

MORITZ SCHLICK

Texte zur
Quantentheorie

Eingeleitet, kommentiert und
herausgegeben von

FYNN OLE ENGLER

FELIX MEINER VERLAG
HAMBURG

PHILOSOPHISCHE BIBLIOTHEK BAND 742

Bibliographische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliographie; detaillierte bibliographische Daten sind im Internet über <<http://portal.dnb.de>> abrufbar.

ISBN 978-3-7873-3875-7

ISBN eBook 978-3-7873-3876-4

© Felix Meiner Verlag GmbH, Hamburg 2021. Alle Rechte vorbehalten.
Dies gilt auch für Vervielfältigungen, Übertragungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen, soweit es nicht §§ 53 und 54 UrhG ausdrücklich gestatten.
Satz: mittelstadt 21, Vogtsburg-Burkheim. Druck und Bindung: Beltz, Bad Langensalza. Gedruckt auf alterungsbeständigem Werkdruckpapier, hergestellt aus 100 % chlorfrei gebleichtem Zellstoff. Printed in Germany.

INHALT

Einleitung von <i>Fynn Ole Engler</i>	VII
Vorbemerkung	VII
1. Der Wiener Kreis	VIII
2. Kausalität und Wahrscheinlichkeit im Lichte der modernen Physik	XII
3. Schlicks Botschaft auf der Leipziger Naturforscher-versammlung	XXI
4. Die Begegnungen mit Wolfgang Pauli in Wien	XXIV
5. Der Einfluss Ludwig Wittgensteins	XXXI
6. Schlicks pragmatistische Wende in der Kausalitäts- und Wahrscheinlichkeitsdebatte	XXXIV
7. Der Geist von Kopenhagen	XLIII
8. Danksagung	XLV
9. Zu dieser Ausgabe	XLV
Literaturverzeichnis	XLVII

MORITZ SCHLICK Texte zur Quantentheorie

1.1 Naturphilosophische Betrachtungen über das Kausalprinzip	3
1.2 Erkenntnistheorie und moderne Physik	41
1.3 Die Kausalität in der gegenwärtigen Physik	52
1.4 Ergänzende Bemerkungen über P. Jordan's Versuch einer quantentheoretischen Deutung der Lebens-erscheinungen	100
1.5 Sind die Naturgesetze Konventionen?	103

1.6 Gesetz und Wahrscheinlichkeit	115
1.7 Quantentheorie und Erkennbarkeit der Natur	130

Anhang

2.1 Rezension von Max Planck, Physikalische Rundblicke ..	145
2.2 Rezension von Percy W. Bridgman, The Logic of Modern Physics	151
2.3 Rezension von Bertrand Russell, Die Philosophie der Materie	154
Anmerkungen des Herausgebers	157
Personenregister	183

EINLEITUNG

Vorbemerkung

Neben den Texten zur Einstein'schen Relativitätstheorie, die den Ruf des Philosophen und Physikers Moritz Schlick begründeten,¹ stehen seine naturphilosophischen Arbeiten aus den Zwanziger- und Dreißigerjahren im Kontext der zweiten tiefgreifenden Revolution in der Physik des 20. Jahrhunderts. Schlicks Texte zur Quantentheorie geben wichtige Aufschlüsse über die jüngeren Entwicklungen zentraler physikalisch-philosophischer Begriffe, insbesondere der Kausalität und der Wahrscheinlichkeit, sowie über die weitreichende Transformation eines ganzen Wissenssystems, die neben der Physik vor allem die Chemie und die Mathematik, aber auch die Biologie erfasste. Zugleich zeigen sie einige Aspekte des neuen Bildes der Realität, das sich im Zuge der Quantenrevolution nach und nach herausstellte.

Die in diesem Band versammelten Schriften zeigen Schlick auf dem Höhepunkt seines Schaffens in Wien und geben Auskunft über die Entwicklungen seines Denkens seit Beginn der Zwanzigerjahre bis zu seinem frühen Tod im Jahre 1936. Einerseits sind sie das Ergebnis der intensiven Diskussionen im nachmals weltberühmten »Wiener Kreis«, sie sind aber auch Ausdruck der langjährigen und fruchtbaren Auseinandersetzung mit Hans Reichenbach, einem der führenden Köpfe der sogenannten Berliner Gruppe der »Internationalen Gesellschaft für empirische bzw. wissenschaftliche Philosophie«.²

¹ Moritz Schlick, *Texte zu Einsteins Relativitätstheorie*. Eingeleitet, kommentiert und herausgegeben von Fynn Ole Engler, Hamburg: Felix Meiner 2019 (= PhB 733).

² Ausgewählte Texte wichtiger Vertreter der Berliner Gruppe sind abgedruckt in *Die Berliner Gruppe. Texte zum Logischen Empirismus von Walter Dubislav, Kurt Grelling, Carl G. Hempel, Alexander Herz-*

Andererseits lassen sie den Einfluss Ludwig Wittgensteins, den Schlick im Februar 1927 persönlich kennenlernte, deutlich zu Tage treten.³ Schließlich sind sie Zeugnisse von Schlicks fortwährenden Diskussionen mit einigen Quantenphysikern. Auf die Begegnungen mit Wolfgang Pauli und Werner Heisenberg wird dabei genauer einzugehen sein.

1. Der Wiener Kreis

Nachdem Schlick Anfang 1922 den Ruf auf den Lehrstuhl für Naturphilosophie an der Universität Wien endgültig angenommen hatte, schrieb ihm Max Planck und brachte seine Freude »über diese erneute Anerkennung Ihrer wissenschaftlichen Arbeit« zum Ausdruck. »Daß sie einmal kommen mußte«, so der Begründer der Quantentheorie und Schlicks Doktorvater, »war mir zwar sicher, aber es ist doch schön, wenn man nicht gar zu lange zu warten hat«.⁴ Im Herbst 1922 übersiedelt Schlick schließlich nach Wien. Die Familie bezog am 7. Oktober eine geräumige Wohnung in der Prinz-Eugen-Straße 68/4 in unmittelbarer Nähe zum Oberen Belvedere. In seinem ersten Semester in Wien bot Schlick »Übungen zur Moralphilosophie«, eine Vorlesung zu »Schopenhauer und Nietzsche« sowie eine »Einführung in die Naturphilosophie« an.

berg, Kurt Lewin, Paul Oppenheim und Hans Reichenbach. Herausgegeben, eingeleitet und mit Anmerkungen versehen von Nikolay Milkov, Hamburg: Felix Meiner 2015 (= PhB 671).

³ Vgl. dazu Mathias Iven, »Er ist eine Künstlernatur von hinreissender Genialität«. Die Korrespondenz zwischen Ludwig Wittgenstein und Moritz Schlick sowie ausgewählte Briefe von und an Friedrich Waismann, Rudolf Carnap, Frank P. Ramsey, Ludwig Hänsel und Margaret Stonborough« sowie Fynn Ole Engler, »Allerdings ist die Lektüre äußerst schwierig. Zum Verhältnis von Moritz Schlick und Ludwig Wittgenstein«, in: *Wittgenstein-Studien* 6 (2015), S. 83–174 bzw. 175–210.

⁴ Max Planck an Moritz Schlick, 4. Februar 1922, Noord-Hollands Archief, Nachlass Schlick, Inv.-Nr. 113/Pla-11.

Ab 1924 kam es zu den ersten Zusammenkünften eines Diskussionszirkels, der sich um Schlick gruppierter und aus dem später der »Wiener Kreis« hervorgehen sollte.⁵ Zu den Gründungsmitgliedern zählten Hans Hahn, Philipp Frank und Otto Neurath, die schon im »Ersten Wiener Kreis« aktiv waren.⁶ Mit seinem Wechsel nach Wien im Herbst 1926 wurde auch Rudolf Carnap, der sich bei Schlick mit dem *Logischen Aufbau der Welt* habilitierte, in den Kreis aufgenommen, weitere Mitglieder waren Gustav Bergmann, Karl Menger, Victor Kraft, Rozalia Rand, Herbert Feigl, Kurt Gödel, Felix Kaufmann und Friedrich Waismann.

Carnap berichtete später in seiner Autobiographie, dass die Arbeit im Wiener Kreis dadurch erleichtert wurde, »daß alle Mitglieder unmittelbar mit einem Wissenschaftsgebiet, sei es Mathematik, Physik oder Sozialwissenschaften vertraut waren«, was aus seiner Sicht zu einem »höheren Niveau an Klarheit und Verantwortung« führte,⁷ zugleich grenzte man sich damit allerdings auch von anderen philosophischen Kreisen und Denkrichtungen ab. Viel Wert gelegt wurde überdies auf die neuen Werkzeuge der symbolischen Logik, die eine strenge begriffliche Analyse ermöglichten. Außerdem stimmten alle Mitglieder des Kreises in einer gewissen Ablehnung der traditionellen Metaphysik überein.

An die Öffentlichkeit getreten ist der Wiener Kreis mit einem programmatischen Manifest zur wissenschaftlichen Weltans-

⁵ Siehe Friedrich Stadler, *Der Wiener Kreis. Ursprung, Entwicklung und Wirkung des Logischen Empirismus im Kontext*, Überarbeitete Auflage von *Studien zum Wiener Kreis* (1995/2001), Basel: Springer 2015.

⁶ Vgl. dazu Rudolf Haller, »Der erste Wiener Kreis«, in: ders., *Fragen zu Wittgenstein und Aufsätze zur Österreichischen Philosophie*, Amsterdam: Rodopi 1986, S. 89–107 und Thomas E. Uebel, »On the Austrian Roots of Logical Empiricism. The Case of the First Vienna Circle«, in: Paolo Parrini, Wesley C. Salmon und Merrilee Salmon (Hg.), *Logical Empiricism. Historical and Contemporary Perspectives*, Pittsburgh: University of Pittsburgh Press 2003, S. 67–93.

⁷ Rudolf Carnap, *Mein Weg in die Philosophie*, Stuttgart: Reclam 1993, S. 33.

sung, das anlässlich der Ersten Tagung für Erkenntnislehre der exakten Wissenschaften in Prag im September 1929 unter der Federführung von Neurath gemeinsam mit Carnap und Hahn und unter Mithilfe von Frank und Feigl verfasst wurde und Schlick gewidmet war.⁸ Das Manifest informierte über die Themengebiete und Probleme, mit denen sich die Kreismitglieder beschäftigten, zählte deren einschlägige Publikationen auf und verwies auf die wichtigsten Einflüsse, es brachte allerdings auch eine bemerkenswert politische Botschaft zum Ausdruck. Seine Verfasser traten für eine engagierte Vernunft ein, die in breiter Öffentlichkeit wirksam werden und ins gesellschaftliche Leben eingreifen sollte.

Insgesamt betrachtet war Schlick jedoch mit dem Manifest eher unglücklich und er schrieb Ende Oktober an Wittgenstein, dass »meine Freunde gute Absichten in etwas unüberlegter Weise ausgeführt haben, wissen Sie. Ich hoffe aber, dass der Sache selbst dadurch kein Schaden zugefügt worden ist.«⁹ In der Folgezeit traten die Spannungen innerhalb des Kreises aufgrund der politischen Positionen einiger seiner Mitglieder immer deutlicher hervor. Neurath trommelte am linken Flügel für das Programm einer Einheitswissenschaft mit einer klar marxistischen Ausrichtung, während sich Schlick mit seinem Assistenten Waismann und Wittgenstein in eine eigene Diskussionsrunde zurückzog und die revolutionären Ambitionen des Kreises

⁸ Otto Neurath, Rudolf Carnap und Hans Hahn, *Wissenschaftliche Weltanschauung. Der Wiener Kreis*, hrsg. vom Verein Ernst Mach, Wien: Artur Wolf Verlag 1929. Neuausgabe: Friedrich Stadler und Thomas E. Uebel (Hg.), *Wissenschaftliche Weltanschauung. Der Wiener Kreis*, Wien/New York: Springer 2012. Siehe dazu Thomas E. Uebel, »Writing a Revolution: On the Production and Early Reception of The Vienna Circle's Manifesto«, in: *Perspectives on Science* 16/1 (2008), S. 70–102.

⁹ Moritz Schlick an Ludwig Wittgenstein, 24. Oktober 1929, zitiert nach: Mathias Iven, »Er ist eine Künstlernatur von hinreissender Genialität«, a.a.O., S. 113f.

schlichtweg ablehnte; ab Ende 1929 traf man sich zu Dritt meist in seiner Wohnung.¹⁰

Die Zusammenkünfte des Wiener Kreises fanden aber weiterhin regelmäßig an den Donnerstagen während der Vorlesungszeit im Hinterhaus des Mathematischen Instituts in der Boltzmanngasse 5 statt. Wer von Schlick eingeladen war, der durfte an den Sitzungen teilnehmen. Seit den Dreißigerjahren kam es zu einer stetig zunehmenden Internationalisierung der Aktivitäten des Kreises und eine Anzahl von Kongressen, Tagungen und Konferenzen wurde vor allem von Neurath, der Anfang April 1934 ins holländische Exil nach Den Haag aufbrechen musste, umtriebig organisiert. Carnap war 1931 nach Prag berufen worden.

Um den weiteren Gedankenaustausch zu fördern und die Außenwirkung der in Berlin, Prag und Wien vertretenen wissenschaftlichen Philosophie zu vergrößern, wurde ab 1930 im Auftrag des Wiener »Vereins Ernst Mach« und der Berliner Gesellschaft für empirische Philosophie von Carnap und Reichenbach in Fortführung der *Annalen der Philosophie* (ab 1924 *Annalen der Philosophie und philosophischen Kritik*) die Zeitschrift *Erkenntnis* im Felix Meiner Verlag in Leipzig herausgegeben. In die Zeitschrift, den Namen hatte Reichenbach vorgeschlagen,¹¹ fand auch eine der zentralen naturphilosophischen Debatten der Zeit Eingang, die sich um die Begriffe der Kausalität und der Wahrscheinlichkeit drehte. Intensiv geführt wurde sie allerdings schon am Ende der Zehner- und in den Zwanzigerjahren, insbesondere mit Blick auf die Entwicklungen in der modernen Physik.

¹⁰ Vgl. *Wittgenstein und der Wiener Kreis*, Gespräche, aufgezeichnet von Friedrich Waismann. Aus dem Nachlaß herausgegeben von B. F. McGuinness, in: Ludwig Wittgenstein, *Werkausgabe*, Band 3, Frankfurt/M.: Suhrkamp 1984.

¹¹ Vgl. Hans Reichenbach an Rudolf Carnap, 4. Februar 1930, Archives of Scientific Philosophy: Hans Reichenbach, ASP-HR 014-23-03. Siehe dazu auch Rainer Hegselmann und Geo Siegwart, »Zur Geschichte der ›Erkenntnis‹«, in: *Erkenntnis* 35 (1991), S. 461–471.

*2. Kausalität und Wahrscheinlichkeit
im Lichte der modernen Physik*

Es war Einstein, der Schlick vorschlug, etwas über Kausalität zu schreiben. »Die Forderung der Kausalität ist eben bei genauem Zusehen keine scharf umgrenzte«, schrieb er an Schlick, und weiter heißt es in seinem Brief: »Es gibt verschiedene Grade der Erfüllung der Kausalitäts-Forderung. Man kann nur sagen, dass die Erfüllung der allgemeinen R[elativitäts]. Th[eorie]. in höherem Masse geglückt ist als der klassischen Mechanik. Die sorgfältige Durchführung dieses Gedankens wäre vielleicht eine lohnende Aufgabe für einen Erkenntnis-Theoretiker.«¹²

Zuvor hatte Schlick einige Ausführungen Einsteins moniert, der argumentiert hatte, dass die Newton'sche Mechanik keine zufriedenstellende kausale Erklärung für die an rotierenden Körpern beobachteten Verformungen liefert, wenn sie diese Effekte auf das Vorhandensein des absoluten Raumes zurückführt. Hingegen war Schlick der Überzeugung, dass man auch sagen kann, dass die Verformungen tatsächlich als »ein schlechthin Gegebenes« die absolute Rotation definieren, anstatt durch sie verursacht zu werden. Er war der Auffassung, »daß Newtons Dynamik hinsichtlich des Kausalprinzips ganz in Ordnung ist; gegen den Einwand, sie führe bloß fingierte Ursachen ein, könnte sie sich wohl verteidigen, wenn auch Newtons eigene Ausdrucksweise nicht korrekt war«.¹³

¹² Albert Einstein an Moritz Schlick, 21. März 1917, in: *The Collected Papers of Albert Einstein* (kurz: CPAE) 8/A, Doc. 314.

¹³ Vgl. Albert Einstein, »Die Grundlage der allgemeinen Relativitätstheorie«, in: *Annalen der Physik* 49 (1916), S. 769–822, hier: S. 771f. (in: CPAE 6, Doc. 30) und Moritz Schlick, »Raum und Zeit in der gegenwärtigen Physik. Zur Einführung in das Verständnis der allgemeinen Relativitätstheorie«, in: *Die Naturwissenschaften* 5, Hefte 11/12 (1917), S. 161–167 und 177–186, hier: S. 178, Anm. 2 (in: Moritz Schlick, *Texte zu Einsteins Relativitätstheorie*, a.a.O., Beitrag 1.2).

Schlicks erster Aufsatz zur Kausalität »Naturphilosophische Betrachtungen über das Kausalprinzip«¹⁴ erschien am 11. Juni 1920 in den *Naturwissenschaften*. Am 7. Juni hatte Einstein noch auf das Manuskript reagiert: »Nun einige Bemerkungen zu Ihrem wunderbar klar geschriebenen Manuskript. Mit Ihrer Auffassung von Kausalität bin ich fast, aber doch nicht ganz einverstanden.« Und in einer Fußnote fügte er hinzu: »Der Aufsatz gefällt mir sehr; trotz der nachfolgenden Nörgelei. Es sind eben die strittigen Punkte immer am interessantesten!«¹⁵ Zum Leidwesen von Schlick kamen Einsteins Bemerkungen jedoch zu spät, um noch Eingang in den Text zu finden, der Aufsatz war bereits in den Druck gegeben. So schrieb Schlick am 10. Juni an Einstein: »Vielen herzlichen Dank, daß Sie so ausführlich auf mein Geschreibsel eingegangen sind! Ich wollte nur, ich hätte Ihnen das Manuskript ein wenig früher gesandt; dann hätte ich noch einiges ändern können. Aber jetzt ist es zu spät, da längst alles für die Naturwissenschaften gesetzt ist; das betreffende Heft ist bereits morgen, den 11ten fällig.«¹⁶

Schlick hatte seine naturphilosophischen Betrachtungen mit einer näheren Erläuterung des Kausalprinzips begonnen. Er be-

¹⁴ Beitrag 1.1, S. 3–40. Siehe dazu Manfred Stöckler, »Moritz Schlick über Kausalität, Gesetz und Ordnung in der Natur«, in: Rainer Hegselmann und Heinz-Otto Peitgen (Hg.), *Modelle sozialer Dynamiken. Ordnung, Chaos und Komplexität*, Wien: Hölder-Pichler-Tempsky 1996, S. 225–245; Tobias Fox, »Die letzte Gesetzmäßigkeit – Schlicks Kommentare zur Quantenphysik«, in: *Stationen. Dem Philosophen und Physiker Moritz Schlick zum 125. Geburtstag*, hrsg. von Friedrich Stadler und Hans Jürgen Wendel unter Mitarbeit von Edwin Glassner (= *Schlick-Studien* 1), Wien/New York: Springer 2009, S. 212–258 sowie Michael Stöltzner, *Causality, Realism and the Two Strands of Boltzmann's Legacy (1896–1936)*, Bielefeld 2003, Chapter 7: Moritz Schlick at the Causal Turn.

¹⁵ Albert Einstein an Moritz Schlick, 7. Juni 1920, in: *CPAE* 10, Doc. 47.

¹⁶ Moritz Schlick an Albert Einstein, 10. Juni 1920, Noord-Hollands Archief, Nachlass Schlick, Inv.-Nr. 098/Ein-34. Zu den Einwänden Einsteins und Schlicks Reaktionen darauf siehe Beitrag 1.1, S. 159–161, Anm. 9; S. 162f., Anm. 17; S. 163, Anm. 18; S. 163, Anm. 19; S. 163f., Anm. 20 und S. 164f., Anm. 23.

stimmte es als »allgemeinen Ausdruck der Tatsache, daß alles Geschehen in der Natur ausnahmslos gültigen Gesetzen unterworfen ist«.¹⁷ Entsprechende Naturgesetze sollten für ihn in der Form von Differentialgleichungen formuliert werden, die, gegeben die Anfangs- und Randbedingungen, eine objektive, raum-zeitliche Beschreibung des Geschehens und damit eine eindeutige und durchgehende Bestimmung der Vorgänge in einem umgrenzten Gebiet ermöglichen.

Zwei Aspekte sind hier hervorzuheben: Zum einen war die raum-zeitliche Darstellung nicht notwendig an die Anschauung gebunden. Raum und Zeit hatten sich im Zusammenhang mit der allgemeinen Relativitätstheorie als abstrakte Ordnungssysteme erwiesen und unterlagen als Konventionen einer weitgehend freien Begriffsbildung. Zum anderen konnten nur unmittelbar benachbarte Ereignisse sowohl in Bezug auf die räumliche als auch die zeitliche Ordnung einen kausalen Einfluss aufeinander ausüben. Im Zusammenhang mit dem zweiten Aspekt war es für Schlick von großer Wichtigkeit, dass das Prinzip der Kausalität zunächst nicht viel mehr besagen sollte, als dass jedes Ereignis eine Ursache hat, also eine kontinuierliche Bestimmtheit des Naturgeschehens mit diesem Prinzip angenommen wurde, darüber hinaus aber nur *a posteriori*, nämlich unter der Angabe von entsprechenden Naturgesetzen entschieden werden konnte, wie die Ursachen eines Ereignisses im Einzelnen beschaffen und wie diese tatsächlich aufzufinden sind. Somit war das Kausalprinzip eine empirische Hypothese. Eine Einschränkung hatte es bereits durch die Formulierung von Gesetzen erfahren, die einen diskontinuierlichen Naturverlauf beschrieben. Schlick wies hier auf die Entwicklungen in der Quantentheorie hin.¹⁸

¹⁷ Beitrag 1.1, S. 3. Während Schlick die Explikation des Kausalprinzips in den Bereich der Naturphilosophie einordnete, gehörte die Frage nach dessen Geltungsgrund für ihn in die Erkenntnistheorie.

¹⁸ Siehe Beitrag 1.1, S. 5. Vgl. dazu Armin Hermann, *Frühgeschichte der Quantentheorie (1899–1913)*, Mosbach: Physik Verlag 1969 und Tho-

Jedoch galt im Anschluss an die allgemeine Relativitätstheorie, dass Naturgesetze in der Form von Differentialgleichungen auf definierte Gebiete, die durch Anfangs- und Randbedingungen festgelegt waren, eine allgemeingültige Anwendung finden und die Vorgänge darin eindeutig und durchgehend bestimmen, womit der Inhalt des Kausalprinzips für das Naturerkennen in den exakten Wissenschaften formuliert war. »Dies ist eine dem mathematischen Physiker wohlbekannte Wahrheit«, so Schlick: »sind die ›Anfangsbedingungen‹ und die ›Grenzbedingungen‹ gegeben, so ist alles Geschehen in dem betrachteten Gebiet durch die Differentialgleichungen der Physik eindeutig bestimmt und zu berechnen. Dies ist also die nunmehr einwandfreie und erfahrungsmäßig prüfbare Form, in welcher der Kausalsatz in der exaktesten Wissenschaft erscheint, und die er, wie gesagt, nur unter der Voraussetzung der Nichtexistenz von Fernkräften annehmen konnte.«¹⁹ Schlick hatte damit die realistische Annahme der eindeutigen und durchgehenden Determiniertheit des Naturgeschehens mit dem Kausalprinzip notwendig verknüpft. Gemeinsam mit Einstein vertrat er dabei eine realistische Position auf empirischer Grundlage, die eine weitgehend freie Begriffsbildung mit einschloss.

Schlicks naturphilosophische Betrachtungen zum Kausalprinzip boten aber nicht nur Einstein die willkommene Gelegenheit einer ausführlichen Diskussion, auch Reichenbach fühlte sich herausgefordert.²⁰ Er hatte schon 1915 in seiner Erlanger Dissertation »Der Begriff der Wahrscheinlichkeit für die mathematische Darstellung der Wirklichkeit« sowie in zwei, im Januar und

mas S. Kuhn, *Black-Body-Theory and the Quantum Discontinuity 1894–1912*, Oxford/New York: Oxford University Press 1978.

¹⁹ Beitrag 1.1, S. 6.

²⁰ Siehe dazu Fynn Ole Engler, »Moritz Schlick und Hans Reichenbach über die Eindeutigkeit der Zuordnung, die Gründe diese aufzugeben und die heuristische Stärke eines Empirismus mit begriffskonstitutiven Prinzipien«, in: Fynn Ole Engler und Mathias Iven (Hg.), *Moritz Schlick. Leben, Werk und Wirkung*, Berlin: Parerga 2008, S. 131–135.

Februar 1920 in den *Naturwissenschaften* erschienenen Aufsätzen neben dem Kausalprinzip die Notwendigkeit des Wahrscheinlichkeitsbegriffs für das Naturerkennen herausgestellt.²¹ »Die moderne Physik ist längst über jeden Zweifel an der Anwendbarkeit von Wahrscheinlichkeitsgesetzen hinausgeschritten«, schrieb er in seiner Dissertation, »sie hat in den Gebieten der Molekulartheorie, der Quantentheorie wichtige Grundgesetze der Natur durch Anwendung statistischer Betrachtungen aufgedeckt. All das gibt uns mit Recht den Anlaß, zu vermuten, daß in den Wahrscheinlichkeitsgesetzen objektive Gesetze des Naturgeschehens vorliegen, deren Geltung sich philosophisch begründen lassen muß.«²² Dabei konnte Reichenbach auf Phänomene verweisen, die in der modernen Physik eine statistische Be trachtung erforderlich machten, wie die Brown'sche Bewegung oder radioaktive Zerfallsprozesse. Zugleich sah er damit allerdings auch den alleinigen Geltungsanspruch des Kausalprinzips in Frage gestellt,²³ den Schlick auch weiterhin verteidigte. In einem Brief an Arnold Berliner ließ Reichenbach den Begründer und Mitherausgeber der *Naturwissenschaften* wissen:

Ich las in einem ihrer letzten Hefte den Aufsatz von Schlick über die Kausalität. Ich muss sagen, dass ich einigermaßen erschrocken

²¹ Vgl. Hans Reichenbach, »Der Begriff der Wahrscheinlichkeit für die mathematische Darstellung der Wirklichkeit«, in: *Zeitschrift für Philosophie und philosophische Kritik*, Bd. 161 (1916), S. 209–239; Bd. 162 (1917), S. 98–112 und 222–239 sowie Bd. 163 (1917), S. 86–98; ders. »Die physikalischen Voraussetzungen der Wahrscheinlichkeitsrechnung«, in: *Die Naturwissenschaften* 8, Heft 3 (1920), S. 46–55 und ders., »Philosophische Kritik der Wahrscheinlichkeitsrechnung«, in: *Die Naturwissenschaften* 8, Heft 8 (1920), S. 146–153.

²² Hans Reichenbach, »Der Begriff der Wahrscheinlichkeit für die mathematische Darstellung der Wirklichkeit«, a.a.O., Bd. 161, S. 222.

²³ Siehe dazu Andreas Kamlah, »Die Analyse der Kausalrelation, Reichenbachs zweites philosophisches Problem«, in: Hans Poser und Ulrich Dirks (Hg.), *Hans Reichenbach, Philosophie im Umkreis der Physik*, Berlin: Akademie Verlag 1998, S. 33–53.

bin über die Wendung, die Schlick jetzt nimmt. Es ist einfach falsch, was er sagt. Er hat gewisse Dinge nicht gesehen, und muss nun unglücklicherweise gerade in dieser Spur weiter laufen. So wird er allmählich seine frühere freie Position ganz verlieren und schließlich frei nach Kant die vernünftigen Voraussetzungen der Welt deduzieren, ohne die nun einmal Erkenntnis nicht möglich sei. Mehr hat aber Kant mit seinen synthetischen Urteilen *a priori* auch nicht behauptet. Dass gerade in der unendlichen Anpassungsfähigkeit der Vernunft an die Wirklichkeit ihr besonderer Vorzug liegt, sieht er nicht, oder vielmehr *nicht mehr*, denn in dieser Erkenntnis hatte ich gerade das grosse Verdienst Schlicks gesehen. Ich würde sehr gern, wenn Sie es erlauben, auf Schlick entgegnen, möchte aber hiermit noch warten, bis meine Relativitätsschrift erschienen ist, denn darin habe ich schon das Wesentliche hierzu gesagt.²⁴

Mit der Schrift war das wenig später publizierte Buch *Relativitätstheorie und Erkenntnis a priori* gemeint. Schlick nahm es zum Anlass, in die Diskussion mit Reichenbach einzutreten.²⁵ Reichenbach hatte in seiner Schrift betont, dass es beim Naturerkennen Zuordnungsprinzipien gibt, die in einem Kantischen Sinne durch unsere Vernunft bestimmt sind, gleichwohl im Zuge der wissenschaftlichen Entwicklung und der Formulierung neuer Theorien aber einer gewissen Dynamik und Veränderung unterliegen können, wobei letztlich die Erfahrung darüber zu entscheiden hat, welche unter den denkbaren Prinzipien durch die Ver-

²⁴ Hans Reichenbach an Arnold Berliner, 16. Juni 1920, Archives of Scientific Philosophy: Hans Reichenbach, ASP-HR 015-49-40.

²⁵ Vgl. Moritz Schlick an Hans Reichenbach, 25. September 1920, Archives of Scientific Philosophy: Hans Reichenbach, ASP-HR 015-63-23. Reichenbach hatte das Buch im März 1920 innerhalb von nur 10 Tagen geschrieben (siehe Karin Gerner, *Hans Reichenbach. Sein Leben und Wirken. Eine wissenschaftliche Biographie*, Osnabrück: Phoebe-Autorenpress 1997, S. 36). Während seiner Zeit in Berlin, vom September 1917 bis März 1920, nahm er im Sommersemester 1919 (von Mai bis Juni) an Vorlesungen Einsteins zur allgemeinen Relativitätstheorie teil.

nunft ausgewählt werden. Dabei stellte Reichenbach mit seiner Analyse der jüngeren Entwicklungen der physikalischen Theorien heraus, dass die Wahrscheinlichkeitsfunktion als ein weiteres Zuordnungsprinzip neben das Kausalprinzip beim Erkennen der Realität getreten war. Somit war die Erkenntnis der Gegenstände in der Physik unter entsprechenden Gesetzen für Reichenbach notwendigerweise durch zwei Prinzipien bestimmt,²⁶ wobei die physikalischen Theorien einen variablen Bezugsrahmen für die gleichfalls wandelbaren und stetig zu erweiternden Prinzipien des Naturerkennens bildeten. Die auf diese Weise relativierten Zuordnungsprinzipien konnten zwar als synthetische Urteile *a priori* angesehen werden, insofern sie den Gegenstand einer möglichen Erfahrungserkenntnis begrifflich konstituierten, sie besaßen allerdings keine apodiktische Gewissheit mehr, sondern konnten sich als unvereinbar mit der Erfahrung erweisen.²⁷

Vor diesem Hintergrund konnte für Reichenbach allerdings auch die eindeutige Zuordnung als grundlegende Erkenntnisrelation aufgegeben werden. Schlick wiederum hatte aus empiristischer Sicht die Bedeutung gegenstandskonstitutiver Erkenntnisprinzipien spätestens in seinem 1921 erschienenen Aufsatz »Kritizistische oder empiristische Deutung der neuen Physik« deutlich herausgestellt, nämlich »daß ein Denker, der die Unentbehrlichkeit konstitutiver Prinzipien zur wissenschaftlichen Erfahrung überhaupt einsieht, deswegen noch nicht als Kritizist bezeichnet werden darf. Ein Empirist kann z. B. sehr wohl das

²⁶ Dazu heißt es: »Wir finden demnach, daß das *Prinzip der gesetzmäßigen Verknüpfung* alles Geschehens, wie sie die Kausalität leistet, nicht zur mathematischen Darstellung der Wirklichkeit ausreicht. Es muß noch ein anderes Prinzip hinzukommen, welches die Ereignisse gleichsam in der Querrichtung miteinander verbindet; dies ist das *Prinzip der gesetzmäßigen Verteilung*.« (Hans Reichenbach, »Der Begriff der Wahrscheinlichkeit für die mathematische Darstellung der Wirklichkeit«, a.a.O., Bd. 162, S. 237)

²⁷ Siehe dazu Hans Reichenbach, *Relativitätstheorie und Erkenntnis a priori*, Berlin: Springer 1920, S. 74.

Vorhandensein solcher Prinzipien anerkennen; er wird nur leugnen, daß sie synthetisch und a priori [...] sind.«²⁸ Im Unterschied zu Reichenbach waren diese Prinzipien für Schlick zunächst von rein definitorischer Natur, sie legten die Begriffe für die eindeutige Bestimmung von Vorgängen fest. Gleichwohl ließen sich diese, auf Henri Poincaré zurückgehenden Konventionen als Teil der physikalischen Theorien auf die Wirklichkeit anwenden und anhand der Erfahrung, letztlich aufgrund von Beobachtbarem, überprüfen. Ein Verzicht auf die Eindeutigkeit der Zuordnung und eine damit verbundene Einschränkung des Kausalprinzips waren durch die wirklichen Vorgänge in der Natur bestimmt. Schlick grenzte sich damit von einer Kantischen Auffassung ab und konnte schließlich auch Reichenbach von seiner Position überzeugen.²⁹ Ihre Debatte über Kausalität und Wahrscheinlichkeit ging jedoch weiter.

Schlick war zum Herbst 1921 von Rostock nach Kiel berufen worden, wo er jedoch nur zwei Semester lehrte. Der Physiker Wolfgang Pauli schrieb im August 1922 mit Blick auf die bevorstehende Leipziger Naturforscherversammlung an Schlick, der zu diesem Zeitpunkt, wie schon angeführt, auf dem Sprung nach Wien war:

Recht herzlichen Dank für das Geschenk Ihres Buches, mit dem ich mich sehr gefreut habe[;] vielen Dank auch für Ihre lieben Zeilen.³⁰

²⁸ Moritz Schlick, *Texte zu Einsteins Relativitätstheorie*, a.a.O., S. 127f.

²⁹ Siehe Hans Reichenbach, »Der gegenwärtige Stand der Relativitätsdiskussion. Eine kritische Untersuchung«, in: *Logos X* (1922), S. 316–378, hier S. 359f.

³⁰ Vgl. Moritz Schlick an Wolfgang Pauli, 15. August 1922, CERN Wolfgang Pauli Archive, Pauli letter collection, Bldg. 61-S-001-Safe 3. Pauli hatte Schlick zuvor in Rostock getroffen. Bei dem Buch könnte es sich um Schlicks *Allgemeine Erkenntnislehre* oder *Raum und Zeit in der gegenwärtigen Physik*, das gerade in einer vierten Auflage erschienen war, gehandelt haben.

Leider ist es mir nicht mehr mit der Zeit ausgegangen, Sie in Kiel zu besuchen aber in Leipzig werden wir uns gewiß sehen. Ich freue mich schon sehr auf Ihren Vortrag, denn für Erkenntnistheorie u. Naturphilosophie habe ich ein großes Interesse, obwohl ich mich da durchaus als Laie fühle. [...]

Mit bestem Gruß u. auf Wiedersehen in Leipzig Ihr Sie sehr verehrender Pauli³¹

Neben Pauli war auch Werner Heisenberg in Leipzig unter den Teilnehmern.³² Beide waren mit großer Wahrscheinlichkeit auch dabei, als Schlick in seinem Vortrag einen Realismus auf empirischer Grundlage mit freier Begriffskonstruktion in der philosophischen Debatte um die Relativitätstheorie für den Moment zum Sieger kürte, zugleich aber auch den Physikern eine heuristische Maxime mit auf den Weg gab.

³¹ Wolfgang Pauli an Moritz Schlick, 21. August 1922, Noord-Hollands Archief, Nachlass Schlick, Inv.-Nr. 112/Pau/W-1. An Niels Bohr hatte Pauli in einem Brief am 15. September 1922 geschrieben: »Nächste Woche fahre ich für einige Tage zum Kongreß nach Leipzig [...].« (Wolfgang Pauli, *Wissenschaftlicher Briefwechsel mit Bohr, Einstein, Heisenberg u. a. Band I: 1919–1929*. Herausgegeben von Armin Hermann, Karl von Meyenn und Victor F. Weisskopf, New York/Heidelberg/Berlin: Springer 1979, S. 65)

³² Heisenberg musste allerdings die Konferenz überstürzt verlassen. An Pauli schrieb er darüber am 29. September: »Als ich am Dienstag abend [19. September] in die Jugendherberge kam, in der ich wohnte, war mein ganzes Gepäck, Hose, Rasierzeug, Waschzeug etc. gestohlen. Da ich nun am nächsten Tag wirklich nicht ungewaschen und unrasiert zur Tagung kommen konnte, blieb nichts übrig, als heim zu fahren. Zu Haus hab' ich jetzt ein paar Tage den Erdarbeiter markiert und auf diese Weise das Geld für die gestohlenen Sachen einigermaßen wieder herausgeschlagen.« (Wolfgang Pauli, *Wissenschaftlicher Briefwechsel mit Bohr, Einstein, Heisenberg u. a. Band I: 1919–1929*, a.a.O., S. 66) Siehe dazu auch Werner Heisenberg, *Liebe Eltern. Briefe aus kritischer Zeit 1918 bis 1945*, hrsg. von Anna Maria Hirsch-Heisenberg, München: Langen Müller 2003, S. 39–41.

3. Schlicks Botschaft auf der Leipziger Naturforscherversammlung

Schlicks Vortrag »Die Relativitätstheorie in der Philosophie«³³ war einer der Höhepunkte auf dem Leipziger Kongress anlässlich der Hundertjahrfeier der Gesellschaft deutscher Naturforscher und Ärzte. Er sprach auf der ersten allgemeinen Sitzung in der Alberthalle des Krystallpalastes am Vormittag des 18. September 1922. Zu diesem Zeitpunkt hatte Schlick über die Philosophie der Relativitätstheorie bereits mehrere einschlägige Arbeiten verfasst, sein Klassiker *Raum und Zeit in der gegenwärtigen Physik* war gerade in einer vierten Auflage erschienen.³⁴ Vor allem Einstein hatte regelmäßig dafür gesorgt, dass Schlick die Gelegenheit bekam, die Relativitätstheorie in breiter Öffentlichkeit darzustellen, da er dies offenbar ganz in seinem Sinne tat. Neben der Relativitätstheorie war Schlick jedoch auch mit den Entwicklungen in der Quantenphysik vertraut: im Wintersemester 1915/16 und im Sommersemester 1916 hatte er in Vertretung eines Kollegen Vorlesungen über theoretische Physik in Rostock gehalten.³⁵ In Leipzig aber bestimmte Schlick noch ein-

³³ Siehe Moritz Schlick, *Texte zu Einsteins Relativitätstheorie*, a.a.O., Beitrag 1.6.

³⁴ Moritz Schlick, *Über die Reflexion des Lichtes in einer inhomogenen Schicht / Raum und Zeit in der gegenwärtigen Physik*, hrsg. und eingeleitet von Fynn Ole Engler und Matthias Neuber, Wien/New York: Springer 2006.

³⁵ In einem Brief an seinen Vater schrieb er: »Für meine Vorlesung über theoretische Physik, die ich in Vertretung eines einberufenen Professors lese, haben sich sechs Hörer gefunden, eine verhältnismässig stattliche Anzahl, denn in Friedenszeiten sollen es auch nicht mehr gewesen sein. Die Vorlesung macht mir aber ziemlich viel Mühe, da ich noch nie über dieses Gebiet vorgetragen und mich auch jahrelang nicht damit beschäftigt habe. Ich bin aber doch froh, dass ich mich dazu bereit erklärte, denn die Studenten sind sehr dankbar, und für mich hat es ausserdem den Vorteil, dass ich wahrscheinlich für das Wintersemester als unabkömmlich reklamiert werden kann, sodass ich vorläufig noch nicht

mal die Einstein'sche Relativitätstheorie zum Maßstab der physikalischen Theorien und formulierte eine Maxime für die Theoriekonstruktion, an der sich auch die jungen Quantenphysiker in den kommenden Jahren ausrichten sollten. Dabei gab er den empiristischen Grundsatz vor, »daß als Erklärungsgrund in der Naturwissenschaft nur etwas Beobachtbares eingeführt werden dürfe«. Und er führte weiter aus, dass »dieses philosophische Postulat [...] ein so großes Gewicht für uns alle, die wir an Einstein's Theorie glauben [hat], daß wir alle Konsequenzen, zu denen die darauf gebaute Theorie führt, willig in den Kauf nehmen, und mögen sie noch so paradox sein. Wir opfern dem erkenntnistheoretischen Postulat zuliebe ohne Bedenken die alten Vorurteile und Denkgewohnheiten [...], – freilich erst, nachdem wir sie wirklich als Vorurteile erkannt haben – aber wir opfern sie, um die Erkenntnisbefriedigung zu genießen, die uns die Erfüllung jenes philosophischen Satzes bereitet«.³⁶

Heisenberg war zum Zeitpunkt der Leipziger Naturforscherversammlung Student bei Sommerfeld in München, im Juni hatte er Niels Bohr in Göttingen bei den sogenannten »Bohr-Festspielen« kennengelernt und ähnlich wie Pauli war er an einer phi-

Soldat zu spielen brauche.« (Moritz Schlick an Albert Schlick, 10. November 1915, Noord-Hollands Archief, Nachlass Schlick, Inv.-Nr. 128) Schlick hatte für seine Lehrveranstaltungen u.a. Vorlesungen von Wilhelm Wien herangezogen (siehe Notizheft 2, Noord-Hollands Archief, Nachlass Schlick, Inv.-Nr 180, A. 194, S. 67). Im Vorwort dieser Vorlesungen heißt es: »Die im letzten Frühjahr an der Columbia-Universität gehaltenen Vorlesungen über neuere Probleme der theoretischen Physik [...] beziehen sich in der Hauptsache auf die Fragen, die durch die Strahlungstheorie und die aus ihr hervorgegangene Quantentheorie gestellt sind.« (Wilhelm Wien, *Vorlesungen über neuere Probleme der theoretischen Physik*, Leipzig/Berlin: Teubner 1913, S. I)

³⁶ Moritz Schlick, *Texte zu Einsteins Relativitätstheorie*, a.a.O., S. 147. Ähnlich lautete es auch in »Kritizistische oder empiristische Deutung der neuen Physik«, nämlich »daß Unterschiede des Wirklichen nur dort angenommen werden dürfen, wo Unterschiede im prinzipiell Erfahrbaren vorliegen«. (Ebenda, S. 138)

losophischen Reflexion der Entwicklungen in der Quantentheorie sehr interessiert. Besonders deutlich brachte Heisenberg, der sich 1924 in Göttingen bei Max Born habilitiert hatte, die Maxime Schlicks in seinem bahnbrechenden Artikel »Über quantentheoretische Umdeutung kinematischer und mechanischer Beziehungen« vom Juli 1925 zum Ausdruck. Er schrieb im Abstract: »In der Arbeit soll versucht werden Grundlagen zu gewinnen für eine quantentheoretische Mechanik, die ausschließlich auf Beziehungen zwischen prinzipiell beobachtbaren Größen basiert.³⁷ Die mathematische Entwicklung der sogenannten »Matrizenmechanik« basierte demnach grundlegend auf Relationen zwischen beobachtbaren Größen, womit Schlicks heuristische Direktive unmittelbar Eingang in Heisenbergs Überlegungen fand.

Die quantenmechanische Begriffsbildung, deren zentrale Bedeutung Heisenberg auch an anderer Stelle betonte,³⁸ stellte aber auch einen radikalen Bruch mit der klassischen raum-zeitlichen Beschreibungsweise der Realität dar, womit zugleich das Kausalprinzip in Frage gestellt war und eine Transformation des physikalischen Gegenstandsbegriffs einherging. »Wenn überhaupt die Korpuskularvorstellung beibehalten werden sollte«, schrieb Heisenberg, so musste man darauf verzichten, »dem Elektron oder dem Atom einen bestimmten Punkt im Raum als Funktion der Zeit zuzuordnen; zur Rechtfertigung muß angenommen werden, daß ein solcher Punkt auch nicht direkt beobachtet werden

³⁷ Werner Heisenberg, »Über quantentheoretische Umdeutung kinematischer und mechanischer Beziehungen«, in: *Zeitschrift für Physik* 33 (1925), S. 879–893, hier S. 879.

³⁸ Dazu heißt es: »Den eigentlichen Inhalt einer physikalischen Theorie erkennt man nicht so sehr aus den mathematischen, technischen Hilfsmitteln, deren sie sich bedient, sondern viel eher aus den neuen Begriffsbildungen, zu denen sie Anlaß gibt. Die Quantenmechanik führte neue Begriffe in die Kinematik und Mechanik sehr kleiner Massen ein.« (Werner Heisenberg, »Über die Grundprinzipien der ›Quantenmechanik‹«, in: *Forschungen und Fortschritte* 3/11 (1927), S. 83)

kann«.³⁹ Ein anschauliches Verständnis dieser neuen Beschreibungsweise atomarer Vorgänge vermochte Heisenberg 1927 zu liefern. Demnach legte erst eine bestimmte Versuchsanordnung die zu messende physikalische Größe zur Beschreibung eines Quantenobjekts fest, wobei die Experimente »rein erfahrungsgemäß eine Unbestimmtheit in sich [tragen], wenn wir von ihnen die simultane Bestimmung zweier kanonisch konjugierter Größen verlangen«.⁴⁰ Dies bedeutete, dass die physikalischen Größen entsprechend den »Heisenbergschen Unbestimmtheitsrelationen« nicht gleichzeitig beliebig genau messbar waren, womit schließlich auch eine grundlegend statistische Natur der Prozesse in der Quantenwelt verbunden war.

Schlick wollte über diese Entwicklungen, gerade weil seine Überlegungen auf engste mit den Wissenschaften verbunden waren, nicht spekulieren. Jedoch hatte er auf der Leipziger Naturforscherversammlung einen philosophischen Rahmen vorgegeben, in dem sich die revolutionäre Begriffsbildung der Quantenphysik auf der Basis experimenteller Beobachtungen in den Zwanzigerjahren entwickeln konnte. Dass Schlick dabei auf dem Laufenden blieb, verdankte er seiner Ausbildung aber nicht zuletzt auch den guten Kontakten zu den Physikern.

4. Die Begegnungen mit Wolfgang Pauli in Wien

Zu Weihnachten 1925 schrieb Schlick an Carnap: »Morgen erwarte ich Philipp Frank aus Prag und Pauli jun[ior]. aus Hamburg zum Tee.«⁴¹ Gemeint war natürlich der zuvor schon erwähnte

³⁹ Werner Heisenberg, »Quantenmechanik«, in: *Die Naturwissenschaften* 14, Heft 45 (1926), S. 989–994, hier S. 990.

⁴⁰ Werner Heisenberg, »Über den anschaulichen Inhalt der quantentheoretischen Kinematik und Mechanik«, in: *Zeitschrift für Physik* 43 (1927), S. 172–198, hier S. 179.

⁴¹ Moritz Schlick an Rudolf Carnap, 25. Dezember 1925, Archives of Scientific Philosophy: Rudolf Carnap, ASP-RC 029-32-30. Vgl. dazu auch

Wolfgang Pauli, der seit dem 1. April 1922 – allerdings unterbrochen durch einen einjährigen Studienaufenthalt bei Bohr in Kopenhagen – Assistent des Sommerfeld-Schülers Wilhelm Lenz am Institut für theoretische Physik in Hamburg war. Mit Lenz, der in den Jahren 1920/21 als außerordentlicher Professor für theoretische Physik an der Universität Rostock tätig war, bevor er nach Hamburg berufen wurde, hatte Schlick eine ausgiebige Korrespondenz, so dass Lenz wohl auch den Kontakt zu Pauli herstellte.

Paulis Vater wiederum war anerkannter Mediziner und Professor für Kolloidchemie an der Universität Wien und nicht zuletzt ein bekennender Anhänger der Philosophie und Bekannter Ernst Machs, der auf diese Weise Taufpate Paulis wurde. Auch Pauli selbst stand dem Positivismus nahe, an Schlick schrieb er im August 1922:

Ich habe mir inzwischen Petzoldts »Weltproblem« gekauft u. es mit großem Interesse gelesen.⁴² Ich habe mir Ihre Einwände gegen den Positivismus dabei nochmals sehr sorgfältig überlegt u. kann sie nicht mehr als stichhaltig anerkennen. Ich halte den Positivismus für eine vollkommen einwandfreie u. widerspruchsfreie Weltansicht. Natürlich ist sie aber nicht die einzige mögliche.⁴³

Offenbar war Pauli Schlicks Kritik am sensualistischen Positivismus, die dieser auch in Leipzig vorgetragen hatte,⁴⁴ nicht verbor-

Moritz Schlick an Albert Einstein, 27. Dezember 1925, Noord-Hollands Archief, Nachlass Schlick, Inv.-Nr. o98/Ein-42.

⁴² Joseph Petzold zählte zu den wichtigsten Vertretern des Mach'schen Positivismus. Er war Begründer und erster Vorsitzender der Gesellschaft für positivistische Philosophie, einer Vorgängerin der Berliner Gesellschaft für empirische Philosophie. Sein Buch *Das Weltproblem vom Standpunkte des relativistischen Positivismus aus* war in einer dritten und völlig neu bearbeiteten Auflage unter Berücksichtigung der Relativitätstheorie 1921 erschienen.

⁴³ Wolfgang Pauli an Moritz Schlick, 21. August 1922, a.a.O.

⁴⁴ Siehe Moritz Schlick, *Texte zu Einsteins Relativitätstheorie*, a.a.O., S. 150–154.

gen geblieben. Auch darüber dürften sie sich später noch ausgetauscht haben. Von besonderem Interesse war für Pauli aber ein Treffen mit Schlick über den Jahreswechsel 1924/25. Er schrieb deshalb an ihn:

Ich bin jetzt wieder für einige Tage in Wien (am 7./I. früh reise ich⁴⁵) und würde Sie sehr gerne einmal sehen. Deshalb möchte ich Sie bitten, mir mitzuteilen, wann Sie ein Besuch von mir am wenigsten stören würde.⁴⁶

Pauli hatte im November 1924 auf der Basis von Untersuchungen zum anomalen Zeeman-Effekt das später nach ihm benannte »Ausschließungsprinzip« entdeckt, das besagt, dass sich in einem Atom keine zwei Elektronen in demselben Zustand befinden und in allen Quantenzahlen übereinstimmen.⁴⁷ Pauli reichte seine grundlegende Arbeit am 16. Januar 1925 in der *Zeitschrift für Physik* ein;⁴⁸ zuvor hatte er das Manuskript nach Kopenhagen an Bohr gesandt, wo sich zu dieser Zeit auch Heisenberg aufhielt. Im beigefügten Brief vom 12. Dezember 1924 kam Pauli zu einem bemerkenswerten Resümee: »Ich glaube, daß Energie- und Impuls-werte der stationären Zustände etwas viel realeres sind als ›Bahnen‹. Das (noch unerreichte) Ziel muß sein, diese und alle anderen physikalisch realen, beobachtbaren Eigenschaften der stationären Zustände aus den (ganzen) Quantenzahlen und

⁴⁵ Pauli reiste am 7. Januar 1925 nach Tübingen. Vgl. Wolfgang Pauli, *Wissenschaftlicher Briefwechsel mit Bohr, Einstein, Heisenberg u. a. Band I: 1919–1929*, a.a.O., S. 202.

⁴⁶ Wolfgang Pauli an Moritz Schlick, 28. Dezember 1924, Noord-Holands Archief, Nachlass Schlick, Inv.-Nr. 112/Pau/W-2.

⁴⁷ Vgl. Karl von Meyenn, »Paulis Weg zum Ausschließungsprinzip. Neue Erkenntnisse aus dem Briefwechsel des Physikers, Teil I und II«, in: *Physikalische Blätter* 36/10 (1980), S. 293–298 und 37/1 (1981), S. 13–19.

⁴⁸ Siehe Wolfgang Pauli, »Über den Zusammenhang des Abschlusses der Elektronengruppen im Atom mit der Komplexstruktur der Spektren«, in: *Zeitschrift für Physik* 31 (1925), S. 765–783.

quantentheoretischen Gesetzen zu deduzieren. Wir dürfen aber nicht die Atome in die Fesseln unserer Vorurteile schlagen wollen (zu denen nach meiner Meinung auch die Annahme der Existenz von Elektronenbahnen im Sinne der gewöhnlichen Kinetik gehört), sondern wir müssen umgekehrt unsere Begriffe der Erfahrung anpassen.« Schließlich bat Pauli noch darum, das Manuskript, er besaß offenbar keine weitere Kopie der Arbeit, »wo möglich mit vielen Einwänden und kritischen Bemerkungen« bis zum 8. Januar nach Hamburg zurückzusenden.⁴⁹

In der Zwischenzeit jedoch suchte er das Gespräch mit Schlick, der wiederum in einem Treffen mit Pauli seine Auffassung zum Kausalprinzip anhand der neuesten Entwicklungen in der Quantenphysik überprüfen konnte. Pauli dürfte Schlick vor allem die Entdeckung des Ausschließungsprinzips erläutert haben, die mit der Einführung einer zusätzlichen, vierten Quantenzahl einen weiteren Freiheitsgrad des Elektrons festlegte. Damit ließ sich jedes einzelne Elektron eindeutig bestimmen und ihre schalenförmige Anordnung im Atom abschließend erklären. Erst später und zunächst gegen Paulis Widerstände wurde dieser Freiheitsgrad anschaulich als Rotation oder Spin des Elektrons interpretiert.⁵⁰

Schlick durfte die Ausführungen Paulis mit großem Interesse aufgenommen haben, hatte er doch auch mit der eindeutigen Zuordnung die grundlegende Erkenntnisrelation beim Naturerkennen bestimmt, die er gleichwohl durch die Entwicklungen in der Quantentheorie in Frage gestellt sah. Wie schon angeführt, stand für ihn dabei das Kausalprinzip als empirische Hypothese zur Disposition, insofern die eindeutige und durchgehende Bestimmtheit des Naturgeschehens unter entsprechenden Diffe-

⁴⁹ Wolfgang Pauli, *Wissenschaftlicher Briefwechsel mit Bohr, Einstein, Heisenberg u. a. Band I: 1919–1929*, a.a.O., S. 189.

⁵⁰ Siehe George Eugene Uhlenbeck und Samuel Goudsmit, »Ersetzung der Hypothese vom unmechanischen Zwang durch eine Forderung bezüglich des inneren Verhaltens jedes einzelnen Elektrons«, in: *Die Naturwissenschaften* 13, Heft 47 (1925), S. 953f.

rentialgleichungen durch die diskontinuierlichen Vorgänge im Atom eingeschränkt wurde. Und auch in dem Ende 1923 fertiggestellten Überblicksartikel zur Naturphilosophie hatte Schlick dahingehend geschrieben, dass »heute sogar schon ernstlich die Möglichkeit erwogen [wird], daß selbst die kausalen Gesetze gar nicht so weit reichen, wie man allgemein annimmt [...]. Nachdem nämlich einmal die statistische Betrachtungsweise in die Physik eingeführt war, konnte der Gedanke auftauchen, daß vielleicht die *letzte* Gesetzlichkeit der Natur selber statistischen Charakter trage, daß die wahren Mikrogesetze selber Wahrscheinlichkeitgesetze seien. [...] Schreibt man dergestalt den elementaren, nicht mehr weiter reduzierbaren Mikrogesetzen statistisches Wesen zu, so wäre damit die theoretische Grundlage des bisherigen Weltbildes gänzlich aufgehoben, es wäre auf restlose Erkennbarkeit der Natur grundsätzlich verzichtet, weil eine eindeutige Zuordnung unserer Begriffe zum Geschehen bei den Elementarvorgängen nicht mehr möglich wäre.«⁵¹

In der Diskussion mit Pauli über das Ausschließungsprinzips konnte Schlick nun aber eine Bestätigung für die Eindeutigkeit der Zuordnung als grundlegende Erkenntnisrelation zwischen

⁵¹ Moritz Schlick, »Naturphilosophie«, in: Moritz Schlick, *Rostock, Kiel, Wien. Aufsätze, Beiträge, Rezensionen 1919–1925*, hrsg. und eingeleitet von Edwin Glassner und Heidi König-Porstner unter Mitarbeit von Karsten Böger, Wien/New York: Springer 2012, S. 688f. Wilhelm Lenz schrieb dazu an Schlick: »Ich möchte auch die gegenwärtige Gelegenheit einer – wenn auch ganz einseitigen – Diskussion nicht vorüber gehen lassen, ohne darauf hinzuweisen, dass unsere Vorstellungen über Quantenprozesse nicht die geringste Möglichkeit zulassen, die alte Kausalitätsforderung einer eindeutigen Bestimmung der Zukunft aus der Gegenwart, aufrecht zu erhalten. Herr Stern war sehr erstaunt, als ich ihm erzählte, dass Sie an verborgene Ursachen glauben möchten. Wenn Sie sich auch noch nicht überzeugt haben mögen, dass mit dem alten Begriff zu brechen ist, so würde ich mich doch sehr freuen, wenn Sie dem anderen Standpunkt nachdrückliche Beachtung schenken würden.« (Wilhelm Lenz an Moritz Schlick, 30. September 1923, Noord-Hollands Archief, Nachlass Schlick, Inv.-Nr. 107/Lenz-3)

dem physikalischen Begriffssystem und der Wirklichkeit finden, womit sich auch das Kausalprinzip bewährte, gleichwohl dürften sich beide in der Folgezeit auch darüber verständigt haben, welche erkenntnistheoretischen Konsequenzen die weiteren Entwicklungen in der Quantenphysik nach sich zogen. Nur einige Monate später, im Juli 1925, begründete Heisenberg die Quantenmechanik, die zu einer erneuten Revision des Kausalprinzips Anlass gab.⁵² Schlick verfasste im selben Jahr den Aufsatz »Erkenntnistheorie und moderne Physik«⁵³, der allerdings erst 1929 erschien. Wohl auch bedingt durch die neueren Entwicklungen in der Quantenphysik – daneben gab es verlegerische Schwierigkeiten – hielt Schlick den Aufsatz zurück. Auf dem Treffen mit Frank und Pauli zu Weihnachten 1925 dürfte sich die Diskussion daher um die Kausalität und die moderne Physik gedreht haben. Frank hatte bereits 1907 das Kausalproblem aufgegriffen⁵⁴ und im Laufe des Jahres 1926 begonnen, eine »Schrift über Kausalität [...] zu schreiben«, mit der er hoffte, »bis Ende des Jahres fertig zu werden«.⁵⁵ Schlick wiederum hatte in seinem Aufsatz mit Blick auf die Physik geschrieben: »Die quantentheoretische Verfolgung der Vorgänge im Innern der Atome hat viele Physiker zu der Ansicht geführt, daß es dort innerhalb gewisser Grenzen im strengen Sinne ursachlose Prozesse gäbe; auf diese könnte also der Kausalsatz keine Anwendung finden.«⁵⁶ Bis er allerdings seine

⁵² An Reichenbach hatte Schlick noch Mitte 1925 mit Blick auf die Kausalität geschrieben: »Über Kausalität sprach ich zuletzt mit Einstein. Er denkt gerade so konservativ wie ich.« (Moritz Schlick an Hans Reichenbach, 5. August 1925, Archives of Scientific Philosophy: Hans Reichenbach, ASP-HR 016-18-19)

⁵³ Beitrag 1.2, S. 41–51.

⁵⁴ Siehe Philipp Frank, »Kausalgesetz und Erfahrung«, in: *Annalen der Naturphilosophie* 6 (1907), S. 443–450.

⁵⁵ Philipp Frank an Moritz Schlick, 1926, Noord-Hollands Archief, Nachlass Schlick, Inv.-Nr. 100/Frank-1.

⁵⁶ Beitrag 1.2, S. 48. In der Anfang Januar 1925 fertiggestellten zweiten Auflage der *Allgemeinen Erkenntnislehre* schrieb Schlick in einem neu hinzugefügten Absatz ganz ähnlich: »Nun liegen tatsächlich in der

Position zur Kausalität angesichts der rasanten Entwicklungen in der Quantenphysik seit Mitte der Zwanzigerjahre überdacht hatte, sollte es, wie auch bei Frank, dessen Arbeit *Das Kausalgesetz und seine Grenzen* 1932 erschien – im Unterschied zu früheren Arbeiten, in denen er das Kausalgesetz als eine bloße Konvention behandelte, ging es Frank nunmehr um eine Explikation des alltäglichen und des wissenschaftlichen Kausalbegriffs im Lichte eines von Mach inspirierten historisch-kritischen Ansatzes –, noch etwas dauern. An dem Gedankenaustausch mit Pauli hielt Schlick dabei fest⁵⁷ und führte daneben nun auch sprachphilosophische Überlegungen in die Debatte um die moderne Physik ein.

modernen Physik Erfahrungen vor, die den Forscher sehr ernstlich vor die Frage stellen, ob die Annahme eines kausalen Verlaufs der Vorgänge im Innern eines Atoms noch aufrecht erhalten werden soll oder nicht. Es ist gar nicht gesagt, daß ein Versagen der Kausalität, eine Gesetzmöglichkeit in kleinsten Bereichen der Natur schon irgendwie wahrscheinlich gemacht wäre, und ich glaube auch nicht, daß dies der Fall ist – aber die bloße Tatsache, daß bestimmte Erfahrungen uns dazu auffordern, die Möglichkeit in Betracht zu ziehen, zeigt bereits an, daß das Kausalprinzip als Erfahrungssatz, als empirisch überprüfbare Hypothese zu betrachten ist. Allerdings kann der Hinweis auf den gegenwärtigen Stand der Physik nur als wertvolles Indizium, nicht als absolut entscheidendes Moment betrachtet werden, denn der Philosoph kann immer behaupten, der Physiker gelange nur durch Irrtum und Mißverständnis zu seinem Zweifel ... aber die Geschichte der Philosophie lehrt, daß sie nicht wohl tut, die aus der Einzelforschung zu ihr herüberschallenden Stimmen zu überhören.« (Moritz Schlick, *Allgemeine Erkenntnislehre*, hrsg. und eingeleitet von Hans Jürgen Wendel und Fynn Ole Engler, Wien/New York: Springer 2009, S. 773f.)

⁵⁷ Ende 1928 notierte Pauli, der zwischenzeitlich an die ETH nach Zürich berufen worden war, auf einer Postkarte von Lenz an Schlick: »Es tat mir sehr leid, daß ich sie diesmal nicht sehe; vielleicht wird es zu Ostern gehen. Mit der Philosophie ist es in Zürich fade, sonst ist es aber very nice!« (Wilhelm Lenz an Moritz Schlick, 29. Dezember 1928, Noord-Hollands Archief, Nachlass Schlick, Inv.-Nr. 107/Lenz-8)

5. Der Einfluss Ludwig Wittgensteins

Mit Wittgensteins *Logisch-Philosophischer Abhandlung*, besser bekannt unter dem lateinischen Titel *Tractatus logico-philosophicus*, hatte man sich im Schlick-Kreis bereits intensiv beschäftigt, als Schlick zu Weihnachten 1924 erstmals an Wittgenstein schrieb:

Als Bewunderer Ihres tractatus logico-philosophicus hatte ich schon lange die Absicht, mit Ihnen in Verbindung zu treten. [...] Im Philosophischen Institut pflege ich jedes Wintersemester regelmäßig Zusammenkünfte von Kollegen und begabten Studenten abzuhalten, die sich für die Grundlagen der Logik und Mathematik interessieren, und in diesem Kreise ist Ihr Name oft erwähnt worden, besonders seit mein Kollege der Mathematiker Prof. Reidemeister über Ihre Arbeit einen referierenden Vortrag hielt, der auf uns alle großen Eindruck machte. Es existiert hier also eine Reihe von Leuten – ich selbst rechne mit dazu –, die von der Wichtigkeit und Richtigkeit Ihrer Grundgedanken überzeugt sind, und wir haben den lebhaften Wunsch, an der Verbreitung ihrer Ansichten mitzuwirken. [...] Eine besondere Freude würde es mir sein, Sie persönlich kennen zu lernen, und ich würde mir gestatten, Sie gelegentlich einmal in Puchberg aufzusuchen, es sei denn, daß Sie mich wissen lassen sollten, daß Ihnen eine Störung Ihrer ländlichen Ruhe nicht erwünscht ist.⁵⁸

Aber erst im Februar 1927 kam es zu einer ersten Begegnung mit Schlick; weitere Treffen, auch mit anderen Mitgliedern seines Kreises folgten. »Ich kann es nicht unterlassen«, schrieb Schlick im Sommer an Wittgenstein, »schon jetzt die Hoffnung auszusprechen, dass Sie auch dann wieder bereit sein werden, die kleinen Zusammenkünfte fortzusetzen, die wir mit unsren Montag-

⁵⁸ Moritz Schlick an Ludwig Wittgenstein, 25. Dezember 1924, zitiert nach: Mathias Iven, »Er ›ist eine Künstlernatur von hinreissender Genialität«, a.a.O., S. 113f.

Abenden begonnen haben. Sie müssen ja gefühlt haben, welche reine Freude uns die Diskussion mit Ihnen regelmässig bereitet hat.«⁵⁹ Umgekehrt hatte Wittgenstein insbesondere in Schlick einen ebenbürtigen Gesprächspartner gefunden. Ab Ende 1929, Schlick war im Oktober von einem halbjährigen Aufenthalt als Gastprofessor an der Stanford University nach Wien zurückgekehrt, nahm Wittgenstein über die folgenden Jahre immer wieder die Gelegenheit wahr, mit Schlick über seine Gedankengänge zu diskutieren.

Unter dem Einfluss Wittgensteins hat Schlick seine Auffassung der Philosophie ab Mitte der Zwanzigerjahre wesentlich verändert. In »Erkenntnistheorie und moderne Physik« führt er dazu aus, dass die »Philosophie überhaupt nichts andres sein kann als die Tätigkeit, durch die wir alle unsere Begriffe klären«.⁶⁰ Demnach sah Schlick die Aufgabe der Philosophie nicht mehr in der eigentlichen Grundlegung der Wissenschaften, vielmehr bestand sie für ihn nun in der Klärung des Gebrauchs ihrer Begriffe. In den Diskussionen mit Wittgenstein zu Anfang der Dreißigerjahre spielte dabei das Verifikationsprinzip eine zentrale Rolle. Mit Blick auf die Physik gab Schlick in einem Gespräch am 4. Januar 1931 an:

Nun kann ein Satz der Physik auf verschiedene Art verifiziert werden. [...] Wenn nun der Sinn eines Satzes die Methode seiner Verifikation ist – wie ist das zu verstehen? Wie kann man überhaupt sagen, daß *ein* Satz auf verschiedene Weise verifiziert wird? Ich meine, daß hier die Naturgesetze dasjenige sind, was die verschiedenen Arten

⁵⁹ Moritz Schlick an Ludwig Wittgenstein, 15. August 1927, zitiert nach: Mathias Iven, »Er ist eine Künstlernatur von hinreissender Genialität«, a.a.O., S. 101. An den Montag-Abenden, die regelmäßig neben den berühmten Donnerstagssitzungen des Schlick-Zirkels stattfanden, nahmen auch Rudolf Carnap, Herbert Feigl, Maria Kasper und Friedrich Waismann teil.

⁶⁰ Beitrag 1.2, S. 41.

der Verifikation verbindet. D.h. aufgrund des naturgesetzlichen Zusammenhangs kann ich einen Satz auf verschiedene Art verifizieren.⁶¹

Der hier angeführte Zusammenhang von Naturgesetz und Verifikation erwies sich für Schlick auch in der Kausalitäts- und Wahrscheinlichkeitsdebatte als ausschlaggebend. Dabei legte für ihn der Gebrauch der physikalischen Begriffe unter entsprechenden Naturgesetzen die jeweilige Methode der Verifikation fest, mit der sich die zu bestimmenden Ereignisse in der Welt auf einer empirischen Grundlage als eindeutig wahr oder falsch auszeichnen ließen. Wie schon in der Debatte um die Relativitätstheorie betonte Schlick hier neben den empirischen Aspekten die eigenständige Rolle der Definitionen und die Freiheit der wissenschaftlichen Begriffsbildung: So hatte er auch in der Besprechung von Percy W. Bridgmans *The Logic of Modern Physics*, die in den *Naturwissenschaften* 1929 erschienen war,⁶² eine rein operationale Definition der physikalischen Begriffe zurückgewiesen. Was die Debatte um die Begriffe der Kausalität und Wahrscheinlichkeit in der Physik anbelangte, sah Schlick zu Anfang der Dreißigerjahre die Zeit gekommen, um über ihren Sinn philosophische Klarheit zu schaffen. Dass er dabei insbesondere pragmatistische Aspekte einfließen ließ, dürfe auch dem Umstand geschuldet gewesen sein, dass er sich während seines Gastaufenthaltes in den USA im Sommer 1929 mit dem amerikanischen Pragmatismus vertraut machen konnte, der mit einem konsequenten Empirismus, wie ihn Schlick letztlich vertrat, vereinbar war.

⁶¹ Wittgenstein und der Wiener Kreis, Gespräche, aufgezeichnet von Friedrich Waismann. Aus dem Nachlaß herausgegeben von B. F. McGuinness, in: Ludwig Wittgenstein, *Werkausgabe*, Band 3, a.a.O., S. 158.

⁶² Beitrag 2.2, S. 151–153.

6. Schlicks pragmatistische Wende in der Kausalitäts- und Wahrscheinlichkeitsdebatte

Schlicks zweiter Aufsatz zum Kausalproblem »Die Kausalität in der gegenwärtigen Physik«⁶³ erschien am 13. Februar 1931 in den *Naturwissenschaften*. Im Wintersemester 1930/31 hatte er zu dem Thema ein Seminar gegeben⁶⁴ und über die vorangegangenen Jahre war es vor allem Reichenbach, der bis zu seiner Emigration in die Türkei im Jahre 1933 als nichtbeamteter a.o. Professor mit Lehrauftrag für die erkenntnistheoretischen Grundlagen der Physik in Berlin angestellt war,⁶⁵ mit dem sich Schlick vor dem Hintergrund der Entwicklungen in der Physik über Kausalität und Wahrscheinlichkeit auseinandersetzte. In seinem zweiten Kausalitätsaufsatz nahm Schlick nunmehr die Einflüsse aus der Philosophie und Physik auf, die ihn seit Mitte der Zwanzigerjahre beschäftigten und zu einer Wandlung seiner Auffassung über Kausalität und Wahrscheinlichkeit geführt hatten.

Reichenbach hatte Schlick im August 1924 an dessen Tiroler Urlaubsort Längenfeld im Ötztal besucht, wo es zu dieser Zeit auch zu einer ersten Begegnung zwischen Schlick und Carnap kam,⁶⁶ und ihm das Manuskript einer »Kausalitätsarbeit« über-

⁶³ Beitrag 1.3, S. 52–99.

⁶⁴ Siehe Seminarprotokoll, Noord-Hollands Archief, Nachlass Schlick, Inv.-Nr. 057, B. 37-2.

⁶⁵ Vgl. dazu Max Planck an Moritz Schlick, 25. Juni 1926, Noord-Hollands Archief, Nachlass Schlick, Inv.-Nr. 113/Pla-13.

⁶⁶ Auf dieses Treffen spielte Reichenbach im Oktober 1924 an: »Ich habe in den letzten Wochen die Probleme, über die ich mit Ihnen in L[ängenfeld] sprach, weitgehend ausgearbeitet, und bin jetzt zu einer Lösung des Problems Vergangenheit-Zukunft gekommen, die mir sehr zufriedenstellend erscheint. Dabei gibt es dann nur noch Wahrscheinlichkeit. Aber das glauben Sie bestimmt nicht früher, als bis Sie meine ausführliche Arbeit darüber gelesen haben, die jetzt fast fertig ist.« (Hans Reichenbach an Moritz Schlick, 15. Oktober 1924, Noord-Hollands Archief, Nachlass Schlick, Inv.-Nr. 115/Reich-22)

geben, das Schlick in seinem Kreis im Wintersemester 1924/25 zur Diskussion stellte.⁶⁷ Reichenbach schrieb ihm im April 1925:

Es hat mich sehr gefreut, daß Sie für meine Kausalitätsarbeit so viel Interesse haben und sie in Ihrem Kreis besprochen haben. Inzwischen habe ich in die Richtung noch viel weiter gearbeitet; ich sprach ja damals im Ötztal schon über den Determinismus, und diese Sache habe ich jetzt sehr exakt fertig gemacht. Sie werden zwar einen Schreck bekommen, wenn Sie es lesen; aber ich hoffe, auch Sie werden schließlich zustimmen. Ich habe im Januar in Hamburg im math. Seminar und auch in Kiel darüber vorgetragen, und fand viel Interesse. [...] Bei Ihnen in Wien würde ich ja auch gern mal vortragen, wenn's nur nicht soweit wäre.⁶⁸

Die Arbeit über den Determinismus stieß bei Schlick jedoch auf Ablehnung. »Reichenbachs letzte Arbeit über die Kausalstruktur der Welt in den Bayrischen Sitzungsberichten haben Sie gewiss schon gelesen«,⁶⁹ schrieb Schlick an Einstein, »[i]ch finde sie in der Durchführung sehr scharfsinnig, kann aber den Voraussetzungen gar nicht zustimmen«.⁷⁰ Reichenbach war davon ausgegangen,

⁶⁷ Vgl. Moritz Schlick an Hans Reichenbach, 19. April und 16. Juli 1925, Archives of Scientific Philosophy: Hans Reichenbach, ASP-HR 016-18-23 und 016-18-20.

⁶⁸ Hans Reichenbach an Moritz Schlick, 22. April 1925, Noord-Hollands Archief, Nachlass Schlick, Inv.-Nr. 115/Reich-23.

⁶⁹ Hans Reichenbach, »Die Kausalstruktur der Welt und der Unterschied zwischen Vergangenheit und Zukunft«, in: *Sitzungsberichte, Bayrische Akademie der Wissenschaft*, Sitzung vom 7. November 1925, S. 133–175. Reichenbach hatte vorgesehen, sich mit dieser Schrift in Berlin zu habilitieren, auf Anraten Plancks jedoch eine Überblicksarbeit zur Relativitätstheorie eingereicht. Vgl. Max Planck an Hans Reichenbach, 3. Juli 1925, Archives of Scientific Philosophy: Hans Reichenbach, ASP-HR 016-15-16.

⁷⁰ Moritz Schlick an Albert Einstein, 1. Februar 1926, Noord-Hollands Archief, Nachlass Schlick, Inv.-Nr. 098/Ein-44. In diesem Sinne schrieb Schlick auch an Carnap: »Die letzten Arbeiten von Reichenbach

dass die Ereignisse in der Welt auf einer topologischen Struktur gründen, die eine Unterscheidung von Ursache und Wirkung ermöglicht und die Zeitrichtung zwischen Vergangenheit und Zukunft festlegt. Überdies unterschied er zwischen einer Implikations- und einer Determinationsform der Kausalhypothese. Die erste besagte, dass die Physik Gesetze in der Form aufstellt: »wenn A ist, dann ist B«, die zweite besagte, dass »mit einem einzigen Querschnitt der vierdimensionalen Welt Vergangenheit und Zukunft völlig bestimmt seien«.⁷¹ Die zweite Form, die Schlick unter das Kausalprinzip fasste,⁷² war für Reichenbach entbehrlich, da das Wahrscheinlichkeitsprinzip als Voraussetzung für alle Naturforschung stets hinzutrat, »wenn die Kausalhypothese in ihrer Implikationsform auf die Wirklichkeit angewandt wird«, was bedeutete, dass die vergangenen und zukünftigen Ereignisse nur mit Wahrscheinlichkeit berechnet werden konnten und sich »die Kausalstruktur der Welt allein mit Hilfe des Begriffs der *wahrscheinlichen Bestimmtheit* beherrschen ließ«.⁷³

Demnach fasste Reichenbach letztlich das gesamte Geschehen in der Welt als einen Wahrscheinlichkeitszusammenhang auf. Für ihn gab es nur Wahrscheinlichkeitsimplikationen zwischen Ursache und Wirkung, wobei die angenommene Asymmetrie der Kausalstruktur der Welt in einem objektiven Sinne festlegte, dass die Vergangenheit bestimmt sei, während die Zukunft unbestimmt blieb. Schlick hingegen identifizierte in seinem Aufsatz das Kausalprinzip bzw. den Determinismus mit der Möglichkeit, durch naturgesetzliche Zusammenhänge den Ablauf

(im Symposion und den bayerischen Akademieabhandlungen) haben Sie vermutlich gelesen. Ich kann mich mit Ihnen nicht einverstanden erklären.« (Moritz Schlick an Rudolf Carnap, 7. März 1926, Archives of Scientific Philosophy: Rudolf Carnap, ASP-RC 029-32-27)

⁷¹ Hans Reichenbach, »Die Kausalstruktur der Welt und der Unterschied zwischen Vergangenheit und Zukunft«, a.a.O., S. 133f.

⁷² Siehe Beitrag 1.3, S. 54f.

⁷³ Hans Reichenbach, »Die Kausalstruktur der Welt und der Unterschied zwischen Vergangenheit und Zukunft«, a.a.O., S. 134f. und 136.

der Ereignisse in der Welt zu berechnen und vorherzusagen, womit er zugleich die Praktiken und Handlungen einschloss, vermittelte derer das Eintreten der Ereignisse gemäß dem Kriterium der Verifikation tatsächlich festgestellt werden konnte. Die Bedeutung physikalischer Begriffe wurde für Schlick durch ihren zweckmäßigen und nützlichen Gebrauch festgelegt. Demnach gab es aus seiner Sicht auch keine prinzipiellen Grenzen des Naturerkennens, sondern praktische Schranken, die in der Wissenschaft selbst gezogen werden,⁷⁴ wie beispielsweise in der Quantenphysik durch die Heisenberg'schen Unbestimmtheitsrelationen. Mit dieser pragmatistischen Position wies Schlick Reichenbachs metaphysische Position zurück⁷⁵ und distanzierte sich zugleich von seiner eigenen früheren Auffassung. Er schrieb:

Der Kausalsatz teilt uns nicht direkt eine Tatsache mit, etwa die Regelmäßigkeit der Welt, sondern er stellt eine Aufforderung, eine Vorschrift dar, Regelmäßigkeit zu suchen, die Ereignisse durch Gesetze zu beschreiben. Eine solche Anweisung ist nicht wahr oder falsch, sondern gut oder schlecht, nützlich oder zwecklos. Und was uns die Quantenphysik lehrt, ist eben dies, daß das Prinzip innerhalb der durch die Unbestimmtheitsrelationen genau festgelegten Grenzen *schlecht* ist, nutz- oder zwecklos, unerfüllbar. Innerhalb jener Grenzen ist es unmöglich, nach Ursachen zu suchen – dies lehrt uns die Quantenmechanik tatsächlich, und damit gibt sie uns einen Leitfaden zu jenem Tun, das man Naturforschung nennt, eine Gegenvorschrift gegen das Kausalprinzip.⁷⁶

⁷⁴ Vgl. Beitrag 1.7, S. 141.

⁷⁵ Vgl. dazu Hans Reichenbach, »Metaphysik und Naturwissenschaft«, in: *Symposion* 1, Heft 2 (1925), S. 158–176 und Schlicks Kritik in »Erleben, Erkennen, Metaphysik«, in: Moritz Schlick, *Die Wiener Zeit. Aufsätze, Beiträge, Rezensionen 1926–1936*, hrsg. und eingeleitet von Johannes Friedl und Heiner Rutte, Wien/New York: Springer 2008, S. 33–54, hier S. 45f. Schlick dürfte an dieser Stelle auch Reichenbach als Vertreter einer »induktiven Metaphysik« vor Augen gehabt haben.

⁷⁶ Beitrag 1.3, S. 81.

Schlicks neue Auffassung fand allerdings nicht die Zustimmung Einsteins,⁷⁷ während seine Überlegungen von den Anhängern der später sogenannten »Kopenhagener Deutung« der Quantenmechanik positiv aufgenommen wurden. »Ich möchte Ihnen sagen«, schrieb Born an Schlick, »welche Freude mir Ihr Aufsatz über Kausalität in den Naturwissenschaften bereitet hat. Auch Hilbert [...] äusserte sich sehr befriedigt über Ihre Schrift«.⁷⁸ Und auch Heisenberg teilte Schlick Ende Dezember mit, dass er aus dem Aufsatz »viel gelernt habe« und »dessen Tendenz [...] ausserordentlich sympathisch« fand.⁷⁹ Zuvor hatte Heisenberg auf der Tagung für exakte Erkenntnislehre in Königsberg am 6. September 1930 vorgetragen und nur wenig später hielt er auf Einladung des Wiener Komitees zur Veranstaltung von Gastvorträgen ausländischer Gelehrter der exakten Wissenschaften am 9. Dezember den zehnten Gastvortrag.⁸⁰ Unter den Hörern war dieses Mal sehr wahrscheinlich auch Schlick, der Heisenberg danach

⁷⁷ Einstein schrieb an Schlick: »Allgemein betrachtet entspricht Ihre Darstellung insofern nicht meiner Auffassungsweise, als ich Ihre ganze Auffassung sozusagen zu positivistisch finde. Die Physik liefert zwar Relationen zwischen Sinnenerlebnissen, aber nur mittelbar. Ihr Wesen ist für mich in dieser Aussage keineswegs erschöpfend gekennzeichnet. Ich sage Ihnen glatt heraus: Die Physik ist ein Versuch der begrifflichen Konstruktion eines Modells der *realen Welt* sowie von deren gesetzlicher Struktur. Allerdings muss sie die empirischen Relationen zwischen den uns zugänglichen Sinnenerlebnissen exakt darstellen; aber nur *so* ist sie an letztere gekettet. [...] Sie werden sich über den ›Metaphysiker‹ Einstein wundern, aber jedes vier- und zweibeinige Tier ist in diesem Sinne de facto Metaphysiker.« (Albert Einstein an Moritz Schlick, 28. November 1930, Noord-Hollands Archief, Nachlass Schlick, Inv.-Nr. 098/Ein-21)

⁷⁸ Max Born an Moritz Schlick, 8. März 1931, Noord-Hollands Archief, Nachlass Schlick, Inv.-Nr. 093/Born-6.

⁷⁹ Werner Heisenberg an Moritz Schlick, 27. Dezember 1930, Noord-Hollands Archief, Nachlass Schlick, Inv.-Nr. 102/Heis-1.

⁸⁰ Siehe Werner Heisenberg, »Kausalgesetz und Quantenmechanik«, in: *Erkenntnis* 2 (1931), S. 172–182 und ders., »Die Rolle der Unbestimtheitsrelationen in der modernen Physik«, in: *Monatshefte für Mathematik und Physik* 38, Heft 2 (1931), S. 365–372.

einen Durchschlag des Manuskripts seines Aufsatzes zusandte. Mit Blick auf die Wahrscheinlichkeitsinterpretation der Schrödinger'schen ψ -Funktion, wie sie Born vorgeschlagen hatte,⁸¹ wies Heisenberg Schlick allerdings darauf hin, dass er eine Aufspaltung der Beschreibung von Quantenvorgängen in einen kausalen, streng gesetzlichen Teil, der die zeitliche Ausbreitung der Wellenfunktion regelt, und einen weiteren Teil, der »schlechthin zufällig ist«, nämlich »innerhalb der Grenzen der ›Wahrscheinlichkeit‹, die durch den ψ -Wert an der betreffenden Stelle bestimmt ist«,⁸² nicht teilte. Zum einen sah er neben der vollen Kausalität, wie sie Einstein auch in der berühmten Diskussion mit Bohr auf der 5. Solvay-Konferenz 1927 in Brüssel gefordert hatte,⁸³ und den statistischen Gesetzen der Quantenphysik nicht noch einen Begriff des reinen Zufalls, an dem Schlick aber festhielt;⁸⁴ zum anderen konnte es für Heisenberg im Allgemeinen keine genau bestimmte Vorhersage des zukünftigen physikalischen Geschehens geben, da aus »dieser ψ -Funktion das physikalische Verhalten des Systems nicht eindeutig folgt«.⁸⁵

Einigkeit bestand aber zwischen den beiden hinsichtlich der Rolle der experimentellen Beobachtung, die Heisenberg auch in seinem Wiener Vortrag herausstellte. Schlick notierte dazu: »Eingreifen des Beobachters (Instrumentes). Dies das philoso-

⁸¹ Vgl. Max Born, *Zur Quantenmechanik der Stoßvorgänge*, in: *Zeitschrift für Physik* 37 (1926), S. 863–867.

⁸² Beitrag 1.3, S. 86.

⁸³ Dazu heißt es: »Was Einstein will, ist z.B. volle Kausalität im strengsten Sinne, d.h. Einstein hofft, es werde später möglich sein, etwa den Zeitpunkt eines ›Überganges‹ im Atom vorherzusagen auf Grund vorausgeganger Experimente.« (Werner Heisenberg an Moritz Schlick, 27. Dezember 1930, a.a.O.) Siehe dazu auch Guido Bacciagaluppi und Anthony Valentini, *Quantum Theory at the Crossroads: Reconsidering the 1927 Solvay Conference*, Cambridge/New York: Cambridge University Press 2009.

⁸⁴ Vgl. Moritz Schlick an Werner Heisenberg, 2. Januar 1931, Noord-Hollands Archief, Nachlass Schlick, Inv.-Nr. 102/Heis-4.

⁸⁵ Werner Heisenberg an Moritz Schlick, 27. Dezember 1930, a.a.O.

phisch Wichtigste.⁸⁶ Beim quantentheoretischen Messprozess kommt es demnach zu einer Wechselwirkung zwischen dem Messgerät und dem beobachteten Vorgang, so dass eine eindeutige Voraussage des Geschehens im Sinne der klassischen Physik prinzipiell unmöglich ist und statistische Aussagen an ihre Stelle treten. Insofern legte die Unbestimmtheit der Vorhersage, in der Schlick den Kerngedanken der Heisenberg'schen Unbestimmtheitsrelationen sah, eine praktische Schranke für den Determinismus und die Gültigkeit des Kausalprinzips fest, die für ihn allerdings nicht für alle Zeiten feststand, sondern sich angesichts des stetigen Fortschritts in der Physik auch weiterhin bewähren musste.

Dass die Quantentheorie dabei auch auf die Gebiete der Biologie und Psychologie übergreift und die philosophischen Fragen nach der Möglichkeit eines freien Willens und der Art der Interaktion zwischen Körper und Geist beantworten kann, hat Schlick skeptisch beurteilt. In diesem Zusammenhang stand auch sein Artikel »Ergänzende Bemerkungen über P. Jordans Versuch einer quantentheoretischen Deutung der Lebenserscheinungen«⁸⁷ in der *Erkenntnis*. Pascual Jordan, der von 1929 bis 1944 Professor für Theoretische Physik in Rostock war, hatte das Verhältnis zwischen den Gesetzmäßigkeiten der Biologie und der Physik in einigen Texten problematisiert, wobei er die Eigenständigkeit der Lebenswissenschaften gerade durch die Quantentheorie bestätigt sah.⁸⁸ Schlicks Bemerkungen dazu fügten sich in eine Diskussion

⁸⁶ Moritz Schlick, »Gegenwartsfragen [der Naturphilosophie]«, Noord-Hollands Archief, Nachlass Schlick, Inv.-Nr. 163, A. 123, Bl. 3 (Rückseite).

⁸⁷ Beitrag 1.4, S. 100–102.

⁸⁸ Siehe Pascual Jordan, »Die Quantenmechanik und die Grundprobleme der Biologie und Psychologie«, in: *Die Naturwissenschaften* 20, Heft 45 (1932), S. 815–821; ders., »Quantenphysikalische Bemerkungen zur Biologie und Psychologie«, in: *Erkenntnis* 4 (1934), S. 215–252 und ders., »Ergänzende Bemerkungen über Biologie und Quantenmechanik«, in: *Erkenntnis* 5 (1935), S. 348–352.

ein, die neben der Frage des Indeterminismus als wesentliches Merkmal des Lebens weitere Probleme betraf.⁸⁹ Weiterführende Betrachtungen vor dem Hintergrund der neueren Physik lieferte auch Bertrand Russell in seinem Buch *Die Philosophie der Materie*, das Schlick für die *Monatshefte für Mathematik und Physik* 1930 besprach.⁹⁰ Im Wintersemester 1929/30 hatte er zu Russells Buch ein Seminar durchgeführt; später, während eines weiteren Aufenthaltes in den USA, Schlick war 1931/32 Mills Professor of Philosophy in Berkeley, lernte er Russell auch persönlich kennen.⁹¹

In Berkeley schloss Schlick den Aufsatz »Positivismus und Realismus« ab,⁹² der »eine Antwort auf die Einwendungen« darstellte, »die von mehreren hervorragenden Physikern gegen den Wiener Standpunkt gemacht worden sind (Planck, Sommerfeld, Einstein)«.⁹³ Im Kern ging es Schlick dabei um die Vereinbarkeit des empiristischen Standpunktes mit einem von den Physikern verteidigten metaphysischen Realismus. Nach der Rückkehr aus England, Schlick hatte im November 1932 am *King's College* in London drei Vorträge zum Thema »Form and Content« gehalten, die die Grundlage für ein groß angelegtes, jedoch unvollendet gebliebenes Werk sein sollten, erläuterte er gegenüber Planck noch einmal seine pragmatistische Sicht zum Verhältnis zwischen Positivismus und Realismus in der modernen Physik:

⁸⁹ Siehe dazu auch die weiteren Beiträge von Philipp Frank, Otto Neurath, Hans Reichenbach und Edgar Zilsel im Band 5 der *Erkenntnis* von 1935.

⁹⁰ Beitrag 2.3, S. 154f.

⁹¹ Carnap teilte er mit: »Schrieb ich Dir, dass ich eines Abends mit Russell dinierte? Ein entzückender Mensch!« (Moritz Schlick an Rudolf Carnap, 23. März 1932, Archives of Scientific Philosophy: Rudolf Carnap, ASP-RC 029-29-13)

⁹² Moritz Schlick, »Positivismus und Realismus«, in: Moritz Schlick, *Die Wiener Zeit. Aufsätze, Beiträge, Rezensionen 1926–1936*, hrsg. und eingeleitet von Johannes Friedl und Heiner Rutte, a.a.O., S. 323–362.

⁹³ Moritz Schlick an Hans Reichenbach, 23. Oktober 1931, Archives of Scientific Philosophy: Hans Reichenbach, ASP-HR 013-30-23.

Unter Physik (oder überhaupt unter Wissenschaft) kann man zweierlei verstehen: erstens das abstrakte System von Aussagen, welche die Welt beschreiben, und zweitens die Gesamtheit der Methoden und Tätigkeiten, die zu diesen Aussagen, also zur Erkenntnis, hinführen. Innerhalb jenes Systems haben die sogenannten metaphysischen Aussagen sicherlich keine Stelle, bei der wissenschaftlichen *Tätigkeit* aber können sie gewiss eine sehr große Rolle spielen. Hierauf bezieht sich die Behauptung des ›Positivismus‹ gar nicht, denn er beschäftigt sich nur mit den *logischen* Verhältnissen. Wenn ein Forscher durch seine ›metaphysische‹ Einstellung sich gefördert fühlt, so wird der Positivist dies einfach als Tatsache registrieren; wie könnte er seine Aufgabe darin erblicken, diesen Anregungsprozeß zu stören oder gar zu verbieten? Er behauptet nur, dass die Sätze, welche diese metaphysische Einstellung ausdrücken, nicht in jenes objektive System der Physik gehören und damit, glaube ich, hat er recht. Ich glaube sogar, dass man darüber hinaus noch behaupten kann, dass die metaphysische Einstellung durchaus nicht unentbehrlich ist, dass vielmehr geniale Intuition und höchste Erkenntnisbegeisterung auch ohne sie den Forscher auf den richtigen Weg führen können; aber dieser Behauptung mag wahr oder falsch sein: in den empiristischen Thesen ist sie nicht enthalten.⁹⁴

Allerdings sah Planck in der Metaphysik »keineswegs eine psychologische Angelegenheit des einzelnen Forschers«, sondern für ihn besaß sie, wie für Einstein, »objektive Bedeutung«,⁹⁵ womit auch ein wesentlicher Aspekt von Plancks Denken zum Tragen kam: die fortwährende Elimination anthropomorpher Elemente in der Entwicklung der physikalischen Begriffe. Diesen Aspekt hatte Planck schon 1908 in seinem richtungsweisenden Leidener Vortrag »Die Einheit des physikalischen Weltbildes« hervorgeho-

⁹⁴ Moritz Schlick an Max Planck, 13. Dezember 1932, Noord-Hollands Archief, Nachlass Schlick, Inv.-Nr. 113/Pla-19.

⁹⁵ Max Planck an Moritz Schlick, 26. Dezember 1932, Noord-Hollands Archief, Nachlass Schlick, Inv.-Nr. 113/Pla-18.

ben, worauf auch Schlick 1924 in der *Deutschen Literaturzeitung* zwecks seiner Besprechung von Plancks *Physikalischen Rundblättern*, einer Sammlung weiterer Vorträge und Aufsätze, hinwies.⁹⁶ Mit Blick auf das Verhältnis zwischen dem konsequenteren Empirismus Schlicks und dem metaphysischen Realismus der Physiker hatte Planck schließlich jedoch versöhnlich an seinen ehemaligen Schüler geschrieben, wobei er die Kopenhagener Deutung geschickt ins Spiel brachte: »Positivismus und Metaphysik sind m. E. ›komplementär‹ (im Sinne von Bohr).«⁹⁷

7. Der Geist von Kopenhagen

Die beständig zunehmende Internationalisierung der von Schlick sogenannten »Wiener Schule« führte in den Dreißigerjahren zu einer Reihe von Kongress- und Tagungsaktivitäten. Auf dem Ersten Internationalen Kongress für Einheit der Wissenschaft in Paris vom 16. bis 21. September 1935, der wichtige Weichen für die moderne Wissenschaftstheorie und analytische Philosophie im 20. Jahrhundert stellte, hatte Schlick zwei Beiträge eingereicht: zum einen den Aufsatz »Sind die Naturgesetze Konventionen?«⁹⁸, in dem er die Rolle von durch die Erfahrung nahe gelegten Festsetzungen in den Naturwissenschaften aus einer sprachphilosophischen Perspektive erläuterte, wobei er sich auch mit Carnaps *Logischer Syntax der Sprache* kritisch auseinandersetzte, zum anderen verteidigte Schlick in »Gesetz und Wahrscheinlichkeit«⁹⁹ seine zuvor schon gegenüber Heisenberg angeführte Unterscheidung zwischen Gesetz und reinem Zufall.

⁹⁶ Beitrag 2.1, S. 145–150.

⁹⁷ Max Planck an Moritz Schlick, 15. November 1932, Noord-Hollands Archief, Nachlass Schlick, Inv.-Nr. 113/Pla-17

⁹⁸ Beitrag 1.5, S. 103–114.

⁹⁹ Beitrag 1.6, S. 115–129.

Für den Zweiten Internationalen Kongress für Einheit der Wissenschaft in Kopenhagen vom 21. bis 26. Juni 1936 schrieb Schlick den Beitrag »Quantentheorie und Erkennbarkeit der Natur«¹⁰⁰. Auch an diesem Kongress konnte er nicht teilnehmen und bat Frank seinen Text vorzutragen. »Ich werde alles nach Ihrem Wunsch besorgen«, schrieb Frank aus Prag an Schlick, mit dem Inhalt des Vortrags zeigte er sich gleichfalls »vollkommen einverstanden«.¹⁰¹ In seinem Beitrag hob Schlick noch einmal die praktische Grenze der kausalen Vorherbestimmtheit des Naturgeschehens in der Quantentheorie hervor und erläuterte die Rolle der Quantenbegriffe, die für ihn keineswegs einen »undurchdringlichen Schleier« über die eigentlichen physikalischen Vorgänge legten, sondern eine vollständige Beschreibung des Naturgeschehens ermöglichten.¹⁰² Zugleich verwies er auf die Unzulänglichkeit der Begriffe der klassischen Physik und folgte damit dem Geist von Kopenhagen, nach dem diese nur noch in einer komplementären Beschreibungsweise sinnvoll verwendet werden konnten, wie auch Bohr in seinem Referat betonte.¹⁰³

Während des Kopenhagener Kongresses erreichte die Teilnehmer die Nachricht, dass Schlick am 22. Juni auf den Treppen der Universität, er war auf dem Weg zu seiner letzten Vorlesung im Sommersemester, einem politisch motivierten Attentat zum Opfer gefallen war. Schlick wurde mitten aus dem Leben und der Arbeit gerissen und nicht wenig blieb unabgeschlossen zurück. Aufgrund seiner Beiträge zur Relativitäts- und Quantentheorie

¹⁰⁰ Beitrag 1.7, S. 130–141.

¹⁰¹ Philipp Frank an Moritz Schlick, 17. Juni 1936, Noord-Hollands Archief, Nachlass Schlick, Inv.-Nr. 100/Frank-10. Vgl. auch Philipp Frank, »Philosophische Deutungen und Mißdeutungen der Quantentheorie«, in: *Erkenntnis* 6 (1936), S. 303–317.

¹⁰² Siehe Beitrag 1.7, S. 136.

¹⁰³ Vgl. Niels Bohr, »Kausalität und Komplementarität«, in: *Erkenntnis* 6 (1936), S. 293–303 und ders., »Das Quantenpostulat und die neuere Entwicklung der Atomistik«, in: *Die Naturwissenschaften* 16, Heft 15 (1928), S. 245–257.

gilt er allerdings bis heute als einer der bedeutendsten Naturphilosophen in der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts, der in fortwährender Diskussion mit den Physikern zentrale Probleme aufwarf und philosophische Gegensätze diskutierte, die unser derzeitiges Weltbild mitbestimmen.

8. Danksagung

Für Anregungen, Hinweise und Kommentare möchte ich mich zuvorderst ganz herzlich bedanken bei Mathias Iven, Matthias Neuber, Dieter Hoffmann, Friedrich-Olaf Jungk und Jürgen Renn. Anita Hollier (CERN Archive) hat mich erfolgreich bei der Suche nach Briefen zwischen Moritz Schlick und Wolfgang Pauli unterstützt. Dem Institut für Philosophie der Universität Rostock und dem Max-Planck-Institut für Wissenschaftsgeschichte Berlin gilt mein Dank für die exzellenten Forschungsbedingungen. Für die Zusammenarbeit in zwei DFG-Projekten zu Moritz Schlick und Hans Reichenbach möchte ich Karsten Böger (Rostock) und Georg Pflanz (Berlin) danken.

Schließlich danke ich dem Felix Meiner Verlag für die gute Kooperation und die Aufnahme der Texte in die *Philosophische Bibliothek*.

9. Zu dieser Ausgabe

Den abgedruckten Texten liegen die Originalpublikationen zugrunde. Druckfehler sind stillschweigend korrigiert worden. Abweichende Schreibweisen von Wörtern im Text von Schlick wurden stellenweise vereinheitlicht. Zitate Schlicks sind an den Originalen überprüft worden. Im Original durch Sperrung hervorgehobener Text wurde kursiv gesetzt. Abweichend von den Erstdrucken sind Eigennamen nicht hervorgehoben. Anführungszeichen wurden überall belassen. Seitenwechsel im Original wird

durch einen senkrechten Strich kenntlich gemacht; die originale Paginierung wird im Kolumnentitel innen mitgeführt. Die bibliographischen Angaben wurden weitgehend vereinheitlicht, einschließlich der im Text von Schlick angegebenen Literatur, die an einigen Stellen ergänzt und korrigiert wurde. Schlicks Fußnoten erscheinen wie im Original auf der jeweiligen Seite. Die Anmerkungen des Herausgebers sind am Ende des Bandes abgedruckt.

Die Texte erscheinen in chronologischer Reihenfolge, die Rezensionen sind in einem Anhang abgedruckt. Auf Schlicks nachgelassene Schriften, die im Noord-Hollands Archief in Haarlem/NL liegen, wird über die entsprechenden Signaturen des Nachlassverzeichnisses verwiesen, auf die zitierten Briefe anderer Autoren durch die Signaturen der Archives of Scientific Philosophy (ASP) in Pittsburgh. Zitate aus Briefen Einsteins sind den Bänden der *Collected Papers of Albert Einstein* (CPAE), Princeton University Press 1987 ff. entnommen.

LITERATURVERZEICHNIS

1. Nachweis der Erstveröffentlichungen

Aufsätze

- 1.1 »Naturphilosophische Betrachtungen über das Kausalprinzip«, in: *Die Naturwissenschaften* 8, Heft 24 (1920), S. 461–474.
- 1.2 »Erkenntnistheorie und moderne Physik«, in: *Scientia* 45 (1929), S. 307–316.
- 1.3 »Die Kausalität in der gegenwärtigen Physik«, in: *Die Naturwissenschaften* 19, Heft 7 (1931), S. 145–162.
- 1.4 »Ergänzende Bemerkungen über P. Jordans Versuch einer quantentheoretischen Deutung der Lebenserscheinungen«, in: *Erkenntnis* 5 (1935), S. 181–183.
- 1.5 »Sind die Naturgesetze Konventionen?«, in: *Actes du Congrès International de Philosophie Scientific, Sorbonne, Paris 1935*, fasc. 4: *Induction et probabilité* (= *Actualités scientifiques et industrielles*, vol. 391), Paris: Hermann 1936, S. 8–17.
- 1.6 »Gesetz und Wahrscheinlichkeit«, in: *Actes du Congrès International de Philosophie Scientific, Sorbonne, Paris 1935*, fasc. 4: *Induction et probabilité* (= *Actualités scientifiques et industrielles*, vol. 391), Paris: Hermann 1936, S. 46–57.
- 1.7 »Quantentheorie und Erkennbarkeit der Natur«, in: *Erkenntnis* 6 (1936), S. 317–326.

Rezensionen

- 2.1 Max Planck, *Physikalische Rundblicke. Gesammelte Reden und Aufsätze*, Leipzig: Verlag von S. Hirzel 1922, in: *Deutsche Literaturzeitung* 45, Heft 10 (1924), Sp. 818–823.

- 2.2 Percy W. Bridgman, *The Logic of Modern Physics*, New York: The Macmillan Company 1927, in: *Die Naturwissenschaften* 17, Heft 27 (1929), S. 549/550.
- 2.3 Bertrand Russell, *Die Philosophie der Materie* (= *Wissenschaft und Hypothese*, Bd. 32), übersetzt von Kurt Grelling, Leipzig/Berlin: Teubner 1929, in: *Monatshefte für Mathematik und Physik* 37 (1930), S. 5/6.

2. Zeitgenössische Texte zur Quantentheorie

- Bergmann, Hugo: *Der Kampf um das Kausalgesetz in der jüngsten Physik*, Braunschweig: Vieweg 1929.
- Bohr, Niels: *Drei Aufsätze über Spektren und Atombau*. Zweite Auflage, Braunschweig: Vieweg 1922.
- *Atomtheorie und Naturbeschreibung. Vier Aufsätze mit einer einleitenden Übersicht*, Berlin: Springer 1931.
- Born, Max: *Vorlesungen über Atommechanik*. Erster Band, Berlin: Springer 1925.
- Dirac, Paul: *The Principles of Quantum Mechanics*. Second Edition, Oxford: Clarendon Press 1935.
- Eddington, Arthur Stanley: *The Nature of the Physical World. The Gifford Lectures 1927*, Cambridge: Cambridge University Press 1929.
- Exner, Franz Serafin: *Vorlesungen über die physikalischen Grundlagen der Naturwissenschaften*, Wien: F. Deuticke 1919.
- Frank, Philipp: *Das Kausalgesetz und seine Grenzen*, Wien: Springer 1932.
- Gerlach, Walther: *Die experimentellen Grundlagen der Quantentheorie*, Braunschweig: Vieweg 1921.
- Heisenberg, Werner: *Die physikalischen Prinzipien der Quantentheorie*, Leipzig: Hirzel 1930.
- *Quantentheorie und Philosophie. Vorlesungen und Aufsätze*. Herausgegeben von Jürgen Busche, Stuttgart: Reclam 1979.
- *Physik und Philosophie*. 6. Auflage, Stuttgart: Hirzel 2000.
- Jordan, Pascual: »Die Entwicklung der neuen Quantenmechanik«, in:

- Die Naturwissenschaften* 15, Heft 30 (1927), S. 614–623 und Heft 31 (1927), S. 636–649.
- Neumann, Johann von: *Mathematische Grundlagen der Quantenmechanik*, Berlin: Springer 1931.
- Pauli, Wolfgang: »Quantentheorie«, in: *Handbuch der Physik* 23 (1926), S. 1–278.
- *Fünf Arbeiten zum Ausschliessungsprinzip und zum Neutrino*. Mit Kurzbiographie und Einleitungen herausgegeben von Steffen Richter, Darmstadt: Wissenschaftliche Buchgesellschaft 1977.
- Planck, Max: *Vorträge und Erinnerungen*. Fünfte Auflage der Wege zur physikalischen Erkenntnis, Stuttgart: Hirzel 1949.
- Schrödinger, Erwin: *Vier Vorlesungen über Wellenmechanik. Gehalten an der Royal Institution in London im März 1928*, Berlin: Springer 1928.
- »Die gegenwärtige Situation in der Quantenmechanik« in: *Die Naturwissenschaften* 23, Hefte 48–50 (1935), S. 807–812, 823–828 und 844–849.
- Sommerfeld, Arnold: *Atombau und Spektrallinien*. 4. Auflage, Braunschweig: Vieweg 1924.

3. Weiterführende Literatur

- Aaserud, Finn, und John L. Heilbron: *Love, Literature, and the Quantum Atom. Niels Bohr's 1913 Trilogy Revisited*, Oxford: Oxford University Press 2013.
- Baumann, Kurt, und Roman U. Sexl: *Die Deutungen der Quantentheorie*, Braunschweig/Wiesbaden: Vieweg 1984.
- Beller, Mara: *Quantum Dialogue. The Making of a Revolution*, Chicago/London: The University of Chicago Press 1999.
- Bitbol, Michel: *Schrödinger's Philosophy of Quantum Mechanics*, Dordrecht: Kluwer 1996.
- Camilleri, Kristian: *Heisenberg and the Interpretation of Quantum Mechanics. The Physicist as Philosopher*, Cambridge: Cambridge University Press 2009.

- Cassidy, David C.: *Werner Heisenberg. Leben und Werk*. Aus dem Amerikanischen von Andreas und Gisela Kleinert, Heidelberg/Berlin: Spektrum Akademischer Verlag 2001.
- Duncan, Anthony, und Michel Janssen: *Constructing Quantum Mechanics*, Vol. 1, *The Scaffold: 1900–1923*, Oxford/New York: Oxford University Press 2019.
- Eckert, Michael: *Arnold Sommerfeld. Atomphysiker und Kulturbote 1868–1951. Eine Biographie*, Göttingen: Wallstein 2013.
- Enz, Charles P.: »Pauli hat gesagt«. *Eine Biografie des Nobelpreisträgers Wolfgang Pauli 1900–1958*, Zürich: Verlag Neue Zürcher Zeitung 2005.
- Greenspan, Nancy T.: *Max Born. Baumeister der Quantenwelt. Eine Biographie*. Aus dem Englischen übersetzt von Anita Ehlers, Heidelberg: Elsevier/Spektrum Akademischer Verlag 2006.
- Hoffmann, Dieter: *Max Planck. Die Entstehung der modernen Physik*, München: Beck 2008.
- Jammer, Max: *The Conceptual Development of Quantum Mechanics*, New York: McGraw-Hill 1966.
- *The Philosophy of Quantum Mechanics: The Interpretations of Quantum Mechanics in Historical Perspective*, New York: Wiley 1974.
- Kragh, Helge: *Quantum Generations: A History of Physics in the Twentieth Century*, Princeton: Princeton University Press 1999.
- Ludwig, Günther: *Wellenmechanik. Einführung und Originaltexte*, Braunschweig: Vieweg 1969.
- Mehra, Jagdish, und Helmut Rechenberg: *The Historical Development of Quantum Theory*, Vol. 1, *The Quantum Theorie of Planck, Einstein, Bohr and Sommerfeld: Its Foundation and the Rise of Its Difficulties*, New York, Heidelberg, Berlin: Springer 1982.
- *The Historical Development of Quantum Theory*, Vol. 2, *The Discovery of Quantum Mechanics 1925*, New York, Heidelberg, Berlin: Springer 1982.
- *The Historical Development of Quantum Theory*, Vol. 3, *The Formulation of Matrix Mechanics and Its Modifications 1925–1926*, New York, Heidelberg, Berlin: Springer 1982.

- *The Historical Development of Quantum Theory*, Vol. 4, Part 1, *The Fundamental Equations of Quantum Mechanics. 1925–1936*, Part 2, *The Reception of the New Quantum Mechanics. 1925–1926*, New York, Heidelberg, Berlin: Springer 1982.
- *The Historical Development of Quantum Theory*, Vol. 5, *Erwin Schrödinger and the Rise of Wave Mechanics*, Part 1, *Schrödinger in Vienna and Zurich 1887–1925*, Part 2, *The Creation of Wave Mechanics. Early Response and Applications 1925–1926*, New York, Heidelberg, Berlin: Springer 1987.
- *The Historical Development of Quantum Theory*, Vol. 6, *The Completion of Quantum Mechanics 1926–1941*, Part 1, *The Probability Interpretation and the Statistical Transformation Theory, the Physical Interpretation, and the Empirical and Mathematical Foundations of Quantum Mechanics 1926–1932*, Part 2, *The Conceptual Completion of the Extension of Quantum Mechanics 1932–1941*, New York, Heidelberg, Berlin: Springer 2000/01.

Romizi, Donata: *Dem wissenschaftlichen Determinismus auf der Spur. Von der klassischen Mechanik zur Entstehung der Quantenphysik*, Freiburg/München: Verlag Karl Alber 2019.

Röseberg, Ulrich: *Niels Bohr. Leben und Werk eines Atomphysikers 1885–1962*, 2. Auflage, Berlin: Akademie-Verlag 1987.

Scheibe, Erhard: *Die Philosophie der Physiker*, München: Beck 2006.

Selleri, Franco: *Die Debatte um die Quantentheorie*. 3., überarbeitete Auflage, Braunschweig: Vieweg 1990.

Smolin, Lee: *Quantenwelt. Wie wir zu Ende denken, was mit Einstein begonnen hat*, München: Deutsche Verlags-Anstalt 2019.

Ter Haar, Dirk: *Quantentheorie. Einführung und Originaltexte*, Braunschweig: Vieweg 1969.

Vogel, Heinrich: *Zum philosophischen Wirken Max Plancks. Seine Kritik am Positivismus*, Berlin: Akademie-Verlag 1961.

Zeilinger, Anton: *Einstiens Schleier. Die neue Welt der Quantenphysik*. 6. Auflage, München: Goldmann 2005.