

Wissenschaft Bildung Politik

Herausgegeben von der
Österreichischen Forschungsgemeinschaft

Band 22

**Krise der Demokratie –
Krise der Wissenschaften?**

böhlau

Gedruckt mit Unterstützung durch:

 **Bundesministerium**
Bildung, Wissenschaft
und Forschung

ÖFG II ÖSTERREICHISCHE
FORSCHUNGSGEMEINSCHAFT

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

© 2020 by Böhlau Verlag GmbH & Co. KG, Wien, Kölblgasse 8–10, A-1030 Wien
Alle Rechte vorbehalten. Das Werk und seine Teile sind urheberrechtlich
geschützt. Jede Verwertung in anderen als den gesetzlich zugelassenen Fällen
bedarf der vorherigen schriftlichen Einwilligung des Verlages.

Redaktion: Katharina Koch-Trappel, Wien
Satz und Layout: büro mn, Bielefeld
Druck und Bindung: Hubert & Co BuchPartner, Göttingen
Gedruckt auf chlor- und säurefrei gebleichtem Papier
Printed in the EU

Vandenhoeck & Ruprecht Verlage | www.vandenhoeck-ruprecht-verlage.com

ISBN 978-3-205-23298-8

Vorwort der Herausgeber

Steckt die Demokratie

Wolfgang Merkel

Zum Verhältnis von

Reinhard Heintze

Has Liberalism in

Jan Zielonka

The right to academic

Nico J. Schrijver

Die Wissenschaft
der freien Gesellschaft

Anton Pelinka

Meta-research: Evidence
and Practices

John P. A. Ioannidis

Alternative Wahrheiten
aus der Perspektive

Markus Aspelmeyer

Alternative Wahrheiten: Die Konstruktion der Wirklichkeit aus der Perspektive der Quantenphysik

Markus Aspelmeyer

Ich wurde im Vorfeld dieses Wissenschaftstages mit unangenehmen Fragen konfrontiert. Etwa: „Untergräbt die Quantenphysik durch Relativierung des Ursache-Wirkungs-Prinzips in der Öffentlichkeit den Objektivitätsanspruch der Wissenschaften?“ Oder: „Ist das scheinbare Aufgeben des physikalischen Realismus durch die Quantenphysik mitverantwortlich, dass es keinen Konsens mehr geben kann darüber, was „die Wirklichkeit“, welche Sichtweise richtig oder falsch ist?“ Etwas anders formuliert: „Trägt nicht doch die moderne Wissenschaft einen großen Teil der Schuld selbst?“ Ich war offen gestanden ein wenig erschüttert über diese recht klar formulierte kausale Kette der Zusammenhänge und stelle mich daher gern der Aufgabe, diese Fragen vor dem Hintergrund der Quantenphysik zu kommentieren.

Ich beginne mit der Frage nach der drohenden „Demokratisierung“ der Wissenschaft. In der idealen Welt entscheiden wir Wissenschaftler auf Basis von Fakten. Dazu muss zunächst einmal intersubjektive Übereinstimmung vorliegen darüber, was „harte Fakten“ ausmacht – darüber, was eigentlich „ist“. Diese Möglichkeit der intersubjektiven Übereinstimmung schafft erst die notwendigen Voraussetzungen dafür, Phänomene in der Natur zu systematisieren, um dann auf Basis von Modellen bzw. Theorien Vorhersagen für das Eintreffen zukünftiger solcher Phänomene zu treffen. Die Einbettung der Modelle in einen größeren ontologischen Kontext konstituiert dann das Weltbild. Naturgesetze werden somit zum Ausdruck fundamentaler Einsichten in die Funktionsweise der Natur. Im Idealfall sollte es möglich sein, Theorien ausgehend von wenigen physikalischen Prinzipien zu rekonstruieren.

Einstein hat ein ähnliches Modell der Theoriebildung 1952 in einem Brief an Maurice Solovine treffend skizziert¹. Ausgehend von der Mannigfaltigkeit der unmittelbaren Sinneserlebnisse („E“) kommt es „intuitiv“ zur Erstellung von Axiomen („A“). Einstein betont explizit: „Es gibt aber keinen logischen Weg von den E zu den A, sondern nur einen intuitiven Zusammenhang, der immer auf

¹ Einstein, A., Berger, N. & Solovine, M., 2010. Letters to Solovine: 1906–1955, New York, Philosophical Library/Open Road.

Widerruf ist“.² Aus dem Axiomensystem, d. h. den physikalischen Prinzipien, ergeben sich gefolgerte Sätze, d. h. die logisch richtig geschlussfolgerten Konsequenzen, die eine Entsprechung in der Mannigfaltigkeit der unmittelbaren Sinneserlebnisse finden. Dieser letzte Schritt, die „Prüfung an der Erfahrung“ entscheidet schließlich darüber, welche dieser Theorie(n) untauglich sind, um die Phänomene in unserer Welt zu beschreiben.

Aber natürlich ist die Welt nicht ideal! Selbst bei unerschütterlicher Faktenlage kann es auch bei „uns“, der idealisierten Welt der Naturwissenschaft, lange dauern, bis sich ein neues Erklärungsmodell, eine neue Theorie durchsetzt – oder um es mit Kuhn³ zu sagen: bis ein Paradigma durch ein anderes ersetzt wird. Wir haben unzählige Beispiele, bei denen „Fakten“, d. h. von Vielen unabhängig beobachtete Phänomene, durch verschiedene Modelle erklärt werden. Beispiele, bei denen wir eine „demokratische“ Phase mit wechselnden Mehrheiten durchwandern, in denen einmal die eine, einmal die andere Theorie in den Vordergrund rückt, bis der Paradigmenwechsel vollzogen ist, sich die neue Theorie durchsetzt und sich schließlich mit dem Weltbild auch unsere Welt ändert – wenn etwa aus den beiden Sternen „Morgenstern“ und „Abendstern“ der eine Planet Venus wird.

Lassen Sie mich ein Beispiel aus der Quantenphysik nennen: Einstein hat 1905 mit der Postulierung der Lichtquantenhypothese⁴, der Existenz von kleinsten Energieeinheiten der elektromagnetischen Strahlung – heute Photonen, oder Lichtteilchen genannt –, ein beachtlich einfaches Erklärungsmodell für den ein paar Jahre zuvor von Lenard untersuchten photoelektrischen Effekt gegeben. Er stellt auf Basis dieses Postulats ein Gesetz auf, das die Energie des eintreffenden Lichts mit der der austretenden Elektronen in Relation setzt, das Jahre später auch bestätigt wird und sowohl seinem „Entdecker“ Einstein wie auch dem Experimentator (Robert Millikan) jeweils den Nobelpreis für Physik einbringt. Einsteins Argument für die Notwendigkeit der Quantisierung von Licht basierte auf einfachen thermodynamischen Überlegungen – und benutzte lediglich Annahmen über Eigenschaften der Strahlung, die Max Planck bereits

2 Dieser „intuitive“ Schritt unterscheidet die Physik von der reinen Mathematik. Oder um es mit den Worten des Physikers und Nobelpreisträgers Wolfgang Pauli an den berühmten Mathematiker John von Neumann zu formulieren: „Wenn es in der Physik ums Beweisen ginge, wären Sie ein großer Physiker.“

3 Kuhn, T. S., 1962. *The structure of scientific revolutions*, Chicago, Ill. [u. a.]: Univ. of Chicago Press [u. a.].

4 Einstein, A., 1905. Über einen die Erzeugung und Verwandlung des Lichtes betreffenden heuristischen Gesichtspunkt. In: *Annalen der Physik*, 322(6), S. 132–148.

für sein kurz vorher gefundenes Strahlungsgesetz zur Beschreibung von Schwarzkörperstrahlung verwendet hatte.

Obwohl das Plancksche Strahlungsgesetz und seine Konsequenz der Notwendigkeit der Quantisierung von Energie nahezu instantan als revolutionär anerkannt wurde, war die Lichtquantenhypothese „zu viel des Guten“. Für Nils Bohr etwa, stellvertretend für die meisten anderen Physiker/innen dieser Zeit, waren die „Quantensprünge“ eine Eigenschaft der Materie, was sich später im Bohrschen Atommodell (in dem Elektronen im Atom nur bestimmte „Orbitale“, d. h. Energiewerte, annehmen können) klar manifestierte. Strahlung selbst, also das elektromagnetische Feld, verhält sich immer klassisch, wird aber von den Atomen nur in finiten Energiemengen aufgenommen und abgegeben. Eine „Quantisierung“ des Strahlungsfeldes ist nicht nötig. Auch Modelle zur Erklärung des photoelektrischen Effekts wurden vor diesem Hintergrund aufgestellt, die das Beobachtete – wenn auch umständlicher – erklären konnten. Selbst Planck, der 1913 (gemeinsam mit Nernst, Rubens und Warburg) ein Empfehlungsschreiben für Einsteins Aufnahme in die Preußische Akademie der Wissenschaften verfasst, schreibt dort noch: „Zusammenfassend kann man sagen, dass es unter den großen Problemen, an denen die moderne Physik so reich ist, kaum eines gibt, zu dem nicht Einstein in bemerkenswerter Weise Stellung genommen hätte. Dass er in seinen Spekulationen einmal über das Ziel hinausgeschossen haben mag, wie z. B. in seiner Hypothese der Lichtquanten, wird man ihm nicht allzu schwer anrechnen dürfen; denn ohne ein Risiko zu wagen lässt sich auch in der exaktesten Naturwissenschaft keinerlei wirkliche Neuerung einführen.“⁵

Gleichwohl wurde die Faktenlage immer erdrückender. Die von Arthur Compton 1922 untersuchte Streuung von Röntgenstrahlen an Elektronen⁶ zeigte schließlich, dass der Impuls einzelner Lichtquanten übertragen wurde und bestätigte die Notwendigkeit des „Teilchencharakters“ von Licht. Zwar unternimmt Bohr – gemeinsam mit seinen Assistenten Kramers und Slater – einen letzten Versuch einer semi-klassischen Erklärung des Compton-Effekts, der schließlich grandios scheitert (in der Fachwelt aber noch immer als Bohr-Kramers-Slater Theorie⁷ bekannt ist). Dennoch: die Tatsache, dass (drei) schlaue

5 Archiv der Berlin-Brandenburgischen Akademie der Wissenschaften, Bestand Preußische Akademie der Wissenschaften, II-III-36, Bl. 36–37.

6 Arthur H. Compton: *Secondary Radiations produced by X-rays and some of their applications to physical problems*. In: *Bulletin of the National Research Council*, Band 20, 1922, S. 10.

7 N. Bohr, H. A. Kramers & J. C. Slater (1924) LXXVI. *The quantum theory of radiation*. In: *The London, Edinburgh, and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science*, 47, S. 281, 785–802.

Menschen scheitern, heißt nicht, dass sich nicht doch noch eine andere (semi-klassische) Beschreibung finden lässt. In Bohrs Worten: „Even if Einstein sends me a cable that an irrevocable proof of the physical existence of light-quanta has now been found, the message cannot reach me, because it has to be transmitted by electromagnetic waves.“⁸ Und in der Tat: In den Jahrzehnten danach erlebten die sogenannten semi-klassischen Theorien immer wieder eine Renaissance. Erst in den 1970er Jahren konnte durch den Physiker John Clauser das Experimentum crucis⁹ durchgeführt werden, das die Unmöglichkeit der „klassischen Strahlung“ unumstößlich untermauert – knapp 70 Jahre nach der Formulierung des Postulats.

Bitte entschuldigen Sie diesen langatmigen Exkurs. Worauf ich hinaus will ist das Folgende: Trotz aller augenscheinlichen „Demokratisierung“ konnten wir uns bislang immer darauf verlassen, dass wir – selbst nach 70 Jahren – ein „experimentum crucis“ finden, das verschiedene Modelle voneinander unterscheidet. Bislang war es in der Physik nie der Fall, dass zwei sich unterscheidende Theorien (und damit Weltansichten) zu exakt deckungsgleichen Vorhersagen geführt haben. Um es anders zu formulieren: Am Ende des Tages weicht die Demokratie der Gelehrten dem Diktat der Natur.

Auch die Quantenphysik trägt hier qualitativ nichts Neues zur Diskussion bei. Hierbei handelt es sich um einen den Naturwissenschaften inhärenten und gnadenlosen Selektionsprozess. Am Ende des Tages entscheiden die Fakten. Was mich zum zweiten Aspekt der Eingangsfragen führt: Fakten „worüber“? Welchen Aspekt der Realität beschreibt eine physikalische Theorie?

Bis zum Einzug der Quantentheorie hat die Physik unter der Prämisse gearbeitet, dass physikalische Theorien die Natur so beschreiben „wie sie ist“. Mathematische Elemente der Theorie beziehen sich auf „in der Natur existierende“ Entitäten, sogenannte „elements of reality“. Diese sind im Wesentlichen Eigenschaften eines Objekts, die vor und unabhängig von einer Beobachtung des Systems „vorliegen“ und das Ergebnis einer Messung (Beobachtung) vollständig determinieren. Das ist zeitgleich die Arbeitsdefinition des „naiven Realismus“. Die Quantentheorie bricht mit diesem Realismus-Anspruch. Erstmals liegt in der Geschichte der Physik eine Theorie vor, deren Beschreibungsgegenstand nicht konkrete „prä-existierende“ Eigenschaften sind, sondern

8 J. Mehra and H. Rechenberg, *The historical development of quantum theory*, Springer-Verlag, New York, 1982, Vol. 1, Part 2, S. 554.

9 Clauser, J.F.F., 1974. Experimental distinction between the quantum and classical field-theoretic predictions for the photoelectric effect. In: *Physical Review D*, 9(4), S. 853–860.

„Wahrscheinlichkeiten von möglichen Ereignissen“. Nachdem die Anzahl „möglicher Ereignisse“ für ein System groß sein kann – ein Photon kann beispielsweise durch den oberen Spalt oder durch den unteren Spalt von zwei Spalten fliegen, bevor es an einem bestimmten Ort am Beobachtungsschirm detektiert wird –, gibt es Regeln, wie sich die Wahrscheinlichkeiten möglicher Ereignisse aufaddieren und sogar interferieren können. Mathematisch gesehen werden jedem möglichen Ereignis komplexwertige Amplituden zugeordnet, die dann ähnlich dem Verhalten von Wellen „interferieren“ können, d. h. einander entweder verstärken oder auslöschen.

Das führt zu paradoxen Situationen: Wenn mein Photon nur den oberen Spalt passiert (ich kann das sicherstellen, indem ich den unteren Spalt blockiere), erhalte ich eine Vorhersage für die Wahrscheinlichkeit des Auftretens des Photons am Beobachtungsschirm (dazu brauche ich übrigens keine Quantentheorie; reine Optik tut es auch...). Dasselbe gilt für die Situation, wenn nur der untere Spalt offen ist. Sind aber beide Spalte offen, dann würde ich als „naiver Realist“ erwarten, dass sich die Wahrscheinlichkeiten für das Auffinden des Teilchens am Schirm schlicht addieren. Das Teilchen geht entweder durch den oberen Spalt oder durch den unteren Spalt, um an einen gewissen Punkt zu gelangen, und daher addiert sich die Wahrscheinlichkeit der vorher bestimmten einzelnen Wege. Das Gegenteil ist der Fall. Die „wellenartige“ Addition der Wahrscheinlichkeitsamplituden, die uns die Quantentheorie zwingt zu benutzen, führt dazu, dass es Positionen gibt, an denen das Teilchen nie zu finden sein wird, wenn beide Spalte offen sind. Und das, obwohl die Einzelwahrscheinlichkeit für das Passieren von jeweils einem Spalt nicht null ist. In anderen Worten: der Ausgang des Experiments steht im Widerspruch zu der (naiv realistischen) Annahme, dass das Teilchen entweder den oberen oder den unteren Spalt passiert hat. Der Einfachheit halber sprechen wir in so einer Situation von einer „Überlagerung“ (Superposition) des Teilchens – wobei wir eigentlich die Wahrscheinlichkeitsamplituden für die möglichen Beobachtungsergebnisse am Teilchen meinen.

Was also sind die „Elemente der physikalischen Realität“? Welchen Spalt passiert das Teilchen denn nun, wenn es zwei offene Spalte vorfindet? Löst sich die Realität unter den Fingern unserer Beobachtung auf? Wir stellen schnell fest, dass es Fragen gibt, auf die die Theorie schlicht keine Antwort hat. Jede Frage muss vor dem Hintergrund einer konkreten Beobachtungssituation gestellt werden. Sind beide Spalte offen und ist mein Detektor hinter den Spalten platziert, kann ich die Frage stellen, mit welcher Wahrscheinlichkeit dieser Detektor anschlagen wird. Wenn es im Rahmen dieser Beobachtungssituation

gleichzeitig prinzipiell unmöglich ist, Information über den Weg der Teilchen zu erhalten, dann kommt es zu den beschriebenen Quanteneffekten. Stelle ich die Detektoren hingegen direkt an die Spalte (um zu erfahren, durch welchen Spalt die Teilchen gegangen sind), werde ich die Wahrscheinlichkeit für das Anschlagen dieser Detektoren erfahren. Das Auslösen eines Detektors lokalisiert das Teilchen nun an einem der beiden Spalte, und wir werden wieder, wie klassisch erwartet, die Teilchen gleichverteilt hinter beiden Spalten finden – keine Quanteninterferenz.

Der Beobachtungskontext bestimmt, was beobachtet werden kann, und damit, welche Frage an ein konkretes System gestellt werden kann. Im Fall des Photons (oder beliebig anderer Teilchen, etwa Makromoleküle, wie sie von meinem Kollegen Markus Arndt an der Universität Wien untersucht werden¹⁰, wird es immer einen Kompromiss geben: Ich kann nie vollständig den Weg des Teilchens wissen und gleichzeitig maximale Quanteninterferenz beobachten. Dieses Prinzip, letztlich darauf zurückführbar, dass für mögliche Messungen am System nur eine bestimmte Menge an Information zur Verfügung steht, hat Bohr bereits erkannt und mit dem Namen „Komplementarität“ versehen.

Was „existiert“ aber nun, wenn Eigenschaften eines Systems nur relativ zur Beobachtungssituation „real“ sein können? Am Beispiel der Teilchentrajektorie am Doppelspalt: Die Frage nach dem Weg des Teilchens ist im Rahmen der Theorie nicht beantwortbar, wenn beide Spalte offen sind, und die Annahme, dass es durch einen Spalt geht, steht im Widerspruch zu den experimentellen Daten. Also scheint es unmöglich zu sein, in dieser Beobachtungssituation widerspruchsfrei vom „Weg des Teilchens“ zu sprechen.

Eine pragmatische Sichtweise könnte sein: was „existiert“ sind Messergebnisse, also registrierbare Ereignisse im Detektor. Diese sind Teil der notwendigen Voraussetzungen, die eine Formulierung der Quantentheorie überhaupt erst möglich machen. Sie gehören sozusagen zu den „Möglichkeitsbedingungen“ der Theorie. Warum? Weil Quantentheorie nichts anderes ist als eine Theorie über mögliche Messausgänge. Als solche kann sie natürlich nicht den Anspruch haben, das Zustandekommen des Messausgangs erklären zu wollen. Ähnlich wie wir mit der Newtonschen Mechanik eine Theorie haben, die die Bewegung von Massepunkten in der Raumzeit ganz hervorragend beschreibt – ohne dass jemand auf die Idee kommen würde, von den Newtonschen Gesetzen zu verlangen, den Ursprung der Masse und die Struktur der Raumzeit zu

¹⁰ Markus Arndt et al., 1999. Wave-particle duality of C₆₀ molecules. In: Nature, 401(6754), S. 680–682.

erklären. Diese Elemente sind nicht Teil des Erklärungsanspruchs einer solchen Theorie. Ich betone das deshalb, weil man heute noch oft den Anspruch auf eine „Theory of Everything“ formuliert hört. Jede Theorie kann nur im Rahmen ihres Erklärungsanspruchs agieren, der wiederum durch die a priori gesetzten Möglichkeitsbedingungen gegeben ist.

Verschiedene Beobachtungssituationen werden immer nur einen bestimmten Aspekt der „Wirklichkeit“, der Natur, erfassen können. Je nachdem, ob nur einer oder beide Spalte offen sind, sehen wir die Teilchen- oder die Wellennatur von physikalischen Objekten. Je nachdem, ob wir bildgebende Verfahren, etwa Kernspinresonanz (NMR), anwenden oder psychologisch motivierte Fragen stellen, um das „Bewusstsein“ zu beschreiben, werden wir komplementäre Information über ein und dasselbe Phänomen bekommen. Vielleicht ist das Prinzip der Komplementarität in der Natur viel stärker verankert als nur in der Quantenphysik.

Ich schließe mit einem beunruhigenden Thema, das den Kreis zum Anfang schließt: der Unmöglichkeit von Dokumenten. Was meine ich damit? Es gibt aus Sicht der Quantentheorie immer eine Beobachtungssituation, bezüglich derer ein Beobachtungsfaktum, also einfach der Ausgang einer Messung – hier: Teilchen geht durch einen Spalt –, prinzipiell kein Element der physikalischen Realität mehr darstellt. Unter einem Element der physikalischen Realität verstehen wir dabei etwas, das unabhängig vom Beobachter, unabhängig von der Beobachtungssituation, als Dokument in der Welt seine Gültigkeit hat. Das scheint im krassen Widerspruch mit unserer Erfahrung der Alltagswelt zu sein. Es ist eine Beobachtungstatsache (im Einsteinschen Sinne ein „unmittelbares Sinneserlebnis E“), dass makroskopische Objekte immer in einem bestimmten Zustand sind (das Glas am Tisch vor mir ist entweder „hier“ oder „dort“). Woran liegt das? Nun, ein makroskopisches Objekt steht in ständiger Wechselwirkung mit seiner Außenwelt: Luftmoleküle werden ständig reflektiert, Wärmestrahlung wird ausgestrahlt und absorbiert, etc. Wenn nun unser Teilchen, das durch den Spalt geht, in einer „Überlagerung“ der beiden Spalt-Positionen war, so wird das auch für die gestreuten Luftmoleküle oder Photonen der Wärmestrahlung gelten, und auch für den Detektor, der das Teilchen entweder oben oder unten sieht (etwa durch die Wärmestrahlung), und auch für mein Gehirn, das registriert, in welchem Zustand ich den Detektor beobachte. Zu keinem Zeitpunkt aber habe ich die Ununterscheidbarkeit der beiden Kausalketten aufgehoben! Beide Ketten von mehr und mehr makroskopisch unterscheidbaren Zuständen sind nach wie vor in einer Superposition – jeder Beobachter, den wir einführen, ist aus Sicht eines „Super-Beobachters“ nach wie vor in einer Überlagerung.

Wie kann also überhaupt ein Zustand eines physikalischen Systems „realisiert“ sein? Das ist das so genannte Messproblem.

Warum ist das ein Problem? Weil es unseren Beobachtungstatsachen der makroskopischen Alltagswelt widerspricht. Was sagt die Quantentheorie dazu? Sie sagt uns: eigentlich ist es nicht verwunderlich, dass wir das Glas am Tisch in einem der beiden Zustände sehen. Denn um Quantenphänomene beobachten zu können, brauchen wir die Ununterscheidbarkeit der möglichen Zustände. Aber da das Glas so groß ist, kann schon ein Gasmolekül oder ein Lichtteilchen, das am Glas reflektiert wird, Information über den Zustand des Glases transportieren. Wenn ich nun dieses Gasmolekül oder Lichtteilchen in der Beschreibung meines Systems außer Acht lasse, dann verliere ich die Information an die „Umwelt“ des Glases. Mit anderen Worten: Eine Messung an der Umgebung genügt, um unabhängig vom Glas etwas über den Zustand des Glases zu lernen, und damit ist die prinzipielle Ununterscheidbarkeit der Zustände des Glases aufgehoben. Dieser Verlust der beobachtbaren Quantenphänomene durch Wechselwirkung mit einer „Umwelt“ nennt man Dekohärenz¹¹.

Es ist wichtig darauf hinzuweisen, dass Dekohärenz nicht die Frage klärt, ob Quantenphänomene auf der Makroskala prinzipiell unmöglich sind. Dekohärenz erklärt lediglich das Verschwinden von Quantenphänomenen, wenn ich die Umwelt eines physikalischen Systems, beispielsweise aufgrund ihrer Komplexität, nicht mehr in die Beschreibung meines Quantensystems einbeziehe. Was passiert aber in einer Beobachtungssituation, in der gemeinsame Eigenschaften des Gesamtsystems – also Glas am Tisch einschließlich Gasmolekül oder Lichtteilchen – gemessen werden können? In dem Fall ist keine Information verlorengegangen und das Gesamtsystem befindet sich in einer Überlagerung verschiedener (gemeinsamer) Zustände, die prinzipiell ununterscheidbar sind. Mit anderen Worten: obwohl wir in einer bestimmten Beobachtungssituation bereits davon ausgehen konnten, das Glas aufgrund von Dekohärenz in einem der beiden möglichen Zustände „links“ oder „rechts“ vorzufinden, erlaubt uns eine andere Beobachtungssituation, den Dekohärenzprozess aufzuheben. Durch die neue Beobachtungssituation wird die ursprüngliche Information in der Umgebung „gelöscht“ und wir stehen wieder am Anfang unseres Problems: Wir können unabhängig von der Messung nichts über den ontologischen Status der möglichen Zustände des Systems sagen.

11 Maximilian Schlosshauer, *Decoherence and the Quantum-to-Classical Transition*, Springer, New York.

Wie wir oben gesehen haben, kann ein „Superbeobachter“, der Zugriff auf alle physikalischen Freiheitsgrade des Detektors, Beobachters etc. hat, im Prinzip die Information über alle gemachten Beobachtungen wieder löschen und somit einen großen Superpositionszustand verschiedener möglicher Systemzustände herstellen. Ich sollte ergänzen, dass das rein praktisch für komplexere Systeme nahezu unmöglich sein wird, aber der Punkt ist, dass die Theorie es prinzipiell zulässt. Das Problem für die Philosophie ist im Prinzip, dass das Element der Irreversibilität notwendig scheint, um Dokumente überhaupt zu ermöglichen. Als Dokumente wollen wir hier Fakten bezeichnen, über deren Beobachtung intersubjektive Übereinstimmung herrscht. Diese erst erlauben es, dass wir uns über die Welt, über „alles, was der Fall ist“, austauschen können. Angesichts der möglichen Konsequenzen einer makroskopischen Quantenphysik stehen wir nun vor der großen Frage: Welche Fakten existieren? Was kann denn überhaupt als intersubjektives Faktum gelten, wenn es prinzipiell die Möglichkeit einer Beobachtungssituation gibt, in der bereits sicher geglaubte Information wieder gelöscht wird? Um bei Wittgenstein zu bleiben: Was ist denn der Fall, wenn wir die Tatsachen aus der Welt schaffen? Mir persönlich sind die Konsequenzen für die Philosophie völlig unklar. Ich glaube außerdem, dass diese Frage primär ein philosophisches und kein physikalisches Problem formuliert, und ich setze große Hoffnung in einen interdisziplinären Dialog der jetzigen und kommenden Forschergenerationen.

Beide Aspekte, sowohl die Relativität der Existenz von Eigenschaften bezüglich des Beobachters als auch die Unmöglichkeit eines vollständigen Erklärungsanspruchs einer physikalischen Theorie, sind die eigentlichen von der Quantentheorie gestellten Herausforderungen in der Konstruktion der Wirklichkeit. Diese Aspekte sind keinesfalls gesellschaftspolitisch zu verstehen, wie etwa in den eingangs formulierten Statements vermutet werden könnte, sondern sind fundamentale Randbedingungen an unsere Möglichkeiten, Natur zu beschreiben. Ich sehe daher keine Gefahr, die von der Quantenphysik ausgeht, oder mögliche Folgerungen für die Politik. Allerdings bleiben erschreckend starke Lücken in der Philosophie zu füllen. In jedem Fall freue ich mich auf einen möglichst breiten Dialog für die Zukunft.