planck in Selbstzeugnissen, S. 14–20.



Nach der Promotion (1879)

als so verdienstvoll bewertet, dass Planck im Jahre 1885 zum Extraordinarius für theoretische Physik berufen wurde. In diesem sehr neuen physikalischen Spezialgebiet gab es damals nur wenige akademische Stellen, und als Planck den lang ersehnten Ruf erhielt, schrieb er erleichtert an seinen Freund Runge: „Natürlich bin ich sehr glücklich.“²⁴

Kurz nach Antritt seiner neuen Stellung ergriff Planck die Gelegenheit, die Ungerechtigkeit, die, wie er meinte, ihm und der Thermodynamik widerfahren war, zu korrigieren. Er beteiligte sich an der von der Göttinger Philosophischen Fakultät gestellten Preisaufgabe über das „Wesen der Energie“ und erhielt für seine Arbeit den zweiten Preis; ein erster wurde gar nicht vergeben. Aus dem Urteil der Richter über seine Arbeit folgerte Planck, dass ihm der erste Preis deswegen verweigert worden war, weil er den Göttinger Professor für Physik, Wilhelm Weber, nicht in gebührendem Maße gewürdigt hatte.²⁵ Was seine Enttäuschung, von der Göttinger Fakultät praktisch abgelehnt worden zu sein, jedoch wettmachte, war seine Berufung an die Friedrich-Wilhelms-Universität in Berlin.²⁶ 1889 trat Planck, wieder als Extraordinarius, die Nachfolge Kirchhoffs an.

Die Kollegen in der Reichshauptstadt sperren sich, wie Planck feststellen musste, immer noch gegen die thermodynamische Lehre und waren gar nicht vertraut mit den Voraussetzungen des Entropieprinzips. Zunächst konnte Planck seine Ansichten allerdings noch nicht vertreten, und

24. Planck an Runge, 13.4.1884, StaBi Dahlem, NL Runge.

25. Vgl. Planck, *Das Prinzip der Erhaltung der Energie*. 1887 (1. Aufl.) und 1908 (2. Aufl.), S. XII–XIII (Zitat aus der 1. Aufl.). Die Fakultät hatte besonderes Lob für „die methodische Denkart, die gründlich mathematisch-physikalische Bildung des Verfassers [und] die Besonnenheit seines Urteils“, ebd. S. X.

26. Planck, *Erinnerungen*, Spalte 127–130; PA, Bd. 3, S. 380 f. (1948).

sein erster Auftritt in der Deutschen Physikalischen Gesellschaft im Frühjahr 1890 – später sollte er sie mit seiner Mitgliedschaft zieren – wurde zu einem Misserfolg. Nachdem der Vortragende die Wandtafel im Sitzungsraum mit seinen neuesten Untersuchungsergebnissen über Elektrolyte, die mit einigen der kürzlich durchgeführten Messungen recht gut übereinstimmten, voll beschrieben hatte, teilte er seinen Zuhörern abschließend mit, wahrscheinlich einen entscheidenden Beitrag zur Lösung eines grundsätzlichen Problems geleistet zu haben. Nach Beendigung des Vortrags meldete sich zunächst niemand zu Wort. Schließlich äußerte der Vorsitzende Emil du Bois-Reymond, der sich verpflichtet fühlte, die Stille zu durchbrechen, seine insgesamt kritischen Bemerkungen. „Das war nun im Ganzen genommen“, erinnerte sich Planck später, „eine kalte Dusche auf meine glühende Begeisterung. Ich ging etwas bedrückt nach Hause, tröstete mich aber bald mit dem Gedanken, dass eine gute Theorie sich auch ohne geschickte Propaganda durchsetzen werde“,²⁷ was auch stimmte, denn seine Ansichten fanden letztlich überall Anerkennung: Bis zum Jahre 1891 hatte er seine Doktorarbeit so oft an Kollegen, die sich über die Entropie informieren wollten, ausgeliehen, dass die Seiten schon fast am Auseinanderfallen waren.²⁸ Plancks beglückende Erfahrung, fast Recht behalten zu haben, bestärkte zweifellos sein inneres Selbstvertrauen und seine Entschlossenheit.

1892 erhielt er die Ernennung zum Ordinarius. Zwei Jahre später wurde er auf Helmholtz' Vorschlag zum ordentlichen

27. Planck, PA, Bd. 1, S. 371 (1890); ders., *Erinnerungen*, Spalte 137–140. Vgl. auch: Hermann, Planck in Selbstzeugnissen, S. 23.

28. Planck an Ostwald, 16.7.1891, in: Körber (Hg.), *Briefwechsel Wilhelm Ostwalds* (1961), Bd. 1., S. 35.

Mitglied der Preußischen Akademie der Wissenschaften gewählt. Helmholtz zollte Planck Lob, weil er bestimmte Ergebnisse, zu denen physikalische Chemiker mithilfe besonderer Hypothesen über Atome und Ionen gekommen waren, nach den thermodynamischen Hauptsätzen gesichert hatte. Helmholtz' Voraussage, dass die vormals zusammenhanglosen Teile der Physik und Chemie nach seinem Ermessen als einheitliches Ganzes gelten würden, erfüllte Planck mit Freude und gab ihm sogar das Gefühl, in seinen Ansichten gerechtfertigt worden zu sein.²⁹ Trotz der Indifferenz und Zweifel anderer schien er unverzagt den Gipfel der Wissenschaft wahrhaftig erklommen zu haben. Im Vorwort seines 1897 veröffentlichten Lehrbuchs, das seine verschiedenen Untersuchungen systematisch zusammenfasste, wies Planck darauf hin, nichts von Bedeutung gefunden zu haben, das verändert werden müsste. Auf dem Gebiet der klassischen Thermodynamik galt er jetzt und auch weiterhin als weltweit anerkannte Autorität.³⁰ Seine Meinung änderte er, wie wir wissen, nicht so leicht.

Allerdings erforderte die Ausdehnung der Thermodynamik auf Gebiete außerhalb thermochemischer Probleme, mit denen sich Planck befasst hatte, eine wesentliche Änderung

29. Vgl. Helmholtz, „Wahlvorschlag für Max Planck“, in: Kirsten und Körber, *Physiker über Physiker* (1975/79), Bd. 1, S. 125 f.; Einstein, *Die Naturwissenschaften* 1 (1913), 1077. Zu Plancks mehrfachen Klagen hinsichtlich seiner verzögerten Anerkennung vgl.: Hartmann, in: *Naturwissenschaftliche Rundschau* 11 (1958), S. 128–131; Born, in: *Royal Society of London, Obituary notices* 6 (1948), S. 163–166.
30. Vgl. hierzu: Planck, *Thermodynamik*, 1897 (1. Aufl.) und 1905 (2. Aufl.), „Vorwort“, S. III (1. Aufl.). Siehe auch Plancks Schriftwechsel in den Jahren 1891–1898 mit Wilhelm Ostwald, in: Körber (Hg.), *Briefwechsel Ostwalds*, Bd. 1, S. 51–67; Planck an Mach, 25.6. 1893, in: Heller, *Ernst Mach* (1964), S. 28 f.; Planck an Alfred Lande, 3.2.1926, AHQP 4/19.

seines Ansatzes, die darauf hinauslief, die Reichweite des Entropieprinzips einzuschränken und das Prinzip selbst zu durchlöchern. Die Folge davon war, dass auch Plancks Auffassungen über die Grundlagen der Thermodynamik umgestoßen wurden. Im Jahre 1890 begann Planck in diese „lèse-majesté“ gegen das Entropieprinzip einzuwilligen, um sein Strahlungsgesetz zu erhalten. Es war der vorletzte Schritt in einer Debatte, die Planck über die Beziehung zwischen dem Entropiegesetz und der atomistischen Hypothese zwei Jahrzehnte lang mit sich selbst führte.

Als Student in München hatte er die heftigen Wortgefechte des Chemikers Hermann Kolbe miterlebt, der den Atomismus als überflüssige und irreführende Interpretation chemischer Regelmäßigkeiten verdammt. 1881 war Planck seinerseits zu dem Schluss gekommen, dass der Atomismus dem Fortschritt der Wissenschaft möglicherweise nicht förderlich sein werde. Zu dieser Zeit schien ihm die Vorstellung von Atomen der Materie, die keine Richtung für Naturerscheinungen vorgab, unweigerlich im Widerspruch zum Prinzip der Vermehrung der Entropie zu stehen. Planck sah einen harten und fatalen Kampf zwischen diesen beiden Theorien voraus, bei dem eine der Verlierer sein würde. Er glaubte, mit gutem Grund annehmen zu können, „dass man trotz der großen bisherigen Erfolge der atomistischen Theorie sich schließlich doch noch einmal zu einer Aufgabe derselben und zur Annahme einer kontinuierlichen Materie wird entschließen müssen“.³¹

Hatte Planck die Hoffnung auf die Möglichkeit der Kompatibilität zwischen der Mechanik des Kontinuums und

31. Planck, PA, Bd. 1, S. 163 (1882). Siehe auch: ebd., Bd. 3, S. 148 f. (1924).

dem Entropieprinzip fast zwanzig Jahre lang genährt, so musste er beizeiten feststellen, dass es ihm ohne Rückgriff auf eine Vorstellung der molekularen Materie nicht gelingen würde, im Vorfeld der Thermochemie zu bleiben. Allein mit den Hauptsätzen der Thermodynamik hätte er die neue physikalische Chemie von Svante Arrhenius und J. H. van't Hoff, mit der er sich zwischen 1887 bis Mitte der 90er-Jahre befasste, weder weiterentwickeln noch zu ihrer Propagierung beitragen können. Wie er einem Kollegen 1890 schrieb, stehe den Physikern, die nach einer Erklärung der Leitfähigkeit von Flüssigkeiten und des osmotischen Drucks suchten, nur die Alternative zur Verfügung, in den molekularen Bereich vorzudringen, denn eine andere fruchtbare Theorie als diese gebe es nicht.³² Im Jahre 1887 zählte Planck die Hypothese von Avogadro über die molekulare Beschaffenheit der Gase zu „denjenigen Gesetzen [...], die uns unter allen als das zuverlässigste Fundament aller theoretischen Untersuchungen erscheinen“. Er schrieb ohne Vorbehalt über die Anzahl der Moleküle in Lösungen sowie das Verhalten der darin enthaltenen Ionen. In seiner preisgekrönten Göttinger Arbeit wies er darauf hin, wie leicht das Prinzip von der Erhaltung der Energie sich mit der weit verbreiteten Anschauung verbinden lasse, dass alle Naturerscheinungen als mechanische Prozesse dargestellt werden könnten, und er distanzierte sich ausdrücklich von jenen Zweiflern, die behaupteten, das Programm der mechanischen Reduktion beruhe auf „einer allzu engherzigen Auffassung der Naturerscheinungen“.³³

32. Planck an einen Kollegen, dessen Name nicht genannt wird, 8.7.1890, Deutsches Museum, Sondersammlung.

33. Planck, PA, Bd. 1, S. 271, 275 (1887); S. 289, 294 f. (1889); S. 350 ff.

Ganz das Gegenteil war jedoch der Fall. Der auffälligste Erfolg in der mechanischen Reduktion seit der Einführung der Thermodynamik in den 50er-Jahren des 19. Jahrhunderts war mittels der kinetischen Theorie der Gase erzielt worden, und gerade hier, so konstatierte Planck bei der jährlichen Versammlung der Gesellschaft Deutscher Naturforscher und Ärzte 1891, scheine der Fortschritt nicht länger in einem proportionalen Verhältnis zur aufgewendeten Arbeitsleistung zu stehen. Jeder, dem der „bewundernswürdige Aufwand von physikalischem Scharfsinn und mathematischer Geschicklichkeit“ im Zusammenhang mit den Untersuchungen molekularer Bewegungen bekannt sei, meinte Planck, könne hieraus kaum eine andere Schlussfolgerung ziehen als die, dass die Arbeit nicht der Mühe wert gewesen sei.³⁴ Deshalb gezieme es sich für den Analytiker, so weit wie möglich voranzukommen, ohne auf die atomistische, aber auch ohne auf irgendeine andere Hypothese zurückzugreifen. Wie erfolgreich auch immer frühere Hypothesen gewesen sein mochten, sie würden sich gegenwärtig als gefährlich erweisen, sogar zur „gefährlichste[n] Feindin des Fortschritts“ werden, sobald sich ihre Brauchbarkeit erschöpft hätte.³⁵ Wie dem auch sei, so meinte Planck in seiner Antrittsrede 1894 anlässlich seiner Aufnahme in die Preußische Akademie der Wissenschaften, die Hypothese der mechanischen Reduktion, ob auf Atome oder andere Elemente angewen-

(1890). Vgl. auch: Ostwald, *Lebenslinien* (1926–27), Bd. 2, S. 30 f.; Planck, *Erhaltung der Energie*, S. 1, 58 (1887).

34. Planck, PA, Bd. 1, S. 372–373 (1891). Siehe auch: Planck an Ostwald, 25.9.1891, in: Körber (Hg.), *Briefwechsel Ostwalds*, Bd. 1, S. 38; Ostwald, *Lebenslinien*, Bd. 2, 187 f.

35. Planck, *Thermochemie* (1893), S. III–IV. Dies war auch Plancks Botschaft in seinem Brief an Ostwald v. 1.7.1893, in: Körber (Hg.), *Briefwechsel Ostwalds*, Bd. 1, S. 50.

det, dürfte beim feinfühligem Theoretiker kaum Anklang finden, da sie nicht einschränkend genug sei. Im Gegensatz zur üblichen Kritik gegen die Mechanik, dass sie eine zu enge Grundlage für die Darstellung physikalischer Erscheinungen schaffe, schätzte Planck sie gering, weil sie zu diffus war: „Es gibt heute nicht ein einziges bestimmtes, sondern vielmehr eine Anzahl ganz verschiedenartiger mechanischer Modelle, von denen jedes den Verlauf der einzelnen physikalischen Vorgänge, soweit wir ihn gegenwärtig beurteilen können, widerzuspiegeln beansprucht: alle sind höchst kompliziert, und keines besitzt entscheidende Vorzüge vor den übrigen.“³⁶

Andererseits jedoch waren in der neuen physikalischen Chemie deshalb Fortschritte zu verzeichnen, weil sie die Annahmen und Gleichungen der rudimentären kinetischen Gastheorie auf aufgelöste Salze angewendet hatte. Wie Planck und andere Professoren, die für van't Hoff an der Akademie einen besonderen, außerplanmäßigen Lehrstuhl schaffen wollten, triumphierend verkündeten, sei ihr Kandidat „der Schöpfer eines neuen, fruchtbaren Zweiges der Molekularphysik“.³⁷ Entwickelte man van't Hoff's Einsichten gemäß den Hauptsätzen der Thermodynamik, sagte Planck bei der Naturforscherversammlung von 1891, dann käme man zu einer Erkenntnis, „die tiefer in die Welt der Moleküle blicken lässt als selbst die kinetische Theorie, die doch ausdrücklich von bestimmten Vorstellungen über diese Welt ausgeht“.³⁸

36. Akad. d. Wiss., Akademie-Ansprachen, S. 2 (1894); Kirsten und Körber, *Physiker über Physiker*, Bd. 2, S. 169 f. (1894).

37. Kirsten und Körber, ebd., Bd. 1, S. 135 f. (1895); Planck an Emil Fischer, 13.1.1895, TBL, NL Emil Fischer.

38. Planck, PA, Bd. 1, S. 373 (1891).

So wie sich Planck mit den Angaben der Ionentheorie der Lösungen nunmehr anzufreunden begann, hielt er eine definitive mechanische Reduktion für ebenso möglich wie wünschenswert. Eine Basis für die Einheit der Physik schien ausschließlich die durch das Energiekonzept gefestigte Mechanik zu bieten, denn, mit Plancks Worten, „die innigste Form des Zusammenhangs liegt eben nur in der Identität, und diese wird sich auf keinem physikalischen Gebiet besser durchführen lassen als in der Mechanik“.³⁹ In einem solchen Gemütszustand konnte er aber die thermodynamische Analyse bloß als den letzten Ausweg ansehen, der freilich nicht von der Macht, sondern von der Ignoranz der Wissenschaft Zeugnis ablegte. Möglicherweise wäre es sinnvoller gewesen, die verschiedenen Fäden der Physik aufgrund der Energie- und Entropiekonzepte provisorisch zu verknüpfen, als von vornherein danach zu streben, den Teppich des mechanischen Weltbildes auf einmal weben zu wollen. Das Weben konnte man allerdings nicht auf unbestimmte Zeiten hinausschieben, zumal das Wesen der Wissenschaft den Theoretiker dazu zwang – und der erste Hauptsatz der Thermodynamik ihm die Anreize gab –, alsbald zu seinem Webstuhl zu schreiten.⁴⁰

Die Bekehrung

Die durch die verschiedenen Erklärungen hervorgerufenen Spannungen – ganz zu schweigen von den Wider-

39. Akad. d. Wiss., Planck in seinen Akademie-Ansprachen, S. 1, 4 (1894); Kirsten und Körber, a.a.O., Bd. 1, S. 169, 170 (1894).

40. Akad. d. Wiss., a.a.O., S. 4 (1894); Kirsten und Körber, a.a.O., Bd. 1, S. 170 (1894); Planck, Thermodynamik, S. V (1897).

sprüchlichkeiten – nahmen im Jahre 1895 merklich zu, als Plancks Assistent Ernst Zermelo eine Lücke, die aufgrund des üblichen Umkehrinwandes gegen die mechanische Darstellung der Entropie erlaubt war, geschlossen zu haben schien. An dieser Stelle sei ein hilfreiches Beispiel angeführt. Wir gehen von zwei gleichen Volumina desselben Gases aus (eines ist heiß, das andere kalt), die durch eine Wand, die weder Hitze noch Moleküle durchlässt, getrennt sind. Die Wand fällt, die Gase vermischen sich und erreichen ein Gleichgewicht bei einer mittleren Temperatur. Wenn die Geschwindigkeiten aller Moleküle im Gleichgewicht wie durch ein Wunder umgekehrt würden, dann würde das Gas, rein hypothetisch betrachtet, zu gegebener Zeit zu seinem ursprünglichen Zustand zurückkehren, was aber im Widerspruch zum Entropieprinzip stünde. In der Mechanik gibt es nichts, was die Existenz eines Zustandes der umgekehrten Geschwindigkeiten und deshalb einen Prozess, der die Entropie verringert, ausschließt. Die Physiker waren dem logischen Ergebnis dieses Arguments bislang mit der Erklärung ausgewichen, dass Zustände umgekehrter Geschwindigkeiten, obwohl erlaubt, nicht vorkommen. Doch dem „Wiederkehrinwand“ Zermelos gemäß erreichen die Moleküle eines Gases Zustände umgekehrter Geschwindigkeiten spontan, denn solange genügend Zeit vorhanden ist, werden die Gesetze der Bewegung die Moleküle zu ihren ursprünglichen Positionen und Geschwindigkeiten – oder sehr nahe daran – zurückbringen. Vermehrt sich ihre Entropie an irgendeiner Stelle dieses Kreislaufs, dann muss sie sich an einer anderen Stelle verringern.⁴¹

41. Dugas, *La théorie physique* (1959), S. 192–208.

Boltzmann beantwortete diesen zwingenden Einwand, indem er seine Auffassung vom zweiten Hauptsatz der Thermodynamik als statistisches Prinzip abermals zum Ausdruck brachte, wonach sich die Entropie nicht immer, sondern nur fast immer vermehrt. Um Zermelos Hypothese zu widerlegen, musste er folgendermaßen argumentieren: Bewegt sich ein Gas im Gleichgewicht aus Zuständen der höheren in die der niedrigeren Entropie, dann verbraucht es eine verschwindend geringe Menge Zeit im Vergleich zum Zeitaufwand, der für seine Bewegung in die entgegengesetzte Richtung notwendig ist. Nach Boltzmann lag der physikalische Grund für diese immense Disparität darin, dass es eine überwältigend höhere Anzahl molekularer Konfigurationen im Zusammenhang mit der zunehmenden Entropie als im Zusammenhang mit der abnehmenden Entropie gab.⁴² In seinem Disput mit Boltzmann erhielt Zermelo die Unterstützung Plancks, obwohl dieser nicht so weit ging, die Möglichkeit einer mechanischen Untermauerung des Entropieprinzips auszuschließen.

In einem höchst interessanten Schreiben an seinen ehemaligen Studienkollegen Leo Graetz skizzierte Planck im Frühjahr 1897 eine Kompromissposition.⁴³ Befinden sich die Moleküle in einem bestimmten Muster eines Gases in einer unwahrscheinlichen Konfiguration, dann entwickelt sich das Gas – vielleicht trennt es sich in kältere und wärmere Teile – in eigenartiger Weise nur nach den Gesetzen der Mechanik. Sobald nämlich die anfängliche Konfiguration oder Lage spezifiziert wird, spielt die Wahrscheinlichkeit keine Rolle mehr. Nach Planck, der die Abnahme

42. Ebd., S. 208–218.

43. Kuhn, *Black-body theory*, S. 20–28.

der Entropie immer noch nicht zuließ, hätte Boltzmann alle anfänglichen Zustände, deren Entwicklung irgend einen Rückfall von der fortschreitenden Entropie herbeiführte, ausschließen müssen. Dies ließ sich anscheinend nicht rechtfertigen. Wie Planck bemerkte, „wäre [es] vollkommen unbegründet anzunehmen, dass die Veränderungen in der Natur immer in der Richtung von geringerer zu größerer Wahrscheinlichkeit erfolgen“. Mit dieser Aussage schien Planck den Ansatz Boltzmanns nicht für absolut falsch zu halten, sondern, um einen Ausdruck aus der Gastheorie zu benutzen, nur für unendlich unwahrscheinlich.

Es war mit Sicherheit einfacher und vielversprechender, den zweiten Hauptsatz als den allgemein gültigen zu sehen und die Gastheorie anzufechten, als diese, wie Planck bemerkte, „mit mathematisch kaum formulierbaren Voraussetzungen über den Anfangszustand der Welt“ aufrechtzuerhalten. Eine Beschwörung derartiger Argumente würde die Ignoranz zu einer unpassierbaren Barriere werden lassen und den „Verzicht auf jede tiefere Einsicht“ bedeuten. Andererseits würde aber auch Zermelos Forderung, jegliche Möglichkeit der mechanischen Darstellung auszuklammern, den Fortschritt hemmen. Hierin lag der Grund für den Kompromiss: Zermelos Erwägungen waren nur auf diskrete Massen, wie die in der Gastheorie, anwendbar. In einem Kontinuum hätte die Sache schon anders aussehen können, was Planck auch erwartete: „Ich glaube u[nd] hoffe sogar, dass sich auf diesem Wege eine streng mechanische Deutung des zweiten Hauptsatzes finden lassen wird.“ Er erwartete indes weder einen schnellen noch einen einfachen Sieg.⁴⁴

44. Planck an Graetz, 23.5.1897, Deutsches Museum, Sondersammlung.

Bis 1897 war Planck zu der Überzeugung gelangt, dass das wesentlichste Problem in der Physik nunmehr der Versöhnung der Mechanik mit der Thermodynamik galt. Dass er mit dieser Meinung zur Minderheit gehörte, wusste er freilich auch. In ganz Berlin, wie er Graetz mitteilte, befassten nur er und Zermelo sich ernsthaft mit dieser Frage. Ähnlich schrieb auch der offizielle Historiker des großen internationalen Physikerkongresses in Paris im Jahre 1890: Es gebe auf der ganzen Welt vermutlich nicht mehr als vier Physiker, die um die Lösung des Konflikts zwischen dem Atomismus und der Entropie bemüht seien.⁴⁵ Wie zuvor begab sich Planck auch dieses Mal beharrlich auf eine unpopuläre Suche. 1897 befasste er sich intensiv mit einer Reihe neuer Probleme in der Hoffnung, sie würden zu einer befriedigenden Darstellung der Entropie auf der Basis der Kontinuumsmechanik führen. Seine Hoffnung erfüllte sich auch, allerdings auf eine Weise, die er kaum vorhergesehen, geschweige denn gewollt hatte. Innerhalb von drei Jahren war ihm die Auflösung des scheinbaren Widerspruchs zwischen der Mechanik und dem zweiten Hauptsatz gelungen, während er gleichzeitig einen echten Gegensatz zwischen den allgemein anerkannten Lehren der Physik und den Folgen seiner eigenen Arbeit geschaffen hatte.

Die neuen Probleme bezogen sich auf das Gleichgewicht der Strahlung im Hohlraum. Im Gegensatz zur Gastheorie, die auf der Grundlage diskreter Materialteilchen aufbaute, bestand das von Planck untersuchte physikalische System aus kontinuierlichen elektromagnetischen Wellen. Es lasse

Dieser Brief wird teilweise in Kuhn, *Black-body theory*, S. 27–28, 265–266, zitiert. Vgl. auch: Planck, *Thermodynamik* (1897), S. V.

45. Planck an Graetz, 23.5.1897, Deutsches Museum, Sondersammlung. Picard, *Sciences* (1903), S. 32.

sich – so erklärte Planck einem Kollegen seinen Entschluss, gerade dieses Problem ins Auge zu fassen – als grundsätzlicher Probefall zur Überprüfung sowohl der Maxwell'schen Theorie als auch der Energielehre benutzen.⁴⁶ Planck erwartete, dass jegliche Verteilung der Strahlungsenergie im Hohlraum aufgrund der Maxwell'schen Gleichungen und der Thermodynamik zu einer rapiden Annäherung an die Entropie ohne Rückfälligkeit, die nach Boltzmanns Wahrscheinlichkeit zugelassen war, gezwungen werden würde. Wir haben bereits festgestellt, dass dieses Projekt ein Fehlgriﬀ war und dass Planck, um seine erfolgreiche Strahlungsformel als Theorie formulieren zu können, die Entropie der Hohlraumresonatoren eben doch den Ansichten Boltzmanns entsprechend behandeln musste. Mit dieser Bekehrung – die Bezeichnung ist angemessen – wurde Planck zum enthusiastischen Atomisten und zugleich offenen Gegner derjenigen, die immer noch glaubten, die Atomtheorie sei dem Wissenschaftsfortschritt abträglich.

Um seine Kompromissformel für die Strahlung im Hohlraum und seine Anwendung der Boltzmann'schen Verfahren in Übereinstimmung zu bringen, benutzte Planck zwei neue Hypothesen, die beide rückblickend revolutionär waren. Erstens errechnete er die Wahrscheinlichkeiten für verschiedene Energieverteilungen unter seinen Resonatoren auf eine andere Art und Weise, als Boltzmann dies mit seinen parallelen Kalkulationen in Bezug auf Gasmoleküle getan hatte. Zweitens teilte er die Gesamtenergie, die von allen Resonatoren bei einer gegebenen Frequenz ν geteilt wurde, in die Einheiten ϵ_ν , proportional zu ν auf, woraus der später berühmt gewordene Ausdruck $\epsilon_\nu = h\nu$ entstand. Später stellte

46. Planck an V. Bjerknes, 31.3.1898, Universitätsbibliothek Oslo.

sich heraus, dass Planck durch seine erste Hypothese eine Statistik eingeführt hatte, mit der sich eine Entität, das Photon oder Lichtquant, beschreiben ließ, die nicht von der Art der klassischen Moleküle und Resonatoren war. Darüber hinaus musste seine zweite Hypothese so weit modifiziert werden, dass sie auf einen einzelnen Resonator und nicht auf ein Kollektiv bezogen werden konnte. Hinsichtlich der zweiten Hypothese hatten Einstein und andere bereits vor Planck die Notwendigkeit einer restriktiven Form erkannt, in der die Energie eines Resonators entweder Null oder das integrale Vielfache eines „Energiequantum“ $h\nu$ sein musste.⁴⁷ Dass diese Quantelung im Widerspruch zum Konzept der Energie stand, mit dem Planck gearbeitet hatte, und nach Ansicht seines ehemaligen Physikprofessors die letzte bedeutende Entdeckung in der theoretischen Physik darstellte, braucht kaum erwähnt zu werden. Nach der konventionellen oder klassischen Physik ist die Energie eine kontinuierliche Quantität und kann einem Resonator in gleicher Weise zugeführt werden, wie z.B. Bier in beliebiger Menge getrunken werden kann. Nach der von Einstein erneut interpretierten Theorie Plancks kann jedoch der Resonator die Energie nur in gewissen Mengen aufnehmen, wie zum Beispiel der Trinker, der darauf besteht, sein Bier nur als Halbe zu schlürfen. Für die Physiker stellte sich jetzt das fundamentale Problem, warum die Natur es vorzog, zu schlürfen statt zu nippen. Bis im Jahre 1906 (oder 1908) hatte sich bei Planck die Erkenntnis Bahn gebrochen, dass der von ihm eingegangene Kompromiss in Bezug auf die Strahlung im Hohlraum etwas völlig Neues und zugleich Bedrohliches in der Welt der Physik entfesselt hatte. Daraufhin suchte er nach einer In-

47. Kuhn, Black-body theory, S. 97–110, 170–205.

terpretation der Konstante h , wonach die der Physik aufgezwungene Verwirrung infolge der Entdeckung, dass die Resonatorenenergie Einschränkungen unterliegt, auf ein Minimum reduziert werden würde. 1910 drückte er sich in der Art eines Schutzherrn aus, der sich auf die Seite einer bedrohten oder sogar aussichtslosen Sache schlägt: „Bei der Einführung der Wirkungsquanten h in die Theorie ist so konservativ als möglich zu verfahren, d.h. es sind an der bisherigen Theorie nur solche Änderungen zu treffen, die sich als absolut notwendig herausgestellt haben.“ Der Konservatismus, dem er immer schon geneigt war, wurde nunmehr zur Pflicht im Rahmen einer von Planck selbst aufgestellten Regel: Dem Wissenschaftler sei bei zunehmendem Alter und wachsender Autorität zur „gesteigerten Vorsicht und Zurückhaltung in der Betretung neuer Bahnen“ geraten.⁴⁸

Beständigkeit im Fluss

Das rätselhafte h repräsentierte den definitiven Wert einer der zwei universellen Konstanten in der erfolgreichen Strahlungsformel Plancks. Die andere, von Planck als k bezeichnete Konstante, brachte die mechanischen Maße der Energie in Beziehung zu den Maßen der Temperatur. Er demonstrierte ferner, dass durch das k auch die Entropie mit der Wahrscheinlichkeit im Zusammenhang stand, und nannte diese Größe, als Ausdruck seiner Dankbarkeit, die „Boltzmann'sche Konstante“. Dass das Verdienst für diese

48. Die Zitate finden sich jeweils in: Planck, PA, Bd. 2, S. 247 (1910), und Bd. 3, S. 314 (1906). Siehe auch: Akad. d. Wiss., Akademie-Ansprachen, S. 17 (1913).

Entdeckung Boltzmann zuerkannt wurde, sollte Planck später bereuen.⁴⁹ Trotz seiner mustergültigen Bescheidenheit empfand er darin eine Ungerechtigkeit. Die Definition des k und zugleich die Möglichkeit, diese Konstante mithilfe der in der PTR durchgeführten Messungen der Strahlung im Hohlraum exakt zu berechnen, waren die ersten, und einige Jahre lang die einzigen Früchte seiner neuen Theorie.

Hatte das h im Jahre 1900 keine offensichtliche Bedeutung, so spielte das k eine fundamentale Rolle in der Atomistik. Die damals übliche kinetische Theorie setzte das Produkt LkT in Beziehung zu dem messbaren Druck, der in der normalen Menge eines perfekten Gases vorhanden war. (Das L , Loschmidts oder Avogadros Zahl, ist die Bezeichnung für die Zahl der Moleküle in dieser Norm, und das T stellt die absolute Temperatur dar.) Im Jahre 1900 unterschieden sich die gebräuchlichen Werte des L durch einen Faktor von zehn oder mehr. Da die Kenntnis des L die Werte vieler anderer fundamentaler Größen einschließlich jener der absoluten Gewichte der Moleküle in der kinetischen Theorie der Gase festlegte, hatten sich aus Plancks erfolgreicher Arbeit über das Strahlungsgleichgewicht wider Erwarten höchst wichtige Informationen in Bezug auf die Atome ergeben. Und mehr noch als dies: Aus den elektrolytischen Messungen war die gesamte Ladung Q bekannt, die die Neutralisierung der Elektrizität der L Ionen erforderte. Deshalb konnte Planck die Elektrizitätsmenge, die auf einem einzigen Ion (Q/L) vorhanden war, berechnen, und diese La-

49. Planck, PA, Bd. 3, S. 395 (1948; zu Plancks Bezugnahme auf „ k die sog. Boltzmann'sche Konstante“ vgl. Planck an E. Freundlich, 30.3.1924, MPG-Archiv. Siehe auch: Planck, Theorie der Wärme (1930), S. 189, und die einschlägige Rezension von F. Henning, in: Die Naturwissenschaften 18 (1930), S. 882.

dung sollte, den damals neuen Theorien des Physikers J.J. Thomson entsprechend, die gleiche Größe haben wie die Ladung e , die von einem Kathodenstrahlteilchen bzw. Elektron getragen wurde. Aufgrund der Konstante k , die in Plancks Strahlungstheorie unerwarteterweise zurückgewonnen wurde, ergab sich ein Hinweis auf den Zusammenhang zwischen der Elektrodynamik und der Atomtheorie – oder in der Fachsprache jener Zeit gesagt – zwischen dem Äther und der Materie.⁵⁰ Damit war eine großartige Leistung vollbracht worden, für die es bislang noch kaum einen Präzedenzfall gab.

Neben ihrem praktischen Wert hatte die Berechnung der Atomkonstanten außerdem den Vorteil, dass sie ein ungewöhnlich wirksames Argument zugunsten der objektiven Existenz der Atome lieferte. Planck sah in seiner Kalkulation und der ihr zugrunde liegenden Analyse den Beweis dafür, dass die Fundamente des Energiekonzeptes und des zweiten Hauptsatzes der Thermodynamik tiefer reichten, als er vermutet hatte. Hier handelte es sich nicht um allein stehende und unabhängige Gesetze: Sie wurzelten in der Wahrscheinlichkeitstheorie, die wiederum die Existenz fundamentaler Partikeln voraussetzte. „Die Irreversibilität“, schrieb er, „[führt] mit Notwendigkeit zur Atomistik.“⁵¹ Da auch in ihm eine irreversible Veränderung stattgefunden hatte, kritisierte Planck fortan die Theoretiker, die Probleme nach den allgemeinen mathematischen Grundsätzen und ohne Rückgriff auf bestimmte Voraussetzungen der

50. Planck, PA, Bd. 1, S. 728–730 (1901), S. 743 (1902). Vgl. auch: Kuhn, Black-body theory, S. 110–113; Klein, in: *Physics today*, 19:11 (1966), S. 23–32; ders., Paul Ehrenfest (1970), S. 218–224.

51. Planck, *Thermodynamik*, S. VII (1905); ders., *Erhaltung der Energie*, S. 64 Anm. (1908); ders., *Acht Vorlesungen über theoretische Physik* (1910), S. 40 (Zitat).

molekularen Beschaffenheit der Materie zu formulieren versuchten.⁵²

Zweifellos waren es diese Leistungen, seine Bestätigung des Atomismus sowie die Berechnung der beiden Naturkonstanten, die Planck vor Augen hatte, als er seinem Sohn um die Jahrhundertwende mitteilte, dass er aufgrund seiner Strahlungsuntersuchungen zu den großen Entdeckern in der Physik gehören werde.⁵³ Mit Sicherheit waren diese Leistungen auch ausschlaggebend dafür, dass Planck 1907 und 1908 als Kandidat für den Nobelpreis für Physik, den er 1908 beinahe verliehen bekam, erwogen wurde. Er war vom Preisausschuss für Physik bei der Schwedischen Akademie der Wissenschaften als Preiskandidat vorgeschlagen und besonders dafür gelobt worden, die atomistische Vorstellung der Natur zu einer „sehr wahrscheinlichen“ gestaltet zu haben. Im Ausschuss stand eine Aufteilung des Preises zwischen Planck und Wien zur Debatte. Doch Arrhenius, dessen Stimme bei der endgültigen Auswahl der Kandidaten für die Chemie- und Physikpreise damals entscheidend ins Gewicht fiel, benutzte Plancks Untersuchungen über die Konstanten und Atome als Argument dafür, dass sie einen Beitrag zur Physik darstellten, der weit über die Verbesserung der Wien'schen Strahlungsformel hinausgehe.⁵⁴

Die energische Unterstützung, die Arrhenius Planck zukom-

52. Vgl. z. B. Planck, PA, Bd. 2, S. 2 (1902) in Bezug auf die Dispersionstheorien von Paul Drude und Woldemar Voigt, und: ebd., Bd 3, 298 f. (1906), wo Planck die Stichhaltigkeit einer physikalischen Theorie nicht in der Allgemeinheit ihrer Gleichungen, sondern in ihren besonderen Konzepten sieht.

53. Born, in: Royal Society of London, Obituary notices 6 (1948), S. 170 f.; Andrade, in: Nature 161 (1948), S. 284; Hermann, Planck in Selbstzeugnissen, S. 29.

54. „Protokoll Vid ... Nobelkommittés för fysik sammenträde“, 1908, 84, Nobel Archives, Kungl. Vetenskapsakademien, Stockholm; Bengt

men ließ, war nur Teil eines Planes, die Atomtheorie mithilfe umsichtiger Preisverleihungen zu fördern. In seinem offiziellen Empfehlungsschreiben für Planck betonte Arrhenius die Übereinstimmung zwischen dem Wert der elektronischen Ladung, der aus k errechnet wurde, und dem Wert, den Ernest Rutherford und Hans Geiger 1908 ermittelt hatten, in dem sie die Ionen (Alphateilchen) einzeln zählten. „Auf diese Weise“, schrieb Arrhenius, „ist uns höchst plausibel gemacht worden, dass die Ansicht über die aus Molekülen und Atomen beschaffene Materie im Wesentlichen richtig ist. Zweifellos ist dies das fruchtbarste Ergebnis der großartigen Arbeiten Plancks.“⁵⁵ Der Nobelpreisausschuss für Chemie brachte aber 1908 Ernest Rutherford in Vorschlag. Unglücklicherweise für Planck gelang es Arrhenius nicht, die gesamte Akademie für seinen Plan, den er sich so sorgfältig zurechtgelegt hatte, zu gewinnen. Obwohl der Nobelpreis für Chemie an Rutherford – zur großen Überraschung vieler Leute, einschließlich des Physikers selbst – ging, erfolgte kein entsprechender Physikpreis für Planck, womit eine derartige Funktionsumwandlung des Preises freilich begründet worden wäre.⁵⁶

In ihrer Entscheidung hatte sich die Mehrzahl der Mitglieder in der Schwedischen Akademie durch einen oder durch beide der folgenden Einwände, die gegen Planck erhoben

Nagel, The discussion concerning the Nobel prize for Max Planck. In: Bernhard u. a. (Hg.), *Science* (1982), S. 359–361.

55. Nagel, ebd., S. 362. Wilhelm Ostwald, einer von den wenigen, noch übrig gebliebenen Gegnern des Atomismus, der als Arrhenius' und van't Hoff's ehemaliger Verbündeter bei der Einführung der Ionen-theorie der Lösungen mitgewirkt hatte, erhielt 1909 den Nobelpreis für Chemie, und zwar kurz nachdem er öffentlich kundgegeben hatte, von der Existenz der Atome überzeugt worden zu sein.

56. Crawford, Arrhenius, in: *Isis* 75 (1984), S. 503–522, und dies., *The beginnings* (1984), S. 128–136.

worden waren, beeinflussen lassen: Zum einen hieß es, Planck sei nur deshalb zu seiner erfolgreichen Formel gekommen, weil er auf Wiens Arbeit habe aufbauen können, und aus diesem Grund gebühre ihm nicht allein der Preis; zum anderen fehle Plancks Formel – auch wenn diese mit großer Sicherheit durch das Experiment bestätigt worden sei – noch immer eine befriedigende theoretische Basis. Im Zusammenhang mit diesem Einwand berief man sich überdies auf die Autorität von Hendrik Antoon Lorentz, Professor für theoretische Physik an der Universität von Leiden, der von jedem urteilsfähigen Wissenschaftler als einer der größten Physiker bewundert wurde. Einstein schätzte sein Ansehen folgendermaßen ein: „Everything that emanated from his supremely great mind was as clear and beautiful as a great work of art; and one had the impression that it all came out so easily and effortlessly. [...] For me personally he meant more than all the others I have met on my life's journey.“ Lorentz sollte auch für Planck noch sehr bedeutend sein. Zu diesem Zeitpunkt allerdings erwies ihm Lorentz' Autorität, wenn auch ohne Absicht, einen schlechten Dienst. Lorentz' Beweisführung, die er beim Mathematikerkongress in Rom im April 1908 vortrug und die darauf hinauslief, dass sich Plancks Formel nicht von der klassischen Physik herleiten lasse, verblüffte die Schwedische Akademie. Niemand in Stockholm war sich bewusst gewesen, dass „Planck einen neuen, in früheren Zeiten unvorstellbaren Gedanken – nämlich den der atomistischen Struktur der Energie – zum Ausdruck gebracht hatte“.⁵⁷ Die Akademie fand sich nicht bereit, die Energie dem Ato-

57. Einstein zitiert in: Haas-Lorentz, H. A. Lorentz (1957), Nagel in: Bernhard u. a., *Science*, S. 363 f., Kuhn, *Black-body theory*, S. 190–195.

mismus unterzuordnen, und verlieh den Physikpreis für das Jahr 1908 an Gabriel Lippmann aus Paris für seine Erfindungen in der Farbfotografie.

Planck selbst schlug 1908 Rutherford als Kandidaten für den Physikpreis vor. Plancks Ruf als Gelehrter und seine weithin anerkannte Unparteilichkeit können daran gemessen werden, dass die Schwedische Akademie von 1901 an, als der Preis erstmals institutionalisiert wurde, ihn bis 1908 alljährlich ersuchte, Kandidaten für den Nobelpreis vorzuschlagen. In seinen Empfehlungen fand sich keine Spur von dem seinerzeit geläufigen tendenziösen Nationalismus: Er nominierte Wilhelm Conrad Röntgen einmal, und zwar in dem Jahr (1901), in dem er den Preis erhielt; für Lord Rayleigh stimmte er, bis zu dessen Preisverleihung, dreimal (1902/04); für Boltzmann bis zu dessen Tod zweimal (1905/06) und für Rutherford, bis dessen Arbeit preisgekrönt wurde, zweimal (1907/08). Nachdem die Akademie von der Trübung in der Strahlungsformel Plancks Kenntnis genommen hatte, bat sie ihn erst wieder 1911 um Ernennungsvorschläge – in diesem Jahr nominierte er Walther Nernst – und dann wieder 1916, woraufhin er Johannes Stark vorschlug.⁵⁸ Beiden Kandidaten wurde später der Physikpreis verliehen. Plank selbst kam 1919 an die Reihe, nachdem die aus seinen Untersuchungen gewonnene Quantentheorie in vielen Bereichen zu reicher Ernte geführt hatte und nachdem Dutzende von Physikern die preisverleihende Akademie in Stockholm dazu drängten, Plancks berechtigten Anspruch auf den Preis zu würdigen.

58. Das einschlägige Datenmaterial entstammt den Nobel Archives, Kungl. Vetenskapsakademien, Stockholm. Zur nationalistischen Gesinnung, kennzeichnend für bestimmte Ernennungsvorschläge, vgl. Crawford, *Beginnings*, S. 101–108.

Da Planck der Meinung war, das Problem der Hohlraumstrahlung in den Jahren 1900 und 1901 gelöst zu haben, schenkte er ihm keine besondere Beachtung mehr bis zum Jahre 1908, als Lorentz eindringlich auf die Diskrepanz zwischen der klassischen Physik und der Planck'schen Theorie verwies. Im Oktober dieses Jahres schrieb er an Lorentz, er werde fortan die Einschränkung der Resonatorenenergie auf ein ganzes Vielfaches der $h\nu$ Elemente zur Grundlage seines Systems machen. Einige Monate später schlug er die Rationalisierung dieser Einschränkung durch Bezugnahme auf den der Irreversibilität zugrunde liegenden Atomismus vor. Er argumentierte, dass die Strahlung wohl Entropie, nicht aber Materie besitze, und deshalb müsse sich der fragliche Atomismus auf die Energie beziehen, in Plancks Worten: „Bei der Wärmestrahlung [spielen] gewisse Energieelemente eine wesentliche Rolle.“ Dieser Gedanke war aber keineswegs so revolutionär, wie zunächst der Anschein erweckt wurde, denn der Atomismus musste sich ja nicht auf Strahlungsprozesse in einem Vakuum beziehen, sondern nur auf das „noch sehr rätselhafte Gebiet“: das Wunschland, wo sich Äther und Materie verbinden.⁵⁹ Die schwierigen Fragen, die er auf dem Gebiet der Physik aufgeworfen hatte, problematisierte Planck, solange dies überhaupt plausibel war, weiterhin im engen Bezugsrahmen der Wechselwirkung zwischen Strahlung und Elektronen.⁶⁰ Bis zum Jahre 1910 hatten Einstein, Nernst, Stark und andere das Konzept der Energiequanten auf Bereiche, die weit

59. Planck an einen ungenannten Kollegen, 30.4.1900, Museum Boerhaave, Leiden; Planck an Lorentz, 7.10.1908 und 16.6. 1909, in: Kuhn, Black-body theory, 304 f.; Planck, Acht Vorlesungen, 44 f. (Zitat). Vgl. auch: Hermann, Frühgeschichte, S. 47–56.

60. Planck an Wien, 12.7.1914, AHQP; Sommerfeld, in: Die Naturwissenschaften 5 (1918), S. 197f.

über den der Hohlraumstrahlung hinausgingen, angewendet. Im Hinblick darauf meinte der nunmehrige Kollege Plancks an der Berliner Universität, Walther Nernst, dass es an der Zeit sei für eine „Gipfelkonferenz“ über Strahlungs- und Quantenprobleme. Doch dem bedächtigen Planck, der immer noch unangenehm berührt war von der Turbulenz, die er in die Physik hineingebracht hatte, schien eine internationale Konferenz noch verfrüht. Wie er sich Nernst gegenüber äußerte, gebe es, was die anliegenden physikalischen Probleme betreffe, zu wenig Fakten und überdies zu wenige Physiker mit dem Bewusstsein „der dringenden Notwendigkeit einer Reform“. Doch Nernst ließ sich, genauso wenig wie Planck, nicht leicht entmutigen. Er konnte den belgischen Industriellen Ernest Solvay, der sich gerne als Philosoph ausgab, von der ‚dringenden Notwendigkeit‘ einer Konferenz überzeugen, woraufhin dieser für die Kosten einer für den 21. November 1911 anberaumten Tagung in Brüssel, an der 21 der führenden Physiker Europas teilnahmen, bürgte.

Die Experimentalphysiker Berlins (Rubens, Nernst und Emil Warburg) bestätigten, dass Plancks Strahlungsformel immer noch mit allen Fakten übereinstimme und dass mit der Ausdehnung dieser Formel auf die spezifischen Wärmen von Festkörpern deren Messungen wiedergegeben würden. Lorentz, Einstein, Sommerfeld und andere Theoretiker stellten sich auf den Standpunkt, „Plancks Konstante“ h kündige etwas völlig Neues in der Physik an. Sie waren sich allerdings nicht einig, wie diese neue Entdeckung zu orten sei.⁶¹ Planck selbst argumentierte, dass die Lücke zwischen der

61. Planck an Nernst, 11.6.1910, in: Hermann, Frühgeschichte, S. 153 f. Vgl. auch: Kuhn, Black-body theory, S. 230.

Quanten- und der klassischen Theorie bereits zu weit auseinander klaffe, um von den allgemein anerkannten physikalischen Konzepten überbrückt werden zu können. Zwar vermochte der Solvay-Kongress nicht, wie Planck vermutet hatte, die Fragen zu lösen, zu deren Diskussion er einberufen worden war, dennoch blieb er ein unvergessliches Erlebnis für ihn. Er wurde zum Markstein in der Errichtung eines neuen, expansiven physikalischen Gebietes, das auf seinen eigenen Pionierarbeiten fußte, und erwies ihm den persönlichen Respekt, den die Physiker aus aller Welt vor ihm hatten. Die Sitzungen waren intensiv und ermüdend, und Planck war erleichtert, als sie zu Ende gingen. Trotzdem sollte ihm dieser Aufenthalt in Brüssel fortan in Erinnerung bleiben als eine Zeit, die wissenschaftlich spannend und persönlich höchst befriedigend war.⁶²

3. Der enthusiastische Relativist

Bevor er sein Studium der Quantentheorie wieder aufnahm, befasste sich Planck einige Jahre mit der Erweiterung der von Einstein im Jahre 1905 veröffentlichten Relativitätstheorie. Einstein kann als Plancks zweite große physikalische Entdeckung betrachtet werden, zumal dieser als erster bedeutender Theoretiker die Ideen Einsteins aufgriff und durch seine Unterstützung, so urteilte Einstein, die unverzügliche Anerkennung dieser neuen Ideen unter den Physikern bewirkte.⁶³ In seinem ersten Kolloquium im Wintersemester

62. Institut International de Physique Solvay, *La théorie du rayonnement* (1912), S. 108 f.; Planck an Wien, 8.12.1911, StaBi Dahlen, Autogr. I/285; Planck an Lorentz, 11.10.1913, LTZ/4.

63. Einstein, in: *Die Naturwissenschaften* 1 (1913), S. 1079. Vgl. auch:

1905/06 referierte Planck über die Relativitätstheorie und berichtete einen Fehler, der sich in Einsteins ursprüngliche Darlegung eingeschlichen hatte.⁶⁴ 1906 verteidigte er Einsteins Theorie vor der Naturforscherversammlung gegen die von Walther Kaufmann durchgeführten Experimente, die die Relativitätstheorie zu widerlegen schienen.

Kaufmanns experimentelle Technik und Messungen, monierte Planck, reichten nicht aus, um zu entscheiden, welche von den verschiedenen, derzeit geläufigen Theorien in der Lage sei, die Veränderungen der Masse mit der Geschwindigkeit vorauszusagen.⁶⁵ Mit Ausnahme von Einsteins Theorie postulierten alle anderen ein elektronisches Modell: Sphären, die starr oder verformbar seien, mit einer Ladung, die sich über das gesamte Volumen oder nur auf der Oberfläche verteile; sie alle stellten willkürliche Gebilde dar, sie alle seien ihm, Planck, zuwider. Einsteins Theorie bedürfe keiner dieser Hypothesen und besitze darüber hinaus den Vorteil, ohne besonderes Koordinatensystem auszukommen. Zu dieser Zeit glaubte Planck, die Relativität verdiene als Hauptschwerpunkt in das Programm der theoretischen Physik schon allein deswegen aufgenommen zu werden, weil sie die Elektrodynamik bewegter Körper vereinfachte. Später sprach er von der Erleichterung, die die Fortsetzung von Einsteins Ideen in der Physik den verblüfften Elektrodynamikern verschafft habe.⁶⁶

Born, *My life* (1978), S. 130, wo er sich daran erinnert, dass die Nachricht über Plancks Billigung der Einstein'schen Relativitätstheorie ihn zu deren Studium anregte.

64. Laue, in: *Die Naturwissenschaften* 35 (1948), S. 3.

65. Planck, *PA*, Bd. 2, S. 121–135 (1906), 210–214 (1907). Vgl. auch: Goldberg, in: *Historical Studies in the physical sciences*, 7 (1976), S. 127, 131f., 154. (Im Nachfolgenden als HSPS zitiert).

66. Planck, *PA*, Bd. 2, S. 115 f. (1906); ders., *The new science* (1959), S. 50.

Anscheinend war Planck von den Paradoxen der Relativität, der Kontraktion des Raumes, der Dehnung der Zeit, der Mischung von Raum und Zeit, nicht beunruhigt. Er fand sogar Gefallen an ihnen: Paradoxe entständen ja nur, erklärte er später einmal, aus menschlichem Empfindungsvermögen. Die Fähigkeit der Physiker, sogar so tief verwurzelte Intuitionen wie die von Raum und Zeit zu transzendieren, nährte die Hoffnung, dass es der Menschheit gelingen werde, eine wahrhaft universelle Physik zu entwickeln – eine Physik, die für Marsbewohner genauso akzeptabel sein werde wie für uns. Etwa zur gleichen Zeit drängte Planck auf ein ähnliches Patentrezept, das die Verarbeitung der Wahrscheinlichkeitsdeutung des zweiten Hauptsatzes erleichtern würde: Dank der Boltzmann'schen Methode, die den Theoretiker von der thermodynamischen Analyse alten Stils, in der Gedankenexperimente die Hauptrolle spielten, befreit habe, sei ein von anthropomorphen Aspekten entleertes und von der „menschliche[n] Experimentierkunst“ unabhängiges Konzept der Entropie geschaffen und der zweite Hauptsatz der Thermodynamik zu einem „realen Prinzip“ emporgehoben worden.⁶⁷

In der Relativitätstheorie ist es eine der auffallenden Absonderlichkeiten, dass die übliche Regel für die Addition von Geschwindigkeiten entlang einer geraden Linie, $w = u + v$, nicht mehr gültig ist. Der Verstoß gegen diese Regel – eine Folge des Einstein'schen Postulats, nach dem die Lichtgeschwindigkeit im freien Raum für jeden Beobachter gleich ist – zeigte die Notwendigkeit, die als unantastbar geltende Naturanschauung Newtons, aus der die übliche

67. Planck, Acht Vorlesungen, S. 43. Vgl. auch: ders., PA, Bd. 1, 380 f. (1891).

Additionsregel unmittelbar hervorgegangen war, zu revidieren. Es war Planck, der das Sakrileg dieser Revision auf sich nahm. Er konnte bereits 1906 an einem einfachen Beispiel zeigen, wie Newtons Bewegungsgesetze im Geiste der Relativität neu zu formulieren waren.

In den folgenden zwei Jahren arbeitete er eine relativistische Dynamik, basierend auf dem Prinzip der kleinsten Wirkung, und damit eine allgemeine Formulierung der klassischen Mechanik aus, die den einzigartigen Vorteil besaß, dass sie in gleicher Form in allen relativistisch äquivalenten Bezugssystemen zum Ausdruck gebracht werden konnte. Den Gesetzen der Erhaltung der Energie und der Bewegungsgröße war der Vorzug dieser relativistischen Unveränderlichkeit, wie Planck dies sah, nicht gegeben: „Über beiden Prinzipien [...] thront, sie gemeinsam umfassend, das Prinzip der kleinsten Wirkung, welches somit alle reversiblen Vorgänge der Physik zu beherrschen scheint.“⁶⁸ Seit seiner erstmaligen Formulierung Mitte des 18. Jahrhunderts fesselte das Prinzip der kleinsten Wirkung die zum Philosophieren neigenden Physiker immer wieder deswegen, weil es in den Naturvorgängen ein Endziel oder einen Zweck vermuten lässt. (Das Prinzip erfordert den Ablauf jedes mechanischen Prozesses, so dass die „Wirkung“, eine mathematische Funktion der Bewegungsgrößen und der Positionen der in Frage kommenden Partikeln, einen Minimalwert annimmt. Der Teleologe mag den Wunsch empfinden, die „Wirkung“ als eine exakte Formulierung des Diktums „natura nihil facit frustra“ zu betrachten.) Plancks Lehrer und Kollege Helmholtz hatte die weitgehende Anwendbarkeit des Prinzips der kleinsten Wirkung demonstriert, und jetzt beschritt

68. Planck, PA, Bd. 3, S. 100 f. (1914).

Planck diesen ihm zugänglichen Weg, der „zu einer einheitlichen Auffassung aller Naturkräfte“ führen sollte.⁶⁹ Empfehlenswert machten in Plancks Augen das Prinzip zweifellos auch der in seiner Formulierung mitschwingende teleologische Unterton sowie dessen historischer Hintergrund.

Als Planck die Konsequenzen der Prinzipien der Relativität und der kleinsten Wirkung im Allgemeinen aufzeigte, befasste er sich zunächst mit dem einen physikalischen System, dessen verschiedene Eigenschaften (dynamische, elektrodynamische und mechanische) sowohl mit absoluter Präzision als auch, seines Erachtens, unabhängig von speziellen Theorien festgestellt werden konnten. Es war indes sein eigenes, in einem Hohlraum eingeschlossenes System der Strahlung, das er Mitte 1907 immer noch als einen der klassischen Physik entsprechenden Vorgang zu betrachten schien. Plancks Ausarbeitung ergab unter anderem den allgemeinen Beweis der berühmten relativistischen Äquivalenz von Masse und Energie, $m = E/c^2$, ferner ein Argument dafür, dass die Entropie, ebenso wie die sie definierende Wahrscheinlichkeitsrechnung, eine relativistische Invariante sein muss, außerdem Transformationsgleichungen für Druck und Temperatur und schließlich eine Reihe von Invarianten. In diesem Zusammenhang verwies Planck auf eine höchst befriedigende Folge der Unveränderlichkeit des physikalisch-historisch-teleologischen Prinzips der kleinsten Wirkung: „Nimmt man hinzu den Satz, dass für die Wirkungsgröße ein ganz bestimmtes Elementarquantum existiert [...] so kann man auch sagen: Einer jeden Veränderung in der Natur entspricht eine bestimmte, von der Wahl des Bezugs-

69. Ebd., S. 323 (1906). Siehe auch: Planck an Einstein, 6.7.1907, AE.

systems unabhängige Anzahl von Wirkungselementen.“⁷⁰ Die Zahl der Quanten musste offensichtlich invariant sein, und ihr Maß, Plancks Quantum h , musste eine wahrhaft profunde Bedeutung haben.

Zwischen Planck und Einstein sollte es noch zu einer Beziehung kommen, die sich so kompliziert und problematisch gestaltete wie das Verhältnis zwischen den Wirkungsquanten und der Relativität. Planck zollte der Arbeit Einsteins größte Bewunderung und verglich sie gerne mit den Leistungen von Kopernikus.⁷¹ Einstein hingegen beurteilte Planck zunächst eher im Sinne Kopernikus' Gegner, das heißt „verrannt in einige ohne Zweifel falsch vorgefasste Meinungen“. Dies jedenfalls war Einsteins Meinung nach seiner Begegnung mit Planck beim Solvay-Kongress 1911. Daran hatte sich auch 1913 nicht viel geändert; Einstein schätzte Planck ebenso gering wie alle anderen führenden Theoretiker in Deutschland, die seiner verallgemeinerten Fassung der Relativität kein Verständnis entgegenbrachten: „Laue [Plancks Lieblingsschüler] ist den prinzipiellen Erwägungen nicht zugänglich, Planck auch nicht, eher Sommerfeld. Der freie unbefangene Blick ist dem (erwachsenen) Deutschen nicht eigen (Scheuleder!).“⁷² Einstein stellte aber

70. Planck, PA, Bd. 2, S. 180–183, 188, 191 f., 198 (Zitat), S. 202–207; Goldberg, in: HSPS 7 (1976), S. 137–141. Vgl. auch: Planck an Einstein, 6.7.1907, in: Hermann, in: PB 25 (1969), S. 434.

71. Ein frühes Beispiel hierzu ist Plancks Schreiben an Felix Ehrenhaft, 1908, in: Max Planck zum Gedächtnis, in: PB 4, (1948), S. 169 f.

72. Einstein an Heinrich Zangger, 16.11.1911, in: Seelig, Helle Zeit – Dunkle Zeit (1956), S. 43; Einstein an Michele Besso, 1913 (gegen Ende des Jahres), in: Einstein und Besso, Correspondance (1972). Planck an Wien, 12.7.1914, AHQP. Dass Planck einen Vorschlag, die allgemeine Relativitätstheorie zu überprüfen, bereits im Jahre 1912 unterstützt hatte, war Einstein nicht bekannt. Vgl. Planck an Karl Schwarzschild, 21.1.1913, AHQP.

auch die Möglichkeit in Rechnung, dass ein solcher Widerstand Zeichen der Kraft hätte sein können, sofern dieser – wie in Plancks Fall – in der Überzeugung von sehr allgemeinen Prinzipien und deren bestätigten Konsequenzen wurzelte. „Es ist dieses“, wie Einstein zum Verhalten Plancks bemerkte, „für seine ganze Arbeitsweise, vielleicht überhaupt für die Methode des reinen Theoretikers charakteristisch.“⁷³

Um den sprunghaften und unkonventionellen Einstein in die gesetzten Kreise der Berliner Physiker einzuführen, stellten Planck und Nernst eine Reihe verlockender Sinekuren zusammen: Eine ordentliche Mitgliedschaft mit hohem Gehalt bei der Preußischen Akademie, eine Professur ohne Lehrverpflichtungen an der Berliner Universität, die Direktorenstelle bei dem zur Zeit noch nicht existierenden Kaiser-Wilhelm-Institut für Physik.⁷⁴ Im Ersten Weltkrieg lernten Planck und Einstein einander dann persönlich schätzen und kamen sich auch als Physiker näher. Nachdem Planck die allgemeine Relativitätstheorie einer sorgfältigen Überprüfung unterzogen und sich von ihr hatte überzeugen lassen, gab er ihr, „allerdings nur als Theoretiker“, seine Zustimmung. „Er [Planck] ist ein prächtiger Mann“, schrieb Einstein seinem alten Freund Michele Besso. „Meine sonstigen Erfahrungen mit Kollegen zeigen ein erschreckendes Vorwiegen des Allzumenschlichen!“⁷⁵ Die Beziehung zwi-

73. Einstein, in: *Die Naturwissenschaften* 1 (1913), S. 1077.

74. Kirsten und Körber, *Physiker über Physiker*, Bd. 1, S. 201–203; Kirsten und Treder, *Albert Einstein in Berlin* (1979), B. 1, S. 95–105. Vgl. auch: Planck an Wien, 31.7.1913, AHQP.

75. Zu den Zitaten vgl. jeweils: Planck an Wien, 30.10.1919, AHQP; und Einstein an Besso, 21.12. [1915], in: *Einstein und Besso, Correspondance*, S. 61. Siehe auch: Hermann, *The new physics* (1979), S. 34; Oseen an Bohr, 3.3.1916: „What constitutes Planck's great strength

schen Einstein und Planck festigte sich später so weit, dass sie sogar von ihren scharf divergierenden politischen Ansichten nicht erschüttert werden konnte. Dass ‚Allzumenschliche‘ überwog aber schließlich doch und das herzlich-kollegiale Verhältnis, das Einstein und Planck in der Weimarer Zeit verband, schützte nicht gegen den endgültigen Bruch in der NS-Zeit.

4. Der engagierte Pädagoge

Während sich Einstein bald von seiner ersten Frau trennte und seine zwei Kinder nach der Scheidung mit der Mutter lebten, zog Planck in einem vollkommen zufriedenen Eheleben vier Kinder groß; seine erste Frau verstarb 1909 nach 23 Jahren harmonischer Ehe. Eineinhalb Jahre später verheiratete sich der damals fünfzigjährige Planck wieder. Obwohl zutiefst betroffen von seinem schmerzlichen Verlust, drängte es ihn dazu, eine neue Verbindung einzugehen: Er brauchte eine Ehefrau für sein Haus und seine Kinder, er bedurfte einer vertrauten Lebensgefährtin, und darüber hinaus war es seinerzeit üblich für einen Professor, verheiratet zu sein. Seine zweite Frau, Marga von Hoeßlin, eine Nichte seiner ersten, war ihm zeit seines Lebens eine große Stütze. Einstein, der sich mit 35 Jahren von seiner ersten Frau trennte, lebte alleine bis 1919 und heiratete dann eine Cousine, vornehmlich aus dem praktischen Grund, häuslicher Sorgen entlastet zu sein.⁷⁶ Planck, konservativ und imperia-

seems to me to be that he aims at such a logical purity“, in: Bohr, *Collected works*, Bd. 2, S. 570.

76. Planck an Runge, 28.7.1909, StaBi Dahlem, NL Runge; Planck an Emma Lenz, 27.10.1909 und 19.10.1920, MPG-Archiv; Hermann,

listisch, war ein ausgesprochener Familienvater, Einstein, linksorientiert und von humanitärer Gesinnung, ein Einzelgänger. Er liebte den derben Witz und hielt es nicht für unter seiner Würde, im Beisein von Studenten und Journalisten seiner Vorliebe für den Sarkasmus zu frönen. Obwohl ein geselliger Mensch, verhielt sich Planck dagegen sehr reserviert. Richtig genießen konnte er den gesellschaftlichen Kontakt nur mit Leuten seines Standes, mit denen er gerne zuweilen ein Glas Wein und eine Zigarre genoss oder gar einen feinen Witz teilte.⁷⁷ Letztlich jedoch bevorzugte er die Gesellschaft seiner eigenen Familie. Als junger Mann hatte er einmal geschrieben: „Ich weiß selber, wie wunderschön es ist, einmal alles andere beiseite zu legen und nur ganz in der Familie zu leben.“ Hier, und nicht im Kreise seiner Kollegen und Bekannten, ließ er seinem herzlichen Wesen freien Lauf. Diese Eigenschaft beschrieb Marga Planck: „[...] so ganz menschlich und temperamentvoll hat er sich doch überhaupt nur in der Familie [...] gegeben.“⁷⁸

Planck bezog mit seiner Familie ein geräumiges Haus mit einem großen Garten, das nach seinen Angaben im ländlichen Grunewald, der von Professoren bevorzugten Wohngegend Berlins, gebaut worden war. Zu seinen Nachbarn und engeren Kollegen gehörten der prominente Historiker Hans Delbrück, der sich auf Militärgeschichte spezialisiert hatte und Planck während des Ersten Weltkriegs zu gemäßigteren politischen Ansichten verhalf, und Delbrücks

Planck in Selbstzeugnissen, S. 20, 39, 45; W. H. Westphal, in: Max Planck zum Gedächtnis. In: PB 4 (1948), S. 168; Clark, Einstein (1971), S. 176 f., 193, 220 f.

77. Marga Planck an Ehrenfest, 26.4.1933, ESC; Gerlach, Die Quantentheorie (1948), S. 29.

78. Planck an Runge, 31.7.1877, StaBi Dahlem, NL Runge; Marga Planck an Einstein, 1.2.1948, AE.

Schwager, der Theologe, Historiker und Wissenschaftsorganisator Adolf von Harnack, mit dem Planck in den Nachkriegsjahren bei der Organisierung der deutschen Wissenschaft eng zusammenarbeitete.⁷⁹

In der Planck'schen Villa wurde mit großer Regelmäßigkeit Musik gepflegt. Planck selbst spielte mit der Perfektion eines Berufsmusikers Klavier. Als Student hatte er Lieder und eine vollständige Operette komponiert, die in den Privatwohnungen der Professoren anlässlich musikalischer Soirees aufgeführt wurden. Er hatte bei einem akademischen Gesangverein als zweiter Chormeister gewirkt, die Orgel bei Gottesdiensten in der Universitätskapelle gespielt, ein Orchester dirigiert, Harmonielehre und Kontrapunkt studiert. Bei Veranstaltungen in seinem eigenen Haus übernahm Planck gewöhnlich verschiedene musikalische Rollen. Manchmal war es der Klavierpart für seinen eigenen Freund, den ausgezeichneten Violinisten Joseph Joachim, dann wieder spielte er in Trios, bei denen auch Einstein gelegentlich mitwirkte, oder er leitete einen Chor, in dem Freunde, Nachbarskinder oder seine Zwillingsstöchter, die seine Musikalität geerbt hatten, mitsangen. Vor dem Krieg traf sich diese bunt gemischte Singgruppe alle zwei Wochen. Planck besaß damals noch ein so perfektes Gehör, dass er kaum ein Konzert, geschweige denn das Singen der Nachbarskinder, genießen konnte. Mit der Zeit verschwand, ähnlich wie seine absolutistische Einstellung zu politischen Fragen und zur Thermodynamik, diese Perfektion des Gehörs und er hörte die Musik mit größerem Genuss.⁸⁰

79. Westphal, in: *Die Naturwissenschaften* 45 (1958), S. 234; ders., in: *Max Planck zum Gedächtnis*. In: PB 4 (1948), S. 167; von Zahn-Harnack, *Adolf von Harnack*. (2. Aufl. 1951), S. 343.

80. Planck an Max Schirmer, 26.12.1923, MPG-Archiv; Hermann, Planck

Planck musizierte nicht nur zur Entspannung und Erholung. Die Musik, wie der Neffe seiner Frau, Hans Hartmann, schrieb, stellte auch einen Bereich in Plancks Leben dar, in dem sich sein Geist frei entfalten konnte. Sein musikalisches Repertoire enthielt zwar alle Klassiker, dennoch spielte er Schubert und Brahms lieber als Bach und er bewunderte Schumann. Bei Bach schätzte er vor allem die pathetischen und gefühlvollen Teile der Matthäus-Passion. In diesen Vorlieben offenbarte sich der in seinem äußerlich zurückhaltenden Wesen verborgene starke romantische Zug.⁸¹ Plancks Romantizismus war, bei der Suche nach einem Weltbild, das das Menschliche transzendierte oder darüber hinaus ging, und in seinem Empfinden für Tradition und Vaterland, wie aus einem Stück geschnitten.

Plancks Denken und Handeln waren in erster Linie auf die bedeutendsten Institutionen der Wissenschaften, die Friedrich-Wilhelms-Universität und Preußische Akademie der Wissenschaften, die sich in Berlin, dem wissenschaftlichen Zentrum Deutschlands, befanden, gerichtet. Ebenso intensiv befasste er sich mit der Deutschen Physikalischen Gesellschaft (offiziell gegründet als Physikalische Gesellschaft zu Berlin), die nicht nur auf dem physikalischen Gebiet weltweit führend war, sondern auch die renommierteste Fachzeitschrift, die „Annalen der Physik“, herausgab. An

in Selbstzeugnissen, 23–25; ders., *The new physics*, S. 34; Hartmann, *Planck als Mensch und Denker*, S. 11; Laue, in: *Die Naturwissenschaften* 45 (1958), S. 223; von Zahn-Harnack, in: *Max Planck zum Gedächtnis*. In: *PB* 4 (1948), S. 165–167; Hahn, MPG, *Mitteilungen* (1957), S. 243.

81. Hartmann, *Planck als Mensch und Denker*, S. 11 f., *Planck an Schäfer*, 24.12.1935, Heinrich-Heine-Institut, Düsseldorf, NL Wilhelm Schäfer; *Planck an Laue*, 15.2.1942, Deutsches Museum, Sondersammlung; Westphal, in: *Die Naturwissenschaften* 45 (1958), S. 234.

der Universität und an der Akademie fanden jeweils allwöchentlich ein Kolloquium und eine Sitzung statt, und die Physikalische Gesellschaft traf alle vierzehn Tage zusammen. Planck versäumte keine der Sitzungen. Zudem wurde er von den üblichen Pflichten eines Professors, der an einer großen Universität lehrte, einschließlich „den ewigen Sitzungen, Examina [und] Berichtabfassungen“ in Anspruch genommen.⁸² Sein Gehalt betrug 4400 Mark und der ihm gewährte Wohnzuschuss 900 Mark. Dieser Betrag, zusammen mit 900 Mark Gehalt von der Akademie, brachte ihm aus seinem Beruf ein Grundeinkommen (ausschließlich Honorare und Tantiemen) von 6200 Mark ein, was etwas unter dem Durchschnitt der Einkünfte ordentlicher Physikprofessoren um 1900 lag.⁸³ Zur Instandhaltung der schönen Villa im Grunewald waren die zusätzlichen Einkünfte aus Honoraren und Tantiemen, vielleicht auch noch einige von seiner Frau beigesteuerte Beträge, zweifellos notwendig.⁸⁴ Das starke Pflichtgefühl und die Besonnenheit seines Handelns ließen Planck zu einem der prominentesten Staatsbürger und sogar zum Hüter der Universität werden. Als die Nachfolge des im Jahre 1894 verstorbenen Professors für Experimentalphysik August Kundt aktuell wurde, nahm es

82. Planck an Sommerfeld, 11.9.1899, AHQP 33/3, teilweise exzerpiert in: Kangro, Vorgeschichte, S. 148; Planck an van 't Hoff, 25.12.1894, und Planck an F. A. F. C. Went, 4.2.1928, Museum Boerhaave, Leiden; Planck an Emil Fischer, 14.12. 1907, StaBi Dahlem, acc. Darmst. 1917.141.

83. Planck an Fischer, 8.5.1895, TBL, NL Emil Fischer; Forman, Heilbron und Weart, in: HSPS 5 (1975), S. 40–42.

84. Die Tantiemen aus Plancks vielen Lehrbüchern und wissenschaftlichen Aufsätzen beliefen sich durchschnittlich auf 1000 Mark oder mehr pro Jahr. Einer seiner Aufsätze von 1919 brachte ihm in der ersten Auflage fast 700 Mark ein. Vgl. Davidis (Hg.), Wissenschaft und Buchhandel (1985), S. 54 f.

Planck auf sich, den mächtigen Ministerialdirektor im preußischen Kultusministerium, Friedrich Althoff, mit dieser Angelegenheit zu konfrontieren. Die Wahl eines geeigneten Nachfolgers war von höchster Bedeutung, zumal sie nicht nur das wissenschaftliche Zentrum Preußens, die Universität, betraf, sondern auch ein Fach, das dank seiner zunehmenden Relevanz für die Technik eine rapide anwachsende Anzahl Studierender verzeichnete.⁸⁵ Die Philosophische Fakultät empfahl Emil Warburg als Nachfolger Kundts. Der Grund, warum Althoff zwischen den Kandidaten schwankte, war, wie Planck irritiert feststellte, „nur [der], um dem von der Fakultät gemachten Vorschlage aus dem Wege zu gehen“. „Man braucht kein Philosemit zu sein“, bemerkte er in Anbetracht der Tatsache, dass Warburg Jude war, „um ein solches Treiben, das sich im Grunde über die sachlichen Rücksichten [...] u[nd] außerdem über die Autorität der Fakultät, die doch ihre Beschlüsse auch sorgfältig überlegt hat, hinwegsetzt, im höchsten Maße bedenklich zu finden.“ Planck suchte nach einer Gelegenheit, um ein offenes Wort mit dem Ministerialdirektor zu sprechen. Vielleicht fand er sie auch, denn Warburg, der Plancks allgemeine Weltanschauung teilte, wurde schließlich doch der Nachfolger Kundts.⁸⁶

Ein weiteres Beispiel für die Besonnenheit, mit der Planck seines akademischen Amtes waltete, war sein entschiedener Standpunkt im berühmten Fall Arons, der zum Auslöser des scharfen Konflikts zwischen den Privilegien der Universität und der Pflichterfüllung gegenüber dem preußischen Staat wurde. Als Mitglied eines von der Universität im Jahre

85. Planck an den Kultusminister, 14.3.1895, StaBi Dahlem, acc. Darmst. 1913.51.

86. Planck an Emil Fischer, 21.10. und 18.11.1894, TBL, NL Emil Fischer.