

1 Einführung

1.1 Zwei amerikanische Physiker

Im Juni 1947 traf sich auf Shelter Island, einer kleinen Insel vor New York, ein exklusiver Kreis von knapp 30 der führenden Physiker der Vereinigten Staaten von Amerika, unter ihnen John von Neumann, J. Robert Oppenheimer, Isidore I. Rabi und John A. Wheeler. In lockerer Atmosphäre diskutierten sie die neuesten Entdeckungen aus der Elementarteilchenphysik und der Quantenelektrodynamik. Diese beiden Teilbereiche der Physik wurden implizit auf der Shelter Island Conference als die beiden Hauptforschungsrichtungen der Nachkriegsphysik der USA festgelegt. Die Shelter Island Conference und ihre Folgekonferenzen in Pocono und Oldstone waren damit die «bedeutendsten Konferenzen für die Entwicklung der Physik nach dem Zweiten Weltkrieg.

Auf der rechten Hälfte des Teilnehmerfotos sind zwei junge Physiker, David Bohm (4. v. r.) und Richard Feynman (3. v. r.), zu erkennen. Die beiden waren etwa gleich alt, beide hatten ihre Ausbildung in den USA absolviert, hatten in unterschiedlichen Projekten am Bau der Atombombe mitgearbeitet und waren auf dem besten Weg ihre Karriere weiter voran zu treiben. Beide arbeiteten zur Quantenmechanik und fanden neue Zugänge zu ihr. Feynman entwickelte seinen Pfadintegralformalismus, den er 1948 publizierte, und David Bohm eine realistische Deutung der Quantenmechanik, die er 1952 veröffentlichte. Im Gegensatz zu Feynmans Ansatz fand David Bohms Quantentheorie jedoch kaum Beachtung innerhalb der wissenschaftlichen Gemeinschaft der Physiker. Die Zugänge der beiden Physiker zur Quantentheorie bilden den Hauptgegenstand dieser Dissertation. Die physikalischen Arbeiten versuche ich aus einem sozio-biographischen Vergleich zu verstehen. Dabei stehen nicht die beiden isolierten Biographien der beiden Helden im Mittelpunkt der Erzählung, sondern sie werden in ein Denkkollektiv eingebettet und werden in ihrem Verhältnis zu ihrem Denkkollektiv und dessen Denkstil verstanden.

Zwei Biographien stehen einander gegenüber. Auf der einen Seite steht David Bohm, der scheinbar gut in sein wissenschaftliches Denkkollektiv integriert war, bis er 1951 aus politischen Gründen seine Professur in Princeton verlor. Der Kalte Krieg hatte mit dem Korea-Krieg seine erste heiße Phase erreicht und das politische Klima in den USA hatte sich in paranoider Weise gegen alle gewandt, die als mögliche Kommunisten verdächtigt wurden. Eines der Opfer der öffentlichen Hetzjagd war David Bohm. Nachdem er seine Professur verloren hatte, begann er an seiner neuen Interpretation der Quantenmechanik zu arbeiten, die er später im Exil in Brasilien, Israel und Großbritannien fortführte. David Bohm gehörte offensichtlich mehreren Denkkollektiven an. Zum einen seiner wissenschaftlichen Gemeinschaft, der US-Physik, zum anderen zählte er während der 1940er Jahre zur politischen Linken der USA. Das Spannungsverhältnis der jeweiligen Denk-



FIG. 1. Participants at the Shelter Island conference (left to right): I. I. Rabi, L. Pauling, J. Van Vleck, W. E. Lamb, G. Breit, D. MacInnes, K. K. Darrow, G. E. Uhlenbeck, J. Schwinger, E. Teller, B. Rossi, A. Nordsieck, J. von Neumann, J. A. Wheeler, H. A. Bethe, R. Serber, R. E. Marshak, A. Pais, J. R. Oppenheimer, D. Bohm, R. P. Feynman, V. F. Weisskopf, H. Feshbach (not in the picture, H. A. Kramers). Courtesy of the Archives of the National Academy of Sciences.

Abbildung 1.1: Teilnehmer der Shelter Island Conference

stile der beiden Kollektive und die Frage nach der Wirksamkeit der Denkstile in Bohms physikalischen Arbeiten bildet den Hauptgegenstand in der Fallstudie Bohms. Zentral ist dabei die Frage nach den sozialen Bedingungen unter denen bestimmte Denkstile wirksam werden können.

Auf der anderen Seite steht Richard Feynman, der 1965 den Nobelpreis für Physik erhielt und scheinbar losgelöst von allen sozialen Bindungen als ein Genie kontextfrei seine physikalischen Arbeiten entwickelte. Dieses Bild von Feynman entstand durch dessen autobiographische Erzählungen, die aus der Zeit nach Feynmans Erhalt des Nobelpreises stammen. Das Genie Feynman scheint im Gegensatz zu Bohm gar keinem Denkkollektiv angehört zu haben. Deshalb steht im Mittelpunkt von Feynmans Fallstudie stets die kritische Auseinandersetzung mit dem Bild des Genies und der Versuch Feynmans physikalische Arbeiten zu entindividualisieren, d.h., diese aus dem Denkkollektiv zu verstehen, das Feynman tatsächlich nie verlassen hat.

Zunächst erscheinen die beiden Biographien der Physiker, ebenso wie ihre Zugänge zur Quantenmechanik als nicht vergleichbar miteinander. Doch die beiden Fallstudien relativieren die Extreme und zeichnen ein Bild von zwei jungen Physikern, die sich bis in den Kalten Krieg hinein um eine Integration in das Denkkollektiv bemühten, sich dem

vorgegebenen Denkwang fügten und in keiner Weise gegen den Denkstil des Kollektivs verstießen.

1.2 Denkstil und Denkkollektiv

Die Begriffe Denkstil und Denkkollektiv prägte der polnische Arzt und Wissenschaftssoziologe Ludwik Fleck in seinem 1935 erschienenem Essay die *Entstehung und Entwicklung einer wissenschaftlichen Tatsache*.¹ Dieser geriet lange Jahre in Vergessenheit und wurde erst wieder durch Thomas Kuhn entdeckt, der in seiner *Struktur der wissenschaftlichen Revolutionen*² darauf hinwies, dass in Flecks Buch viele seiner Gedanken vorweg genommen waren.³ Fleck entwickelte an einer Fallstudie des Syphilisbegriffs und der Wassermannreaktion seine erkenntnistheoretischen und wissenschaftssoziologischen Folgerungen mit den zentralen Begriffen des Denkkollektivs und des Denkstils. Wissenschaft begriff Fleck als soziales Tun und bezeichnete allgemein eine Gemeinschaft von Menschen, die im gedanklichen Austausch beziehungsweise in gedanklicher Wechselwirkung stehen als ein Denkkollektiv. Dieses ist der Träger der geschichtlichen Entwicklung eines Denkgebietes, eines bestimmten Wissens- und Kulturbestandes, eines Denkstils, der die denkmäßigen Voraussetzungen bietet, auf die die Gruppe ihr Wissen aufbaut.⁴ Abbildung 1.1 zeigt ein solches Denkkollektiv, genauer den esoterischen Kreis des Denkkollektivs der US-Physiker. Dieser esoterische Kreis bildet innerhalb des Denkkollektivs eine Elite, der die Entwicklung eines Faches entscheidend prägt. Das taten auch die Teilnehmer der Shelter Island Conference und gaben während der Konferenz die beiden Hauptforschungsrichtungen der Nachkriegsphysik der USA vor: Die Quantenelektrodynamik und die Teilchenphysik.

Der Begriff Denkkollektiv ist als funktionaler Begriff zu verstehen, es ist immer vorhanden, sobald zwei oder mehr Menschen im Gedankenaustausch stehen. Stabile Denk-

1 Ludwik Fleck, *Entstehung und Entwicklung einer wissenschaftlichen Tatsache. Einführung in die Lehre vom Denkstil und Denkkollektiv*. (Frankfurt am Main, [1935] 1980).

2 Thomas Kuhn, *Die Struktur wissenschaftlicher Revolutionen* (Frankfurt am Main, 1996), S. 9, 1. Auflage 1962.

3 Zu Beginn der 1980er Jahre stieg die Rezeption Flecks in der Wissenschaftssoziologie sprunghaft an und ebte Ende des Jahrzehnts wieder ab. Vgl. Thomas Schnelle, *Ludwik Fleck, Leben und Denken. Zur Entstehung und Entwicklung des soziologischen Denkstils in der Wissenschaftsphilosophie* (Freiburg, 1982), Dieter Wittich, 'Verhältnis von Wissenschaft und Kultur in der Wissenschaftstheorie von Ludwik Fleck', *Deutsche Zeitschrift für Philosophie* 31 (1983), S. 852–855, Robert S. Cohen und Thomas Schnelle (Hrsg.), *Cognition and Fact. Materials on Ludwik Fleck* (Dordrecht, 1986), Stefan Winneke, 'Ludwik Fleck - Zur Wirkung eines Wirkungslosen', in: Helmuth Albrecht (Hrsg.), *Naturwissenschaften und Technik in der Geschichte. 25 Jahre Lehrstuhl für Geschichte der Naturwissenschaften und Technik am Historischen Institut der Universität Stuttgart* (1993), S. 357–367, Jonathan Harwood, 'Ludwik Fleck and the Sociology of Knowledge', *Social Studies of Science* 16 (1986), S. 173–187 und Josef Neumann, 'Der historisch-soziale Ansatz medizinischer Wissenschaftstheorie von Ludwik Fleck (1896-1961)', *Sudhoffs Archiv für Geschichte der Medizin und der Naturwissenschaften* 73 (1989), S. 12–25. In diesem Zusammenhang entstanden auch die Neuedition von Flecks Essay und die Edition seiner wissenschaftssoziologischen Aufsätze. Fleck, *Wissenschaftliche Tatsache* (Anm. 1) und Ludwik Fleck, *Erfahrung und Tatsache. Gesammelte Aufsätze* (Frankfurt am Main, 1983)

4 Fleck, *Wissenschaftliche Tatsache* (Anm. 1), S.54f.

kollektive bilden sich im Gegensatz zu momentanen Denkkollektiven um besonders organisierte soziale Gruppen, deren Denkstil fixiert wird, wenn die Gruppen lange genug existieren; sie bilden eine inhaltliche und formelle Abgeschlossenheit. Dennoch müssen das Denkkollektiv und die offizielle Gemeinschaft nicht übereinstimmen; nicht jeder politisch engagierte Mensch ist zugleich Mitglied einer Partei.⁵ Die Regeln für das Denken und die Zusammenarbeit in einer solchen Gruppe enthält deren Denkstil. Der Denkstil kann auch als gerichtetes Wahrnehmen, als Gestaltsehen mit entsprechendem gedanklichen und sachlichen Verarbeiten des Wahrgenommenen verstanden werden. Er ist charakterisiert durch gemeinsame Merkmale der Probleme und Urteile, die als evident betrachtet werden, der Methoden, die als Erkenntnismittel angewandt werden, und der Festlegung, welche Fragen als unsinnig erscheinen. Der Denkstil wird damit zugleich zum Denkwang. Ändert sich der Denkstil innerhalb einer Gruppe, so bleibt eine kleine Gemeinde von „Sonderlingen“ zurück, die den alten Denkstil weiterführt.

Ähnlich wie auch bei Kuhn⁶ und Feyerabend⁷ beschrieben, kann es bei Anhängern unterschiedlicher Denkstile aufgrund der unterschiedlichen Bedeutung der Begriffe zu Missverständnissen bis hin zum Nichtverstehen kommen; es besteht die Möglichkeit der Inkommensurabilität.⁸ Diese Inkommensurabilität ist jedoch bei Fleck nicht zwingend notwendig. Brüche zwischen verschiedenen Denkstilen fallen weit geringer aus bei Kuhn oder gar Feyerabend. Die alte Idee kann in der neuen also weiterhin eine heuristische Funktion ausüben. Zudem kann das Individuum —vermittelt durch die Zugehörigkeit zu verschiedenen Denkkollektiven— auch unterschiedliche Denkstile in sich vereinen. Je weiter diese Denkstile voneinander entfernt sind, um so leichter fällt es dem Individuum damit umzugehen. Es besteht nach Fleck durchaus die Möglichkeit, dass zwei Denkstile in verschiedenen Kollektiven parallel zueinander existieren, im Gegensatz dazu deutete Kuhn die gleichzeitige Existenz zweier Paradigmen in der Phase der normalen Wissenschaft nur im Vorwort an und schloss sie im weiteren Text implizit aus.⁹

Diese Aspekte machen Flecks Arbeit als methodische Grundlage für die folgende Analyse besonders interessant. David Bohm entwickelte seine realistische Interpretation der Quantenmechanik erst, als er während der McCarthy-Ära aus politischen Gründen aus dem institutionellen akademischen Bereich der US-Physik ausgeschlossen wurde. Ging mit diesem sozialen Bruch in Bohms Biographie auch ein Bruch mit dem Denkstil des Kollektivs einher? Wie und wann wird Bohms politischer Denkstil in seinen Arbeiten wirksam? Nach seiner Entlassung begann Bohm mit seiner neuen Interpretation der Quantentheorie vom hegemonialen Denkstil der US-Physik abzuweichen. Lassen sich in der frühen Phase der Arbeit noch Bezüge zum Denkkollektiv finden? Welche Konsequenzen ergeben sich aus der Freiheit vom Denkwang für Bohms physikalische Arbeiten? Richard Feynman, der als Vergleichsperson zu Bohm dient, verließ im Gegensatz dazu sein wissenschaftliches Denkkollektiv nie und die Zugehörigkeit zu außerwissen-

5 Fleck, *Wissenschaftliche Tatsache* (Anm. 1), 135f.

6 Kuhn, *Wissenschaftliche Revolutionen* (Anm. 2).

7 Paul Feyerabend, *Wider den Methodenzwang* (Frankfurt am Main, 1986)

8 Fleck, *Wissenschaftliche Tatsache* (Anm. 1), S. 142f.

9 Kuhn, *Wissenschaftliche Revolutionen* (Anm. 2), S. 11.

schaftlichen Denkkollektiven lässt sich bei Feynman nur schwer zeigen. Wie stark war Feynmans Integration in das Denkkollektiv? Welche Rolle spielte es in der Genese von Feynmans Theorien? Lässt sich nachweisen, wie der Denkstil in Feynmans Arbeiten wirksam wird?

Um diese Fragen zu klären, ist es notwendig, die verschiedenen Entwicklungsstufen der physikalischen Forschungsarbeiten der beiden Akteure zu untersuchen. Wissenschaft schreitet nach Fleck in verschiedenen Phasen voran, die sich durch unterschiedliche Ebenen kennzeichnen. Er unterscheidet populäre Wissenschaft, die Zeitschriftenwissenschaft, die Handbuchwissenschaft und die Lehrbuchwissenschaft. Die populäre Wissenschaft versorgt den größten Teil der Menschen mit Wissen, auch der Fachmann bezieht einen Teil seiner Begrifflichkeit aus seinem populären Wissensbestand. Um diese populären Begriffe werden dann die Fachwissenschaften gebaut. Populäre Wissenschaft darf jedoch nicht mit einer einführenden Wissenschaft verwechselt werden. Charakteristisch für die populäre Wissenschaft ist der Wegfall von Einzelheiten und widerstreitenden Meinungen, was durch eine lebendige und anschauliche Darstellung, sowie durch eine apodiktische Wertung, zu einer künstlichen Vereinfachung der Probleme führt. Anstelle des spezifischen Denkweges des Beweises entsteht durch Vereinfachung und Wertung ein anschauliches Bild. Die Weltanschauung eines Individuums bezeichnet Fleck als den Gipfel des populären Wissens vieler Gebiete. Damit wirkt esoterisches fachmännisches Wissen über Vereinfachung, Anschaulichkeit und Wertung auf exoterisches populäres Wissen und dieses wiederum über Weltanschauung und öffentliche Meinung auf das Fachwissen zurück. Die Wirkungsmechanismen dieses Zyklus hat Fleck nicht weiter spezifiziert. Es ist ein Aspekt dieser Arbeit, dies durchzuführen. Wissen wird nach Fleck mit jeder Form der Kommunikation populärer und exoterischer. Je weiter es den esoterischen Kreis verlässt, umso einfacher und anschaulicher wird es.¹⁰

Die anderen von Fleck genannten Wissensformen bewegen sich innerhalb des esoterischen Kreises des Denkkollektivs oder dienen wie die Lehrbuchwissenschaft zur Einführung in diesen Kreis. Die Handbuchwissenschaft verlangt eine Zusammenfassung der Zeitschriftenwissenschaft in ein geordnetes Darstellungssystem. Bei letzterer handelt es sich noch um den Bericht eines Fachmannes. Einzelne Standpunkte und Arbeitsmethoden sind noch persönlich geprägt. Erst in der denksozialen Zirkulation im esoterischen Kreis und durch die Rückwirkung des exoterischen entsteht aus dem persönlichen Wissensfragment ein additiver unpersönlicher Teil, der an das kollektive Wissen angegliedert werden kann. Die Zeitschriftenwissenschaft ist geprägt durch ihre Vorläufigkeit, die sich zeigt in der Begrenztheit ihrer Probleme, der Rhetorik („ich habe versucht“) und dem Versuch, in Einleitung oder Schluss an die Handbuchwissenschaft anzuknüpfen, in der das persönliche Wissen zu unpersönlichem, mit klareren Wertungen versehenen Wissen wird. Der individuelle Forscher überlässt damit die Wertung dem Kollektiv. Die intrakollektive Wanderung der Zeitschriftenwissenschaft und ihre Überprüfung auf die Stilgemäßheit des Wissens führt zur Handbuchwissenschaft. In dieser Wanderung ändert der individuelle Gedanke seine Bedeutung, wird angepasst, wird Allgemeingut und schließlich zu einer Richtlinie des Denkens. Denkwang entsteht in der Handbuchwis-

¹⁰ Fleck, *Wissenschaftliche Tatsache* (Anm. 1), S. 149-152.

senschaft. Sie definiert die Grundbegriffe eines Gebietes und gibt über Methoden und offene Fragen die Richtlinien späterer Forschung vor.¹¹

Dieses Konzept Flecks dient als methodischer Ausgangspunkt der Untersuchung der physikalischen Arbeiten Feynmans und Bohms.¹² Anhand der verschiedenen Entwicklungsstufen ihrer physikalischen Theorien wird die Frage nach der Anpassung von individuellem Wissen an das Wissen des Kollektivs gestellt. Ebenso soll geklärt werden, inwieweit der Denkstil des Kollektivs als Denkwang wirkt und inwieweit die Freiheit vom Denkwang auch eine Freiheit für die Genese neuer Begriffe zulässt.

1.3 Aufbau der Arbeit — Forschungsstand und Fragestellung

Die Bedeutung der Arbeiten Bohms und Feynmans sind ohne die historischen Vorläufer und die frühe Debatte um die Quantentheorie in Europa nicht zu verstehen. Ebenso ist es notwendig auf diese einzugehen, um den spezifischen Denkstil des Denkkollektivs der US-Physiker in Abgrenzung zum europäischen zu verstehen. Erst damit werden auch die Reaktionen des wissenschaftlichen Denkkollektivs der beiden Physiker auf ihre Arbeiten klar. Zentral war bereits bei den frühen Interpretationen der Quantentheorie in den 1920er Jahren die Frage, ob die Quantentheorie eine vollständige Theorie war. Diese Frage stellte sich auch David Bohm zu Beginn der 1950er erneut. War die Quantentheorie alleine durch die Wellenfunktion ψ zu verstehen? War sie nur mehr durch abstrakte Matrizen zu verstehen? Bedurfte es versteckter, nicht messbarer Parameter, um sie zu ergänzen? Handelte es sich bei den Quantenobjekten um Wellen, Teilchen, ein kontinuierliches Fluidum oder beides?

Das folgende Kapitel „Von Deutschland nach Amerika“ vermittelt dem Leser die Grundlagen für die sich anschließenden Fallstudien von David Bohm und Richard Feynman. Es konzentriert sich auf drei wesentliche Punkte: die Entwicklung der Kopenhagener Deutung der Quantenmechanik aus den frühen Interpretationsansätzen, die Kritik an ihr und ihren Transfer in einen neuen sozialen Kontext von Europa nach Amerika und dem damit einhergehenden Wandel der Theorie. Neben der Zusammenfassung der bekannten Forschungsergebnisse analysiere und interpretiere ich in diesem Kapitel die Originaltexte aus der Fleckschen Perspektive neu.

Erstmals untersuchte der amerikanische Wissenschaftshistoriker Paul Forman 1971 die Beziehungen zwischen einem esoterischen Kreis, den Physikern und Mathematikern der Weimarer Republik, und einem exoterischen Kreis, der bildungsbürgerlichen Öffentlichkeit, bei der Entstehung von neuem Wissen. Forman analysierte zunächst das kulturelle Milieu der Weimarer Republik und sah in der Aufgabe von Kausalität und Anschaulichkeit in der Quantenmechanik eine Anpassung der Weltanschauung der Phy-

¹¹ Fleck, *Wissenschaftliche Tatsache* (Anm. 1), S. 156-162.

¹² Ziel der Arbeit ist es, die Zugänge Bohms und Feynmans zur Quantenmechanik mit Hilfe der Methodik Flecks zu verstehen. Sie erhebt nicht den Anspruch eine vollständige individuelle Biographie der beiden Physiker über den untersuchten Zeitraum zu geben. So tritt auch die Frage nach dem Verhältnis von sozialer Prägung und individuellen Eigenschaften der Personen in den Hintergrund, eine Frage, die aus einer klassischen biographischen Frage Stellung durchaus von Interesse sein kann.

siker an ein wissenschaftsfeindliches Milieu, die schließlich in einer Anpassung der Wissenschaft an dieses Milieu mündete.¹³

Formans Aufsatz löste eine kontroverse Diskussion aus. Ein wesentlicher Punkt in Formans Argumentation blieb von seinen Kritikern unbeachtet. Forman hatte gezeigt, dass die Physiker und Mathematiker in Deutschland eine mögliche Prüfung des Kausalitätsbegriffes gar nicht erst anstrebten. Seine Kritiker führen hierfür innerphysikalische Gründe an, die wiederum eine Aufgabe des Kausalitätsbegriffes notwendig gemacht hätten. Damit können sie jedoch nicht erklären, warum mögliche Alternativansätze zur Interpretation der Quantenmechanik unbeachtet blieben. Vier dieser frühen Interpretationsansätze werde ich in Kapitel 2 darstellen, um im Anschluss daran zu analysieren, welche ihrer Elemente in den neuen Denkstil der Kopenhagener Interpretation transformiert wurden.

Diese vier frühen Interpretationsansätze stellte bereits der Wissenschaftshistoriker Max Jammer in seinem 1974 erschienenen Standardwerk zur Geschichte der Interpretationen der Quantentheorie aus einer rein ideengeschichtlichen Perspektive dar. Im Gegensatz zu seiner Monographie über die Entstehung der Standardquantenmechanik¹⁴, beschränkt er sich hier nicht nur auf die Kopenhagener Interpretation, sondern deckt deskriptiv eine große Breite verschiedener Interpretationsansätze ab.¹⁵ Der Physikhistoriker James Cushing betrachtet in seinem Band *Quantum Mechanics*¹⁶ den Erfolg einer physikalischen Theorie nicht als physikalische Notwendigkeit, sondern als einen historischen Zufall, und sieht deshalb die Kopenhagener Interpretation als völlig gleichberechtigt zu anderen Ansätzen, die er aus einer historisch-philosophischen Perspektive analysiert. Michael Eckerts Band zur Geschichte der Theoretischen Physik am Beispiel der Sommerfeldschule ergänzt diese Sicht aus einer sozialhistorischen und disziplingeschichtlichen Perspektive.¹⁷

13 Paul Forman, ‘Weimarer Kultur, Kausalität und Quantentheorie 1918-1927’, in: Karl von Meyenn (Hrsg.), *Quantenmechanik und Weimarer Republik* (Braunschweig, [1975] 1994), S. 61–179 und Paul Forman, ‘Kausalität, Anschaulichkeit und Individualität’, in: Karl von Meyenn (Hrsg.), *Quantenmechanik und Weimarer Republik* (Braunschweig, 1994), S. 181–200. Es sei an dieser Stelle auf die folgenden Vorläufer von Forman verwiesen: Eine Analyse des Kulturpessimismus als geistiger Strömung findet sich in Fritz Stern, *Kulturpessimismus als politische Gefahr. Eine Analyse nationaler Ideologie in Deutschland*. (Bern, 1963), die Beziehung der Gelehrten zum Staat analysierte Fritz K. Ringer, *Die Gelehrten. Der Niedergang der deutschen Mandarine 1890-1933* (München, 1987). Irrationale Strömungen in der Philosophie diskutiert aus einer marxistischen Perspektive Georg Lukacs, *Die Zerstörung der Vernunft* (Berlin, 1954). Beispiele für die Kritik an den Thesen finden sich bei John Hendry, ‘Weimarer Kultur und Quantenkausalität’, in: Karl von Meyenn (Hrsg.), *Quantenmechanik und Weimarer Republik* (Braunschweig, 1994), S. 201–230 sowie P. Kraft und P. Kroes, ‘Adaptation of Scientific Knowledge to an Intellectual Environment.’, *Centaurus* 27 (1984), S. 76–99. Eine kurze Zusammenfassung der Debatte ist in Helge Kragh, *Quantum Generations. A History of Physics in the Twentieth Century* (Princeton, 1999), S. 151-154 enthalten.

14 Max Jammer, *The Conceptual Development of Quantum Mechanics* (New York, 1966).

15 Max Jammer, *The Philosophy of Quantum Mechanics. The Interpretations of Quantum Mechanics in Historical Perspective* (New York, 1974).

16 James T. Cushing, *Quantum Mechanics. Historical Contingency and the Copenhagen Hegemony* (Chicago, 1994).

17 Michael Eckert, *Die Atomphysiker. Eine Geschichte der theoretischen Physik am Beispiel der Sommerfeldschule* (Braunschweig, Wiesbaden, 1993).

Auf dem Weg von diesen vier frühen Interpretationsansätzen hin zur Kopenhagener Interpretation ist insbesondere der Gedankenverkehr innerhalb des Denkkollektivs von Interesse. Wie diskutierten die Schöpfer der Kopenhagener Deutung untereinander und mit welchen rhetorischen Strategien grenzten sie sich gegen andere ab? Diese Frage ist der Gegenstand von Mara Bellers *Quantum Dialogue*.¹⁸ Die Wissenschaftshistorikerin betrachtet die Kopenhagener Interpretation als ein rhetorisches Konzept zur Abgrenzung gegenüber wissenschaftlichen Konkurrenten und zeigt, dass dieses Konzept einer steten Veränderung in der Reaktion auf diese Konkurrenten unterzogen wurde. Auch innerhalb der Kopenhagener Gruppe sieht sie den Dialog als treibende Kraft in der Theorieentwicklung. Übersetzt man dies in die Flecksche Begrifflichkeit, so untersucht sie fast ausschließlich den intrakollektiven Denkverkehr und analysiert den Übergang von der Zeitschriftenwissenschaft zur Handbuchwissenschaft. Gerade am Beispiel Werner Heisenbergs lassen sich aber aus dem Vergleich der Rhetorik von intra- und extrakollektivem Denkverkehr bemerkenswerte Schlüsse zum Verhältnis der beiden Kreise ziehen, wie ich in Abschnitt 2.3 zeigen werde. Aufschlussreich ist Bellers Analyse des Komplementaritätsprinzips. Während die Standardarbeiten zur Geschichte der Quantentheorie in ihm den Versuch einer Synthese von Wellen- und Teilchenbild sehen, kann Beller zeigen, dass Niels Bohr bei der frühen Fassung des Komplementaritätsprinzips weiterhin am Wellenbild festhielt und sich Bohrs frühe Formulierung aus dem Dialog mit Fachkollegen erschließen lässt.

Beller weist auch durch eine umfangreiche Textanalyse den Wandel von Bohrs Argumentation nach der Veröffentlichung des Einstein-Podolsky-Rosen-Paradoxons nach. Auch hier kommt sie durch ihre Analyse der Texte und Auseinandersetzungen der Zeit zu neuen Einsichten, im Gegensatz zu den meistens bisherigen Arbeiten¹⁹, die sich ausschließlich auf Bohrs Retroperspektive²⁰ seiner Diskussion mit Einstein stützen, was vom Standpunkt eines Historikers aus bedenklich erscheint. Neben Bellers Darstellung der Diskussion um das EPR-Paradoxon weicht auch die von Arthur Fine²¹ von der Standarddarstellung ab. Das EPR-Paradoxon impliziert auch die Frage nach verborgenen Parametern in der Quantentheorie. Mit der Frage nach der Vollständigkeit der Theorie wird es im Kapitel über David Bohms Quantentheorie zentral für dessen neue Interpretation. Deshalb diskutiere ich die Frage nach verborgenen Parametern in der Quantentheorie ebenso wie den von Neumannschen Beweis gegen die mögliche Existenz solcher Parameter und dessen Diskussion bereits in dem einführenden Kapitel 2. Eine Diskussion des Beweises findet sich in Cushings und Jammers Arbeiten.²²

Im letzten Abschnitt des Kapitels 2 untersuche ich den Transfer der Kopenhagener Interpretation in ein anderes nationales Denkkollektiv, nämlich das der US-Physiker. Dies ist notwendig, um sowohl den sozialen Kontext als auch den spezifischen Denk-

18 Mara Beller, *Quantum Dialogue. The Making of a Revolution* (Chicago, 1999).

19 Beispielsweise Jammer, *Philosophy* (Anm. 15) und das Buch des Physikers Abraham Pais, *Raffiniert ist der Herrgott... Albert Einstein. Eine wissenschaftliche Biographie* (Heidelberg, 2000).

20 Niels Bohr, 'Discussion with Einstein on Epistemological Problems in Atomic Physics', in: Paul A. Schilpp (Hrsg.), *Albert Einstein. Philosopher-Scientist* (Evanston, 1949), S. 200–241

21 Arthur Fine, *The Shaky Game. Einstein, Realism and the Quantum Theory* (Chicago, 1986).

22 Cushing, *Historical Contingency* (Anm. 16) und Jammer, *Philosophy* (Anm. 15).

stil zu verstehen, in welchen Bohm und Feynman während ihrer Ausbildung integriert wurden. Eine umfassende Darstellung der Physik in den Vereinigten Staaten ist die Monographie *The Physicists* des amerikanischen Wissenschaftshistorikers Daniel Kevles.²³ Sie vermittelt einen grundlegenden Überblick über die Geschichte der Physik in den USA von ihren Anfängen bis in die Mitte der 1970er Jahre. Die Rezeption der Quantenmechanik in den Vereinigten Staaten bis 1935 untersucht die Wissenschaftshistorikerin Katherine Sopka.²⁴ Im Zuge dieser Rezeption wurde die Kopenhagener Interpretation in einen vom Pragmatismus geprägten Forschungsstil integriert, den Physikhistoriker wie Silvan Schweber und Nancy Cartwright diskutieren.²⁵ Darauf aufbauend analysiere ich den Übergang von der Zeitschriftenwissenschaft über die Handbuchwissenschaft hin zur Lehrbuchwissenschaft anhand der Publikationen der Zeit. Das Kapitel schließt mit einer Analyse der Rezeption des EPR-Paradoxons in den USA unter besonderer Beachtung des Denkstils der US-Physik.

David Joseph Bohm

Über David Bohms Quantentheorie liegt bisher noch keine umfassende Analyse vor. Der Physiker, Autor und Freund Bohms, David Peat verfasste die bisher einzige Biographie über David Bohm, die 1993 erschien.²⁶ Diese populäre Biographie nimmt auch Bezug auf Bohms physikalische und philosophische Arbeiten, ebenso wie sie in Bohms Privatleben einführt. Peat verzichtet aber auf eine tiefe Analyse zugunsten einer breiten Leserschaft. An der Biographie muss insbesondere der Umgang mit Oral History Interviews aus den 1980er Jahren kritisiert werden, die der Autor als objektive Quelle verwendet. Gerade was Bohms politisches Engagement in den 1940er und 1950er Jahren betrifft, zeigt sich eine Abweichung zwischen der Retroperspektive im Interview und seinem Briefwechsel aus diesen Jahren.

Max Jammer und auch James Cushing nähern sich von einer ideengeschichtlichen Perspektive an Bohms Quantentheorie an.²⁷ Cushing betrachtet die Durchsetzung der Kopenhagener Interpretation eher als einen historischen Zufall als eine physikalische Notwendigkeit und sieht keinen zwingenden Grund dafür, die Bohmsche Quantentheorie nicht gleichberechtigt neben sie zu stellen. Aus einer historisch-philosophischen Perspektive heraus verzichtet er weitgehend auf die Verwendung historischer Quellen. Stärker als Cushing betont Mara Beller die Rhetorik des Kopenhagener Denkkollektivs gegenüber alternativen Ansätzen. Sie nimmt in diesem Rahmen auch Bezug auf Bohms Ansatz und zeigt einige seiner frühen Abweichungen von der Orthodoxie in seinem

23 Daniel J. Kevles, *The Physicists. The History of a Scientific Community in Modern America*, 3. Auflage (Cambridge, 1995).

24 Katherine R. Sopka, *Quantum Physics in America, 1920–1935* (New York, 1988).

25 Silvan S. Schweber, 'The Empiricist Temper Regnant. Theoretical Physics in the United States 1920–1950', *Historical Studies in the Physical and Biological Sciences* 17 (1986), S. 55–98; Nancy Cartwright, 'Philosophical Problems of Quantum Theory. The Response of American Physicists', in: Lorenz Krüger, Gerd Gigerenzer und Mary S. Morgan (Hrsg.), *The Probabilistic Revolution. Volume 2. Ideas in the Sciences* (Cambridge, Massachusetts, 1987), S. 417–435.

26 F. David Peat, *Infinite Potential. The Life and Times of David Bohm* (Reading, Massachusetts, 1997).

27 Jammer, *Philosophy* (Anm. 15) und Cushing, *Historical Contingency* (Anm. 16).

Buch *Quantum Theory* auf.²⁸

Der Soziologe Trevor Pinch versucht mit einem wissenschaftssoziologischen Ansatz die Entstehung von Bohms Quantentheorie und die Diskussion über die Theorie zu erklären. Dazu verwendet er in seiner Analyse Bourdieus Kapitalbegriff.²⁹ Bohms physikalische Arbeiten, die sich noch im Rahmen des Denkstils der US-Community bewegen, betrachtet er als einen sukzessiven Erwerb von sozialem Kapital, der nur langsam, aber dafür weitestgehend risikofrei vonstatten geht. Im Gegensatz dazu sieht er in dem Bruch mit dem Denkstil die Möglichkeit, bei hohem Risiko schnell beträchtliches soziales Kapital zu erwerben, das aber erst eine sukzessive Anhäufung von Kapital voraussetzt. Dabei blendet Pinch allerdings den historischen und auch den sozialen Raum aus, in dem sich Bohm bewegte. Dies ist nicht unproblematisch, denn, wie wir sehen werden, war Bohms Nähe und Distanz zur Community von entscheidender Bedeutung für seine physikalischen Arbeiten.

Diesen Aspekt betont auch der Physikhistoriker Alexei Kojevnikov in seinem Aufsatz „David Bohm and the Collective Movement,“ in dem er zum einen Bohms plasmaphysikalische Forschungsarbeiten mit ähnlichen sowjetischen Ansätzen vergleicht und zugleich die Rolle der Nähe bzw. Distanz Bohms zur Community in der Schöpfung physikalischer Begriffe betont. Dabei stellte Kojevnikov bei Bohms Arbeiten zur Plasma- und Festkörperphysik eine stärker werdende Wechselwirkung zwischen Physik und Weltanschauung fest, nachdem Bohm von der physikalischen Community losgelöst war.³⁰ Einen weiteren Überblick zu Bohms Arbeiten in der Festkörperphysik enthält der von Hoddeson, Braun, Teichmann und Weart herausgegebene Sammelband *Out of the Crystal Maze*.³¹ Die Frage der Integration und Isolation Bohms während des Kalten Krieges und die Auswirkungen auf seine physikalische Theorie beschreibt Russel Olwell in einem Aufsatz.³² Silvan S. Schwebers Arbeiten zur Nachkriegsphysik in den USA legen den breiten historischen Rahmen von Bohms physikalische Forschungen dar.³³

Der Physiker David Pines, ein ehemaliger Doktorand und Mitarbeiter Bohms an der Universität Princeton, beschrieb die Person Bohms in einem Nachruf:

David Bohm was a theoretical physicist of the very first rank who made, during the period 1943 to 1959, a remarkable series of seminal contributions

28 Mara Beller, ‘Bohm and the Inevitability of Acausality’, in: James T. Cushing, Arthur Fine und Sheldon Goldstein (Hrsg.), *Bohmian Mechanics and Quantum Theory: An Appraisal* (Dordrecht, 1996), S. 211–230; Beller, *Quantum Dialogue* (Anm. 18).

29 Trevor Pinch, ‘What Does a Proof if it Does Not Prove? A Study of the Social Conditions and Metaphysical Divisions Leading to David Bohm and von Neumann Failing to Communicate in Quantum Physics’, in: *The Social Production of Scientific Knowledge. Sociology of the Sciences*, Band 1 (Dordrecht, 1977), S. 171–215.

30 Alexei Kojevnikov, ‘David Bohm and the Collective Movement’, *Historical Studies in the Physical and Biological Sciences* 33 (2002), S. 161–192.

31 Lilian Hoddeson et al. (Hrsg.), *Out of the Crystal Maze. Chapters from the History of Solid-State Physics* (Oxford, 1992), S. 534–541.

32 Russel Olwell, ‘Physical Isolation and Marginalization in Physics. David Bohm’s Cold War Exile’, *Isis* 90 (1999), S. 738–756.

33 Silvan S. Schweber, ‘Shelter Island, Pocono, and Oldstone. The Emergence of American Quantum Electrodynamics after World War II’, *Osiris* 2 (1986), S. 265–302; Silvan S. Schweber, *QED and the Men Who Made It. Dyson, Feynman, Schwinger and Tomonaga* (Princeton, 1994).

to plasma physics, electron interaction in metals, and the fundamentals of quantum theory. His textbook *Quantum Theory*, written between 1949 and 1951, represented at that time the clearest exposition of the topic, yet in the course of writing the chapter of the quantum theory of measurement, Bohm became convinced that the Bohr interpretation, and especially the work of von Neumann, was fundamentally flawed. This conviction led him to devote the next 40 years to developing an alternative theory... What was perhaps most remarkable about Bohm was his sweetness of character and his essential openness to new ideas. Despite the extraordinary disruption of his scientific career and personal life occasioned by his political persecution, he was never a bitter person... He always emphasised the importance of examining any problem from many different perspectives, and of using whatever mathematical techniques or philosophical concepts might be needed to explore the different facets of reality which nature presents to scientist and humanist alike.³⁴

Ziel dieser Arbeit ist es, David Bohms Quantentheorie aus der Perspektive von Denkstilen und Denkkollektiven zu verstehen. Daher untersuche ich im ersten Teil des Kapitels 3 die Denkkollektive, in denen sich David Bohm seit seiner Jugend bewegte, aus einer biographischen Perspektive und versuche nachzuvollziehen, wie diese Denkkollektive zur Ausformung spezifischer Denkstile in der Persönlichkeit Bohms beitrugen. Zunächst gilt es deshalb, einen Blick auf Bohms frühes soziales Umfeld zu werfen, das ihn auf gesellschaftliche Widersprüche aufmerksam werden ließ und sein Interesse an politischen Fragen weckte. Bereits an Bohms frühem Interesse an Naturwissenschaften können wir erkennen, dass seine abstrakten Ideen von dem amerikanischen Mythos des Pioniers abwichen. Eine erste Wechselwirkung mit einem wissenschaftlichen Denkkollektiv außerhalb der populären Wissenschaft können wir in Bohms Rezeption des *Progressive Movements* amerikanischer Wissenschaftler feststellen, das sich während und nach der Weltwirtschaftskrise für ein staatliches Eingreifen in den freien Markt aussprach und die *New Deal* Politik Roosevelts unterstützte. Eine detaillierte Untersuchung des *Progressive Movements* findet sich in Peter Kuznicks Buch zum politischen Engagement von Naturwissenschaftlern in den 1930ern.³⁵ Über das *Progressive Movement* hinaus enthält das Buch des Historikers auch eine Analyse des Engagements von Wissenschaftlern in den verschiedensten politischen Gruppen.

Während seiner Undergraduate Studies am Pennsylvania State College genoss Bohm große wissenschaftliche Freiheit, was sich mit der Aufnahme seiner Graduate Studies am Caltech massiv änderte. Hier verspürte er Druck und Zwang zur Eingliederung in ein Denkkollektiv. Das Widerstreben gegen diesen Denkwang veranlasste Bohm zu einem Wechsel an die Universität Berkeley in J. Robert Oppenheimers Arbeitsgruppe. Oppenheimers Arbeitsgruppe und ihre Zusammenarbeit mit der experimentellen Forschungsgruppe um Ernest O. Lawrence am Berkeley Radiation Laboratory ist in zahlreichen Arbeiten analysiert und beschrieben worden.³⁶ Das politische Milieu in Berkeley wird

34 David Pines, 'David Bohm 1917-92', *Physics World* (März 1993), S. 67–68.

35 Peter J. Kuznick, *Beyond the Laboratory. Scientists as Political Activists in 1930s America* (Chicago, 1987).

36 Peter Goodchild, *J. Robert Oppenheimer. Shatterer of Worlds* (New York, 1985), John L. Heilbron,

teilweise von der Historikerin Ellen Schrecker in ihre Analyse der Universitäten während des Kalten Krieges mit einbezogen.³⁷ Bohms politisches Engagement in Berkeley wird von Peat und Olwell dargestellt.³⁸ Beide gehen auch auf die Konsequenzen von Bohms Engagement während des Kalten Krieges in der McCarthy-Ära ein.

Die McCarthy-Ära wird aus einer breiten Perspektive von dem Historiker Richard M. Fried³⁹ beschrieben, mit Fokus auf die Universitäten von Ellen Schrecker und Jessica Wang.⁴⁰ Die Wissenschaftshistorikerin Wang analysiert dabei den Rückzug der Wissenschaftler aus der Öffentlichkeit in der Nachkriegszeit: Hatten sich unmittelbar nach dem Zweiten Weltkrieg noch zahlreiche Wissenschaftler für eine öffentliche Kontrolle der Kernforschung eingesetzt, so wandelte sich dies mit der Verschärfung des Kalten Krieges und führte zu einem Rückzug der Wissenschaftler aus der Öffentlichkeit. Das politische und kulturelle Milieu während des Kalten Krieges ist ebenfalls bereits in zahlreichen Analysen und Bildbänden dargestellt worden.⁴¹ Insbesondere der Physikhistoriker Spencer Weart und der Historiker Gregg Herken gehen in ihren Arbeiten auf das vorherrschende Sicherheitsverständnis in der Öffentlichkeit und im US-Militär ein.⁴²

Vor diesem Hintergrund betrachte ich nun die Entstehung von Bohms Quantentheorie. Unklar ist in der Sekundärliteratur, inwieweit Bohm durch die Arbeiten sowjetischer Physiker beeinflusst wurde.⁴³ Diese Frage konnte ich anhand des Briefwechsels von Bohm klären. Dieser befindet sich in seinem Nachlass am Birkbeck College in London, an dem er zuletzt lehrte. Der Nachlass wurde nach Bohms Tod von seiner Witwe dem College übergeben. Es handelt sich um keinen systematisch gewachsenen Nachlass, da durch Bohms zahlreiche Ortswechsel nahezu alle Originale verloren gingen. Die meisten Bestandteile des Nachlasses wurden ab etwa 1980 als Kopien von Bohms Korrespondenzpartnern zusammengetragen. Ein großer Teil des Nachlasses ist katalogisiert, dennoch existiert noch ein großer nicht-katalogisierter Bestand, der für diese Arbeit wichtige Briefwechsel aus den 1950er Jahren enthält. Problematisch ist, dass viele Archivalien nicht datiert sind und nahezu keine Dokumente und kein Briefwechsel aus der Zeit vor

Robert W. Seidel und Bruce R. Wheaton, *Lawrence and His Laboratory. Nuclear Science at Berkeley* (Berkeley, 1981) und John L. Heilbron, *Lawrence and His Laboratory. A History of the Lawrence Berkeley Laboratory* (Berkeley, Los Angeles, 1989), Silvan S. Schweber, *Oppenheimer, Bethe, and the Moral Responsibility of the Scientist* (Princeton, 2000), Gregg Herken, *Brotherhood of the Bomb. The Tanged Lives of Robert Oppenheimer, Ernest Lawrence, and Edward Teller* (New York, 2003).
37 Ellen W. Schrecker, *No Ivory Tower. McCarthyism and the Universities* (Oxford, 1986).

38 Peat (Anm. 26) und Olwell, 'Physical Isolation and Marginalization in Physics. David Bohm's Cold War Exile' (Anm. 32).

39 Richard M. Fried, *Nightmare in Red. The McCarthy Era in Perspective* (New York, Oxford, 1990).

40 Schrecker (Anm. 37) und Jessica Wang, *American Science in an Age of Anxiety. Scientists, Anticommunism, and the Cold War* (Chapel Hill, London, 1999); Jessica Wang, 'Scientists and the Problem of the Public in Cold War America, 1945-1960', *Osiris* 17 (2002), S. 323-347.

41 Michael Barson und Steven Heller, *Red Scared! The Commie Menace in Propaganda and Popular Culture* (San Francisco, 2001) sowie Spencer R. Weart, *Nuclear Fear. A History of Images* (Cambridge, Massachusetts, 1988) und Stephen J. Whitfield, *The Culture of Cold War* (Baltimore, 1996).

42 Gregg Herken, *The Winning Weapon. The Atomic Bomb in the Cold War, 1945-1950*. (Princeton, 1988).

43 Jammer, *Philosophy* (Anm. 15), David Bohm, *Causality and Chance in Modern Physics* (London, 1984), Andrew Cross, 'The Crisis in Physics. Dialectical Materialism and Quantum Theory', *Social Studies of Science* 21 (1991), S. 735-759 und Pinch, 'What Does a Proof?' (Anm. 29).

1951 vorhanden sind, die Aufschluss über den Entstehungskontext von Bohms Theorie geben können.

Deshalb gewinnen für diese Arbeit Oral History Interviews an Bedeutung. Interviews, die zum Teil Jahrzehnte nach dem historischen Ereignis geführt wurden, sind zweifelsohne eine problematische historische Quelle, da die Akteure ihre Erlebnisse rationalisieren und wesentliche Teile ausblenden. Dem kann aber bereits durch die Art des Interviews selbst vorgebeugt werden. In einer freien Gesprächsführung des Interviewers werden möglichst wenige Vorgaben gemacht und der Interviewte kann in freien Assoziationen seine Erinnerungen erneut durchleben. Mit David Bohm wurden von 1979 bis 1986 drei öffentlich zugängliche Interviews geführt, zwei davon vom *American Institute of Physics*. Ein Vergleich dieser Interviews, Vergleiche mit Interviews anderer Zeitzeugen, Quellen und Publikationen tragen dazu bei, die Interviews als konsistente historische Quelle zu nutzbar zu machen.

Eine weitere wichtige historische Quelle für Bohms politisches Engagement und seine politische Verfolgung während des Kalten Krieges sind die FBI-Akten über ihn, die unter dem *Freedom of Information Act* freigegeben wurden. Auch diese sind als historische Quelle nicht kritiklos zu verwenden, was an den Spekulationen des FBI über Bohms Mitgliedschaft in der Communist Party (CP) deutlich wird. Nahezu alle Reporte und Memoranden in Bohms FBI-Akte drehen sich um die Frage, ob Bohm Mitglied der CP war oder nicht. Erst im Dezember 1947 lag dem FBI ein Bericht der Intelligence and Security Division of the Manhattan Engineer District vor, nach dem Bohm im Juni 1943 von einem vertraulichen Informanten als CP Mitglied identifiziert wurde.⁴⁴ Auf dieser Aussage basieren alle weiteren Feststellungen, dass Bohm CP Mitglied war.⁴⁵ Erst 1959, als Bohm während seines Exils in Großbritannien ein Einreisevisum in die USA beantragte, gestand er gegenüber den Behörden ein, im Jahr 1942 für etwa neun Monate Mitglied der CP gewesen zu sein.⁴⁶ Die äußerst fragwürdige Basis der Feststellung von Bohms CP Mitgliedschaft zeigt, dass im Umgang mit den Aussagen der FBI-Akten Vorsicht geboten ist. Das FBI war nur bestrebt, Bohms Schuld nachzuweisen, entlastendes Material wurde eventuell nicht in die Akten aufgenommen. Weitere Probleme im Umgang mit den Akten treten durch die Zensur des FBI auf. Namen wurden aus Gründen der nationalen Sicherheit oder zum Schutz der Privatsphäre der jeweiligen Person geschwärzt. Mit der gleichen Begründung schwärzte das FBI ganze Absätze und entfernte einzelne Seiten aus den Akten. Unklar bleiben auch die eingesetzten Methoden des FBI. Diese reichten von Observierung durch Agenten über häufig illegale technische Überwachung bis hin zu Einbrüchen. Die illegalen Methoden wurden in den Akten durch Begriffe wie „highly confidential sources“ oder „highly confidential informants“ verschleiert. Insgesamt lassen sich dadurch keine detaillierten Aussagen über Bohms Aktivitäten mehr treffen. Dennoch ist es möglich, die Grundzüge seines politischen Handelns aus den Akten mit

44 FBI Memorandum über CINRAD (Communist Infiltration of Radiation Laboratory) vom 12. Dezember 1947, in: FBI-File Bohm.

45 FBI Report über David Joseph Bohm vom 25. April 1949, in: FBI File Bohm; Summary of File References, 10. August 1950, S. 4f in: FBI-File Bohm.

46 Memorandum über David Joseph Bohm vom 19. Juni 1959, in: FBI File Bohm.

den Methoden der Quellenkritik zu erschließen.⁴⁷

Darüber hinaus sind weitere Nachlässe von Bohms Korrespondenzpartnern zur Ergänzung des Quellenmaterials wichtig. Hierzu wurden Kopien von den Albert-Einstein-Archives in Jerusalem, den J. Robert Oppenheimer Papers in der Library of Congress und den Karl-Popper Papers an der Hoover Institution in Stanford angefordert. Des Weiteren besuchte ich das Archiv des Berkeley Radiation Laboratory in Kalifornien und sah die freigegebenen Dokumente aus der Zeit Bohms am Radiation Laboratory ein, ebenso bezog ich eine Kopie von Bohms Personalakte von der Universität Princeton.

Anhand dieser Quellen zeige ich, wie Bohm in der Auseinandersetzung mit den philosophischen Grundlagen des Marxismus schließlich in seinem Buch *Quantum Theory* zu einer Deutung der Standardquantenmechanik gelangte, die er mit dem dialektischen Materialismus als vereinbar ansah. Auch wenn er in wichtigen Punkten von dem Denkstil der US-Community abwich, so blieb er doch noch im Rahmen des Erlaubten. Erst mit der Suspendierung in Princeton begann Bohm, angeregt durch die Diskussionen mit Einstein, an seiner realistischen Interpretation der Quantenmechanik mit versteckten Parametern zu arbeiten. In Bohms Interpretation beschreibt die quantenmechanische Wellenfunktion ψ ein reales physikalisches Feld und die quantenmechanischen Größen, wie Ort und Impuls, existieren zu jeder Zeit unabhängig von der Beobachtung. Im Exil in Brasilien nahm Bohms Isolation von seinem ehemaligen Denkkollektiv noch weiter zu, was ermöglichte, dass seine Weltanschauung in seinen physikalischen Arbeiten immer stärker wirksam wurde. Diese Wechselbeziehung untersuche ich an Bohms Briefwechsel und seinen physikalischen wie wissenschaftsphilosophischen Publikationen und zeige so die Rolle der Philosophie für Bohms wissenschaftliche und physikalische Praxis auf.

Richard Phillips Feynman

Richard Phillips Feynmans Person ist Gegenstand von drei Biographien; einer wissenschaftlichen des Physikers und Wissenschaftshistorikers Jagdish Mehra⁴⁸, einer populärwissenschaftlichen aber historisch fundierten des Wissenschaftsjournalisten James Gleick⁴⁹ und einer populären der Sachbuchautoren John und Mary Gribbin⁵⁰. Von den drei genannten verwertet Gleick das meiste Quellenmaterial, zudem ist seine Biographie die einzige, die den Geniebegriff zumindest ansatzweise kritisch hinterfragt. Mehra und Gribbin & Gribbin übernehmen ihn weitgehend kritiklos. Insbesondere letztere Biographie bleibt nur an der Oberfläche und kann auch dem interessierten Laien nur bedingt zur Lektüre empfohlen werden. Mehra gibt eine gute und detaillierte Einführung in Feynmans physikalische Arbeiten. Gleick versucht am stärksten die Physik Feynmans zu kontextualisieren. Letztlich orientieren sich alle drei Arbeiten an den von Charles Weiner geführten Interviews mit Feynman im Auftrag des *American Institute of Physics* (AIP).

47 Wang, *Anxiety* (Anm. 40), S. 58-61.

48 Jagdish Mehra, *The Beat of a Different Drum. The Life and Science of Richard Feynman* (New York, 1994).

49 James Gleick, *Richard Feynman. Leben und Werk des genialen Physikers* (München, 1993).

50 John Gribbin und Mary Gribbin, *Richard Feynman. Die Biographie eines Genies* (München, 1997).

Mehra führte kurz vor Feynmans Tod noch eigene Interviews mit ihm, die sich aber in den zitierten Inhalten kaum von denen des AIP unterscheiden. Insbesondere Mehras teilweise seitenlange Aneinanderreihung von Zitaten aus diesen Interviews, ohne diese kritisch zu analysieren, erscheint als ein sehr leichtfertiger Umgang mit den historischen Quellen.

Ebenfalls eigene Interviews mit Feynman führte der Physikhistoriker Silvan S. Schweber, der mit einem umfassenden Aufsatz Feynmans Weg zur Quantenelektrodynamik analysierte.⁵¹ Dieser Aufsatz ging, ergänzt um einen Vergleich zwischen Feynman und Schwinger, in das 8. Kapitel von Schwebers Buch zur Geschichte der Quantenelektrodynamik ein.⁵² Darin gibt Schweber einen Überblick über die frühen Ansätze zu einer Quantenfeldtheorie und zur Quantenelektrodynamik von den späten 1920ern durch den Krieg bis in die Nachkriegszeit. Große Bedeutung misst Schweber den drei Nachkriegskonferenzen Shelter Island, Pocono und Oldstone für die Formulierung einer Quantenelektrodynamik bei. Zentral in Schwebers Buch sind die biographischen Studien zu Sin-Itiro Tomonaga, Julian Schwinger, Richard Feynman und Freeman Dyson, an denen er die Genese der modernen Quantenelektrodynamik beschreibt. Doch auch Schweber übernahm Feynmans Anekdoten aus den Interviews weitestgehend kritiklos.

Feynmans Biograph James Gleick charakterisierte die Person Feynmans unmittelbar nach dessen Tod in der *New York Times*:

Richard P. Feynman, arguably the most brilliant, iconoclastic and influential of the postwar generation of theoretical physicists, died Monday night in Los Angeles of abdominal cancer. He was 69 years old. An architect of quantum theories, a brash young group leader on the atomic bomb project and the inventor of the indispensable "Feynman diagrams" of particle behavior, he took half-made conceptions of matter and energy in the 1940's and shaped them into tools that ordinary physicists could understand and calculate with. . . To physicists who knew Dr. Feynman as a colleague or as a teacher, neither his faith in nature's simplicity nor his impatience with mediocrity came as a surprise. . . Above all, in and out of science, Dr. Feynman was a curious character — his phrase, and the double meaning was intentional. He was never content with what he knew or what other people knew. He taught himself how to fix radios, pick locks, draw nudes, speak Portuguese, play the bongos and decipher Mayan hieroglyphics. . . Physicists like Einstein had to struggle to reconcile their ordinary intuitions with the evidence of their equations. Dr. Feynman happily gave up the struggle. He and the physicists of his generation made peace with a way of describing nature that only explained how, not why.⁵³

Feynmans Zugang zur Quantenmechanik wird in dieser Arbeit über eine biographi-

51 Silvan S. Schweber, 'Feynman and the Visualisation of Space-Time Processes', *Review of Modern Physics* 58 (1986), S. 449–508.

52 Schweber, *QED* (Anm. 33), Kapitel 8, S. 373–473.

53 James Gleick, 'In Memoriam. Richard Feynman (1988) Thinker, Scientist, Humanitarian', *New York Times* (17 Februar 1988).

sche Fallstudie erschlossen. Dazu liegt verschiedenes Quellenmaterial vor. Feynmans autobiographische Erzählungen in Form von Interviews und Anekdotensammlungen⁵⁴ ergänzen den Nachlass am *California Institute of Technology* (Caltech). Ein Teil des Nachlasses wurde 1966 von Feynman an die Caltech Archives übergeben. Der zweite, weitaus größere Bestand, wurde von seiner Familie nach Feynmans Tod an das Archiv überreicht. Die Interviews, die das AIP zur Verfügung stellte, führte Charles Weiner in mehreren Sitzungen 1966 und 1973 mit Richard Feynman. Die in den 1980er Jahren veröffentlichten Anekdoten sind häufig bereits in den Interviews angelegt. Dennoch lassen sich Unterschiede zwischen beiden Erzählungen festmachen. Insbesondere bemerkt man eine weitere Zuspitzung der Erzählungen in den 1980ern, die zu einer Überhöhung und Entkontextualisierung von Feynmans Person führen. Ein wesentliches Ziel dieser Arbeit ist, es das „Genie“ Feynman und seine physikalischen Arbeiten zu kontextualisieren und aus dem Denkkollektiv der US-Physiker heraus zu verstehen. Dabei ist Feynmans Genie-Begriff ebenso zu hinterfragen, wie die Funktion der Erzählungen Feynmans. Aus dieser Leitfrage gehen alle anderen Fragen in diesem Kapitel hervor.

Die Interviews des AIP bilden wie in allen anderen biographischen Zugängen zu Feynman auch in dieser Arbeit die Grundlage für die Darstellung von Feynmans Jugend und seiner Undergraduate Studies am *Massachusetts Institute of Technology* (MIT). Feynmans Interviews werden durch Erinnerungen seines Studienkollegen Theodore Welton an die gemeinsame Zeit der beiden ergänzt.⁵⁵ Über den Vergleich der Aussagen können die Interviews als historische Quelle objektiviert werden. Für die Integration von Feynman in den US-Denkstil gewinnen die von ihm studierten Lehrbücher an besonderer Bedeutung, die bereits in Kapitel 2.5 im Rahmen der Analyse der Rezeption der Quantentheorie in den USA diskutiert wurden. In der Fallstudie Feynmans ist nur mehr Gegenstand der Untersuchung, welche der spezifischen Elemente Feynman aus den Lehrbüchern und von seinen Lehrern John C. Slater und Philip Morse in seinen Denkstil übernahm. Zur Person Slaters sei an dieser Stelle an eine Arbeit von Silvan Schweber hingewiesen, ebenso wie auf dessen Aufsatz zum Pragmatismus in der US-Physik.⁵⁶ Die Abschlussarbeit am MIT mit dem Thema „Forces and Stresses in Molecules“ erstellte Feynman unter Slaters Anleitung. Diese Arbeit Feynmans ist unpubliziert, aber am MIT vorhanden.⁵⁷

Im Anschluss an seine Undergraduate Studies nahm Feynman 1939 die Arbeit an seiner Dissertation an der Universität Princeton auf. Dort begann Feynman als Assistent von John A. Wheeler sich den Problemen der Quantenelektrodynamik anzunähern.

54 Richard P. Feynman, „*Surely you’re joking Mr. Feynman!*“ *Adventures of a Curious Character*, hrsg. v. Ralph Leighton und Edward Hutchings (New York, 1997 [1985]) und Richard P. Feynman, „*What Do You Care What Other People Think?*“ *Further Adventures of a Curious Character. By Richard P. Feynman, as told to Ralph Leighton* (New York, 1988).

55 T.A. Welton, *Memories*, R.P. Feynman Papers, California Institute of Technology, Archives, Pasadena, CA, USA, Folder 35.14.

56 Silvan S. Schweber, ‘The Young John Clarke Slater and the Development of Quantum Chemistry’, *Historical Studies in the Physical and Biological Sciences* 20 (1990), S. 339–406, sowie Schweber, ‘The Empiricist Temper Regnant. Theoretical Physics in the United States 1920–1950’ (Anm. 25).

57 Richard Feynman, *Forces and Stresses in Molecules*, Abschlussarbeit zur Erlangung des B.Sc., MIT Archives, 1939, unpubliziert.

Zunächst versuchten er und Wheeler das Problem der unendlichen Selbstenergie des Elektrons in der klassischen Elektrodynamik durch eine Eliminierung des Feldbegriffes in den Griff zu bekommen. Die Manuskripte hierzu sind in den Caltech Archives erhalten und lassen in Verbindung mit Interviews, sowie Feynmans Nobelpreisrede⁵⁸, eine Rekonstruktion der Forschungsarbeiten zu. Feynmans Nobelpreisrede weist allerdings wieder die typischen Merkmale der Selbststilisierung Feynmans auf und ist daher ebenso wie die Interviews kritisch zu hinterfragen. Gedrängt durch die Mitarbeit an ersten Kriegsprojekten konnten die beiden eine Übertragung der Ergebnisse auf die Quantenelektrodynamik nicht mehr umsetzen. Stattdessen reichte Feynman nur mehr eine Zusammenfassung eines neuen Zugangs zur Quantenmechanik über das Prinzip der kleinsten Wirkung als Dissertation in Princeton ein.⁵⁹ Aus seiner Dissertation, die ebenfalls in seinem Nachlass vorliegt und 2005 in einer edierten Fassung als Buch⁶⁰ erschienen ist, entwickelte Feynman nach Kriegsende seinen Pfadintegralformalismus. Aus einer intrinsischen Perspektive diskutiert sie Mehra⁶¹, in einen weiteren biographischen Rahmen eingebettet Schweber⁶² und populärwissenschaftlich Gleick⁶³.

Während des Zweiten Weltkriegs war Feynman in mehreren Teilprojekten des Manhattan Projects involviert: Zuerst am Isotron Projekt in Princeton, kurze Zeit am Metallurgical Laboratory in Chicago und ab 1943 in Los Alamos und als Sicherheitsinspektor in Oak Ridge. Einen sehr detaillierten Überblick über die verschiedenen Teilprojekte des Manhattan Projects geben Smyth und Rhodes, ein Überblick ist in Hughes Band zur Technikgeschichte in Amerika enthalten.⁶⁴ Darüber hinaus existiert eine breite Spanne

58 Richard P. Feynman, ‘The Development of the Space-Time View of Quantum Electrodynamics. Nobel Lecture, December 11, 1965’, in: *Nobel Lectures. Physics, 1963-1970* (Amsterdam, 1972), S. 155–178.

59 Richard P. Feynman, ‘The Principle of Least Action in Quantum Mechanics’, Doktorarbeit, Princeton University (Princeton, 1942).

60 Richard P. Feynman, *Feynman’s Thesis: A New Approach to Quantum Theory*, hrsg. v. Laurie M. Brown (Singapur, 2005).

61 Mehra, *Feynman* (Anm. 48).

62 Schweber, *QED* (Anm. 33), sowie Schweber, ‘Visualisation’ (Anm. 51).

63 Gleick, *Feynman* (Anm. 49).

64 Henry D. Smyth, *Atomic Energy for Military Purposes. The Official Report on the Development of the Atomic Bomb under the Auspices of the United States Government, 1940–1945* (Princeton, 1946), Richard Rhodes, *The Making of the Atomic Bomb* (New York, 1986) und Thomas C. Hughes, *Die Erfindung Amerikas. Der technologische Aufstieg der USA seit 1870* (München, 1991).

an Literatur zum Manhattan Project.⁶⁵ Groueffs⁶⁶ Darstellung der Person Feynmans in Los Alamos basiert ebenso auf Feynmans Erzählungen wie die bereits genannten biographischen Arbeiten und unterlässt es ebenso wie alle anderen, diese Erzählungen in ihrer Funktion zu hinterfragen. Lediglich der Physikhistoriker Peter Galison weicht in seinem Aufsatz⁶⁷ davon ab und untersucht an Hand der freigegebenen technischen Berichte aus Los Alamos den Einfluss der Kriegsforschung auf Feynmans Arbeitsstil. Diese technischen Berichte sind in der Zwischenzeit wieder als sicherheitsrelevant klassifiziert, liegen aber in Kopien im Archiv des Autors vor. Vor dem Hintergrund der Fragestellung, Feynmans Integration in das Denkkollektiv und der Entwicklung seines Denkstils, konzentriert sich das Interesse während Feynmans Zeit in Los Alamos auf zwei wesentliche Punkte. Zum einen auf die Beeinflussung von Feynmans persönlichem Arbeitsstil, zum anderen auf die Community von Los Alamos als soziales Netzwerk, das nach Kriegsende als ein Karrierenetzwerk wirkte. Die Funktion dieses Netzwerkes lässt sich mit Feynmans Briefwechsel, ebenso mit Hilfe von Interviews weiterer Physiker in Los Alamos rekonstruieren.⁶⁸

Feynman nahm nach Kriegsende eine Professur an der Cornell University in Ithaca an. Seine Erinnerungen an sein gesellschaftliches Engagement für die öffentliche Kontrolle der Atomforschung werden durch Feynmans FBI-Akte ergänzt, die ich unter dem *Freedom of Information Act* bezogen habe. Bald nahm Feynman seine Forschungen zur Quantenelektrodynamik wieder auf und befand sich während dieser Zeit in ständigem Konkurrenzkampf mit Julian Schwinger, der ebenfalls an einer Quantenfeldtheorie arbeitete. Feynmans Erinnerungen an diese Zeit sind wieder in ihrer Funktion zu hinterfragen, insbesondere in der populären Literatur tritt nämlich das Genie Feynman wieder in der Vordergrund. Der Weg hin zu Feynmans Formulierung der Quantenelektrodynamik lässt sich an Hand seines Briefwechsels rekonstruieren. Dabei fällt Feynmans ständiges Bemühen ins Auge, seine Arbeiten in die Sprache des Denkkollektivs zu übersetzen.

65 Zahlreiche der Literatur zum Manhattan Project umfasst persönliche Erinnerungen, wie Lawrence Badash, Joseph O. Hirschfelder und Herbert P. Broida (Hrsg.), *Reminiscences of Los Alamos, 1943-1945* (Dordrecht, 1980), Hans Bethe, *The Road from Los Alamos* (New York, 1991), Leslie Groves, *Now it Can be Told. The Story of the Manhattan Project* (New York, 1962), Kenneth D. Nichols, *The Road to Trinity. A Personal Account of How America's Nuclear Policies Were Made* (New York, 1987) oder basieren auf ihnen wie Stephane Groueff, *Manhattan Project. The Untold Story of the Making of the Atomic Bomb* (London, 1967). Robert Jungk, *Brighter Than a Thousand Suns. A Personal History of the Atomic Scientists* (New York, 1958) enthält einen Vergleich zwischen dem deutschen und dem amerikanischen Projekt und muss im Lichte aktueller Arbeiten selbst als historisch betrachtet werden. Zu diesen aktuellen Werken zählen: insbesondere Lillian Hoddeson et al. (Hrsg.), *Critical Assembly. A Technical History of Los Alamos During the Oppenheimer Years, 1943-1945* (Cambridge, 1993) und Rhodes, *Atomic Bomb* (Anm. 64); biographische Zugänge versuchen Herken, *Brotherhood* (Anm. 36) und Schweber, *Oppenheimer, Bethe* (Anm. 36).

66 Groueff, *Manhattan Project* (Anm. 65).

67 Peter Galison, 'Feynman's War. Modelling Weapons, Modelling Nature', *Studies in the History and Philosophy of Modern Physics* 29 (1998), S. 391–434.

68 Interview mit Hans A. Bethe, geführt von Jagdish Mehra und Charles Weiner, 27. Oktober 1966, American Institute of Physics. Center for History of Physics. Niels Bohr Library. One Physics Ellipse, College Park, MD 20740, USA und Interview mit Robert Serber, geführt von Charles Weiner und Gloria Lubkin, 10. Februar 1967, American Institute of Physics. Center for History of Physics. Niels Bohr Library. One Physics Ellipse, College Park, MD 20740, USA

Diese „Übersetzungen“ werden in dem Kapitel einer genaueren Analyse unterzogen. Im Rahmen seiner Forschungen zur Quantenelektrodynamik publizierte Feynman 1948 auch seine Formulierung der Quantenmechanik mit Pfadintegralen.⁶⁹ Der Wandel der Sprache von Feynmans unpublizierter Dissertation hin zum Zeitschriftenaufsatz rückt hier in den Mittelpunkt der Untersuchung.⁷⁰

Das Kapitel schließt mit Überlegungen zum „Genie“ Feynman, einem Bild, das erst nach der Verleihung des Nobelpreises von ihm in der Öffentlichkeit entstand. Feynman förderte dieses Bild seiner Person durch seine autobiographischen Erzählungen, in denen er seine physikalischen Erkenntnisse für den Leser als nicht mehr nachvollziehbar darstellte und seine sozialen wie wissenschaftlichen Normverstöße detailliert beschrieb. Von den bisher erschienen biographischen Arbeiten setzte sich lediglich Gleick mit der Frage „Was ist ein Genie?“⁷¹ auseinander. Dabei ließ er jedoch die Funktion von Feynmans Selbstdarstellung und die der Öffentlichkeit bei der Genese des Genies Feynman unbeachtet. Die Rolle von Feynman als Popularisierer moderner Physik für das Bild von Feynman als physikalisches Genie wird am Ende des Abschnitts diskutiert.

69 Richard P. Feynman, ‘Space-Time Approach to Non-Relativistic Quantum Mechanics’, *Reviews of Modern Physics* 20 (1948), S. 367–387.

70 Zentral ist im Rahmen der Fragestellung Feynmans Pfadintegralformalismus der Quantenmechanik, nicht die sogenannten Feynman-Diagramme zur Veranschaulichung und Berechnung elementarer Prozesse, die bereits David Kaiser, *Drawing Theories Apart. The Dispersion of Feynman Diagrams in Postwar Physics* (Chicago, 2005) behandelt.

71 Gleick, *Feynman* (Anm. 49), S. 450-477.

