

Philosophische Bibliothek

Moritz Schlick

Texte zur Quantentheorie

Meiner







MORITZ SCHLICK

Texte zur  
Quantentheorie

Eingeleitet, kommentiert und  
herausgegeben von

FYNN OLE ENGLER

FELIX MEINER VERLAG  
HAMBURG

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,<sup>1</sup> 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«.<sup>2</sup>

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

<sup>2</sup> 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.<sup>3</sup> 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.«<sup>4</sup> 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).

<sup>3</sup> Vgl. dazu Mathias Iven, »Er ›ist‹ eine Künstlernatur von hinreisender 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.

<sup>4</sup> 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 gruppierte und aus dem später der »Wiener Kreis« hervorgehen sollte.<sup>5</sup> Zu den Gründungsmitgliedern zählten Hans Hahn, Philipp Frank und Otto Neurath, die schon im »Ersten Wiener Kreis« aktiv waren.<sup>6</sup> 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,<sup>7</sup> 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 Weltauffas-

<sup>5</sup> 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.

<sup>6</sup> 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.

<sup>7</sup> 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.<sup>8</sup> 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.«<sup>9</sup> 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

<sup>8</sup> Otto Neurath, Rudolf Carnap und Hans Hahn, *Wissenschaftliche Weltauffassung. Der Wiener Kreis*, hrsg. vom Verein Ernst Mach, Wien: Artur Wolf Verlag 1929. Neuausgabe: Friedrich Stadler und Thomas E. Uebel (Hg.), *Wissenschaftliche Weltauffassung. 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.

<sup>9</sup> 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.<sup>10</sup>

Die Zusammenkünfte des Wiener Kreises fanden aber weiterhin regelmäßig an den Donnerstagen während der Vorlesungszeit im Hinterhaus des Mathematischen Instituts in der Boltzmann-gasse 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, umtriebiger 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,<sup>11</sup> 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.

<sup>10</sup> 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.

<sup>11</sup> 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 Siegart, »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.«<sup>12</sup>

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.«<sup>13</sup>

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

<sup>13</sup> 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«<sup>14</sup> 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!«<sup>15</sup> 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.«<sup>16</sup>

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

<sup>14</sup> 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 Gesetzlichkeit – 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.

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

<sup>16</sup> 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«. <sup>17</sup> 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. <sup>18</sup>

<sup>17</sup> 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.

<sup>18</sup> 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.«<sup>19</sup> 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.<sup>20</sup> 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.

<sup>19</sup> Beitrag 1.1, S. 6.

<sup>20</sup> 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.<sup>21</sup> »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.«<sup>22</sup> Dabei konnte Reichenbach auf Phänomene verweisen, die in der modernen Physik eine statistische Betrachtung erforderlich machten, wie die Brown'sche Bewegung oder radioaktive Zerfallsprozesse. Zugleich sah er damit allerdings auch den alleinigen Geltungsanspruch des Kausalprinzips in Frage gestellt,<sup>23</sup> 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

<sup>21</sup> 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.

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

<sup>23</sup> 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 entgegenen, möchte aber hiermit noch warten, bis meine Relativitätsschrift erschienen ist, denn darin habe ich schon das Wesentliche hierzu gesagt.<sup>24</sup>

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.<sup>25</sup> 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-

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

<sup>25</sup> 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: Phoebé-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,<sup>26</sup> 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.<sup>27</sup>

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

<sup>26</sup> 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)

<sup>27</sup> Siehe dazu Hans Reichenbach, *Relativitätstheorie und Erkenntnis apriori*, Berlin: Springer 1920, S. 74.

Vorhandensein solcher Prinzipien anerkennen; er wird nur leugnen, daß sie synthetisch und a priori [...] sind.«<sup>28</sup> 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.<sup>29</sup> 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.<sup>30</sup>

<sup>28</sup> Moritz Schlick, *Texte zu Einsteins Relativitätstheorie*, a.a.O., S. 127f.

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

<sup>30</sup> 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 Pauli<sup>31</sup>

Neben Pauli war auch Werner Heisenberg in Leipzig unter den Teilnehmern.<sup>32</sup> 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.

<sup>31</sup> 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)

<sup>32</sup> 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«<sup>33</sup> 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.<sup>34</sup> 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.<sup>35</sup> In Leipzig aber bestimmte Schlick noch ein-

<sup>33</sup> Siehe Moritz Schlick, *Texte zu Einsteins Relativitätstheorie*, a.a.O., Beitrag 1.6.

<sup>34</sup> 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.

<sup>35</sup> 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 unabhkömmlich 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«. <sup>36</sup>

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)

<sup>36</sup> 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.«<sup>37</sup> 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,<sup>38</sup> 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

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

<sup>38</sup> 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)