

DIE RELATIVISTISCHEN UND QUANTENPHYSIKALISCHEN PARADOXA IM SPIEGEL CHRISTLICHER METAPHYSIK

von Dr. Axel Schmidt

Hat die Physik gezeigt, daß alles relativ ist? Gibt es keine absolute Zeit mehr? Und muß jedes objektive Denken seit Heisenbergs und Bohrs Interpretation der quantenmechanischen Erscheinungen abdanken? Solche und weitere Fragen bewegen die Philosophen und natürlich auch die Physiker seit Beginn des Jahrhunderts, genauer: seit Aufstellung der (Speziellen) Relativitätstheorie durch Albert Einstein im Jahr 1905 und dann noch eindringlicher seit Entwicklung der Kopenhagener Deutung der Quantentheorie Mitte der Zwanziger Jahre.

In diesem Beitrag versuche ich, die wichtigsten naturphilosophischen Streitfragen, welche durch die genannten physikalischen Theorien aufgeworfen wurden, zu besprechen und ihre Paradoxie zu entschärfen. Paradoxa verdienen diesen Namen nur, wenn sie das gewöhnliche Denken und Urteilen völlig über den Haufen werfen. Vielleicht ist aber nur ein Vorurteil in einem eher nebensächlichen Bereich zu korrigieren, damit ein anderer, fundamentaler Grundzug der Wirklichkeit wieder neu zum Leuchten kommen kann. Die folgenden Bemerkungen handeln vorzugsweise vom Wesen der Zeit. Sie haben zum Ziel zu zeigen, daß die recht verstandene Relativitätstheorie wie auch die Quantentheorie die Zeit retten, indem sie den Fluß der Zeit vor seiner Stillelegung durch die klassisch-physikalischen Konzepte bewahren. Für einen unendlich intelligenten Geist im Sinne von Laplace unterscheiden sich vergangene Zeitpunkte nicht von zukünftigen, da diesem die ganze Zeit quasi statisch vor Augen liegt, dieweil er mittels einer komplexen Berechnung – zeitlos! – die kausalen Vernetzungen zwischen den Elementen sollte bestimmen können. Hermann Minkowski behandelt die Zeit als die vierte raumartige Dimension: Wenn die Zeitdimension nur ein willkürlicher und relativer Ausschnitt aus dem eigentlich objektiv Ganzen der vierdimensionalen Raumzeit ist¹, dann ist es nur folgerichtig, das anschauliche Zeiterleben als bloß subjektiv anzusehen, d.h. als nicht objektiv. Diese Folgerung zieht der Mathematiker Hermann Weyl explizit: „Die objektive Welt *ist* schlechthin, sie *geschieht* nicht. Nur dem Blick des in der Weltlinie meines Leibes emporkriechenden Bewußtseins *lebt*“ ein Ausschnitt dieser Welt *auf* und zieht an ihm vorüber als räumliches, in zeitlicher Wandlung begriffenes

¹ Hermann MINKOWSKI: *Raum und Zeit*, in: Hendrik A. LORENTZ / Albert EINSTEIN / Hermann MINKOWSKI: *Das Relativitätsprinzip. Eine Sammlung von Abhandlungen*, Stuttgart: Teubner, 1974, 54-71, 54.: „Von Stund an sollen Raum für sich und Zeit für sich völlig zu Schatten herabsinken und nur noch eine Art Union der beiden soll Selbständigkeit bewahren“. Vgl. William Lane CRAIG: *Time and the Metaphysics of Relativity*. Dordrecht-Boston-London: Kluwer Academic Publishers, 2001, 77ff.

Bild.“² Die Scheidung zwischen Vergangenheit, Gegenwart und Zukunft hat dann „nur die Bedeutung einer wenn auch hartnäckigen Illusion“, wie Einstein in einem Kondolenzbrief geschrieben hat.³ Gegen ein solches quasi-statisches Universum, in dem es keine Veränderung gibt und folglich auch keine Dinge, insbesondere Personen, die sich verändern, sprechen indessen die Erkenntnisse der modernen Physik. Wen schrecken ihre Paradoxa nun eigentlich?

1. Ist seit Einstein alles relativ?

Relativitätsprinzip und Relativismus. Der Anstoß liegt bereits im Namen der Einsteinschen Theorie: Soll fortan alles, was bisher als eindeutig und absolut gegolten hat, relativ sein? Eine solche Mißdeutung, die zum **Relativismus** führt, versteht die zentrale Behauptung der Theorie einseitig, wonach jeder Beobachter sich zum Bezugspunkt bzw. Bezugssystem machen darf. **Jedes System, jeder Bezug ist berechtigt** – das ist der Inhalt des zentralen **Relativitätsprinzips**. Es gibt kein System, das vor den anderen ausgezeichnet wäre und das darum den Namen „absolutes (oder absolut ruhendes) System“ verdiente. Doch darf dabei nicht übersehen werden, daß das Ziel der Relativitätstheorie gerade darin besteht, die Subjektivität oder Relativität von Bewegungsercheinungen auszumerzen und allein solche Bestimmungen zu benutzen, die für jeden Beobachter, für jedes Bezugssystem gelten, d.h. solche, die **invariant** (gegenüber jedwem Bezugssystem) sind. Die Theorie müßte darum treffender als **Invariantentheorie** (der Bewegung) bezeichnet werden.⁴

Bevor wir fragen, was denn da eigentlich relativiert wird, sei die Eingangsüberlegung weitergeführt. Das Relativitätsprinzip ist im Grunde eine **Symmetrieforderung**, es besagt, daß es möglich sein muß, sich über die Raumzeitverhältnisse zu verständigen, auch wenn man jeweils einen ganz verschiedenen Standpunkt einnimmt. Von der standortbedingten (subjektiven) Verschiedenheit der räumlichen und zeitlichen Erscheinungsgrößen muß dann freilich abstrahiert werden, so daß nur das Invariante als für die objektive Beschreibung relevant übrigbleibt. Diese symmetrieebedingte Hinwen-

² Hermann WEYL: *Philosophie der Mathematik und Naturwissenschaft*. 3. wesentlich erweiterte Auflage, München-Wien 1966, 150.

³ Brief vom 21. März 1955 an die Hinterbliebenen seines Jugendfreundes Michele Besso; vgl. B. HOFFMANN / H. DUKAS: *Albert Einstein: Schöpfer und Rebell*. Stuttgart, 1976, 537. – Vgl. dazu Carl Friedrich von WEIZSÄCKER: *Zeit und Wissen*. München: dtv, 1995, 81-84.

⁴ Vgl. zum folgenden Axel SCHMIDT: *Natur und Geheimnis. Kritik des Naturalismus durch moderne Physik und scoitische Metaphysik*. Freiburg-München: Alber 2003 (Symposion 119), 63-90; Klaus MAINZER: *Philosophie und Geschichte von Raum und Zeit*. In: Jürgen AUDRETSCH / Klaus MAINZER (Hrsg.): *Philosophie und Physik der Raum-Zeit*, Mannheim-Wien-Zürich: BI-Wiss.-Verl. 1997, 11-51; Peter MITTELSTAEDT: *Philosophische Probleme der modernen Physik*, Mannheim-Wien-Zürich: BI Wissenschaftsverlag 1989, 16ff; Bernhard PHILBERTH: *Der Dreieine*. Stein am Rhein: Christiana 1987, 334ff; Craig (s. Anm. 1).

ding zu den Invarianten impliziert gleichwohl keineswegs, daß die variablen Erscheinungsgrößen in jeder Hinsicht irrelevant seien, daß sich in ihnen nicht etwas zeigen kann, was in anderer als der relativistischen Hinsicht durchaus objektiven Charakter haben kann. An einem Beispiel sei diese etwas abstrakte Überlegung veranschaulicht: Eine Währungsumrechnungstabelle gibt an, was 1 Dollar in einer anderen Währung wert ist (2 Mark, 6 Francs usw.). Sie sagt mir jedoch nicht, was man mit einem Dollar tatsächlich kaufen kann. Es ist zwar richtig, daß der Betrag von einem Dollar ganz verschieden gewechselt wird und insofern einen von Land zu Land sehr variablen Gegenwert zur Erscheinung bringt, aber daraus sollte man nicht schließen, daß einzig die Währungsumrechnungstabelle von objektiver Bedeutung ist, weil sie allein invariant ist. Die relativistischen Transformationen haben eine analoge Funktion wie die besagte Währungsumrechnungstabelle; sie sagen nicht aus, was sich wirklich ereignet, sondern nur, wie sich die raumzeitlichen Verhältnisse der Ereignisse je verschieden transformieren. Kurz: Die Relativitätsphysik ist eine Physik der Abbildungsverhältnisse innerhalb der Raumzeit, keine Physik des existentiellen Geschehens. Sie beschreibt die wesentliche Struktur der Raumzeit, ohne eine Aussage darüber zu machen, was sich in Raum und Zeit wirklich ereignet. Sie sagt nur, wie sich die raumzeitlichen Erstreckungen der Ereignisse relativ zu verschiedenem Bezug ineinander transformieren, wie sie je verschieden erscheinen.

Erscheinung und Schein. Der Relativismus, dem manche Relativitätstheoretiker verfallen, kommt dadurch zustande, daß eine Unterscheidung zwischen echter Erscheinung und bloßem Schein nicht anerkannt wird; die Unterscheidung wird selbst zum Schein erklärt. Die Unterscheidung zwischen erscheinenden und scheinbaren Größen hat Newton mit dem absoluten Raum begründet. Wie sich insbesondere in der Allgemeinen Relativitätstheorie gezeigt hat, bleibt diese Unterscheidung nach wie vor unabdingbar, was gerade heißt, daß nicht alle Bezugssysteme gleichberechtigt sind. Die Drehung etwa, die die Welt um den Karussellfahrer vollzieht (oder die Drehung der Sonne um die Erde), ist ein bloßer Schein.

Von einem (unwahren) Schein kann nur die Rede sein, wenn es ein **objektives Ansich** gibt, an dem der Unterschied von Erscheinung und Schein gemessen wird. Das Problem besteht jedoch darin, daß wir Menschen durch die Sinne niemals das Ansich der Dinge, sondern nur deren raumzeitliche Erscheinung zu fassen bekommen. Dennoch wäre es ein gedanklicher Kurzschluß, das Ansich zu leugnen und so alle Erscheinungen als gleichberechtigt anzusehen, als rein konventionelle, d.h. ins Belieben gestellte Größen.⁵

⁵ Ich sehe hier eine Parallele zur Streichung des „Ding an sich“ bei den Deutschen Idealisten im Gegensatz zur Auffassung Kants.

Obwohl wir das absolute Ansich, wie es unabhängig von seiner Wirkung auf uns in sich selbst ist, nicht wahrnehmen können, können wir die raumzeitliche Erscheinung doch durch objektive, intersubjektiv gültige Begriffe bestimmen.⁶ Einem Autofahrer z.B. erscheinen die Bäume bewegt, und doch urteilt er, daß er sich bewegt, während die Bäume feststehen. Die objektive Bestimmung ist jedoch nicht identisch mit dem absoluten Ansich, sondern nur ein besonders nützlicher Aspekt, der insbesondere durch Invarianten ausgedrückt wird. Demgegenüber bleibt ein anderer Aspekt unobjektivierbar: die absolute Raum- und Zeitbestimmung. Wir müssen mithin drei Bestimmungen auseinanderhalten: Das Absolute, das Subjektive (die relative Erscheinung) und das Objektive (Invariante).

Auch wenn die vorstehenden grundsätzlichen Überlegungen ganz unabhängig von der Einsteinschen Theorie gelten, kommt ihnen doch im Rahmen der Relativitätstheorie eine viel tiefere Bedeutung zu. Schon die klassische Kinematik hat es ja mit variablen Erscheinungen ein und desselben Phänomens zu tun, nämlich mit den subjektiv unterschiedlichen Wahrnehmungen von bewegten Objekten. Variabel sind klassisch jedoch allein die räumlichen, nicht die zeitlichen Verhältnisse; eine Unterscheidung von absoluten und relativen (erscheinungshaften, subjektiven) Zeitverhältnissen ist hier nicht erforderlich. Dies wird in der Relativitätstheorie anders: Nicht von jedem Beobachtungsstandpunkt erscheinen zwei (räumlich getrennte) Ereignisse im selben zeitlichen Abstand. Anders gesagt: Was für den einen Beobachter gleichzeitig ist (erscheint), ist es (erscheint so) nicht für jeden anderen. Diese sog. Relativität der Gleichzeitigkeit ist eine Folge der endlichen Lichtgeschwindigkeit. Weil sich alle Wirkungen nur mit endlicher Geschwindigkeit ausbreiten, können sich die physikalischen Ereignisse nicht instantan zur Erscheinung bringen; die Zeit, die dafür gebraucht wird, ist wegen der Raumabhängigkeit nicht invariant.

Daraus folgt interessanterweise zunächst nur dies: Die Invarianzgeschwindigkeit c (Vakuum-Lichtgeschwindigkeit) ordnet Raum- und Zeitgrößen als einander proportional zu. Dadurch erlangen Raum und Zeit in der relativistischen Betrachtung eine vollendete Analogie, während sie in der klassischen Denkweise unverbunden nebeneinander stehen. Die Zeit gewinnt raumähnliche Züge und der Raum zeitähnliche: Raum und Zeit haben einen doppelten Charakter, ein quantitativ bestimmbares Wesen und eine existentielle, gerichtete „Dynamik“.⁷ Einstein hat wie die meisten Relativitätsphysiker nur die eine Seite der Analogie hervorgehoben, die Raumähnlichkeit der Zeit, so daß

⁶ Die so objektivierte Erscheinung entspricht dem, was Kant Erfahrungsurteil genannt hat, während die rein subjektive Erscheinung im Wahrnehmungsurteil ausgedrückt wird. – Vgl. Immanuel KANT: *Prolegomena* § 18, AA IV, 298.

⁷ Die Richtung der Zeit wird unmittelbar anschaulich (z.B. im Älterwerden) erfahren, die des Raumes nicht; sie macht sich aber kosmologisch als Expansion geltend.

sie als vierte Dimension erscheint, die statisch festliegt wie scheinbar der Raum. Diese Sichtweise beruht auf einer Reduktion, welche den anderen Aspekt ausblendet, der, eben weil er das Dynamische betrifft, für den zeitlosen Begriff kaum faßbar ist. Nach Hermann MINKOWSKI sollen „Raum für sich und Zeit für sich völlig zu Schatten herabsinken und nur noch eine Art Union der beiden soll Selbständigkeit bewahren“.⁸ Leopold INFELD plädiert im selben Sinne für eine statische anstelle einer dynamischen Betrachtungsweise: „Hier wird Bewegung als etwas *Seiendes* dargestellt, etwas, was in dem zweidimensionalen Raum-Zeit-Kontinuum effektiv existiert, ... Nach dieser Lehre ist die statische Darstellung nämlich entschieden vorzuziehen, weil die Auffassung, Bewegung sei etwas im Räumlich-Zeitlichen effektiv Vorhandenes, ein zweckmäßigeres und objektiveres Bild der Wirklichkeit abgibt.“⁹

Hier wird die halbe Wahrheit so ausgesprochen, daß die andere Hälfte zur Illusion erklärt wird. Der Zeitverlauf wäre nur subjektiv und reiner Schein. Indessen folgt aus den Prämissen der Speziellen Relativitätstheorie weit weniger:

- Während der Raum zeitähnlich ist und die Zeit raumähnlich, bleiben beide weiterhin voneinander verschieden und bilden nur im eingeschränkten Sinne eine Union.
- Die Rede von einer absoluten Zeit ist nach wie vor möglich und sinnvoll. Die sog. kosmische Zeit ist mit der Newtonschen absoluten Zeit vergleichbar, insofern sie unabhängig vom Raum gefaßt wird. In der kosmologischen Betrachtung stellt man sich vor, daß diejenigen Objekte, die den expandierenden Raum markieren, das sind die Galaxien, in diesem „Substrat“ absolut ruhen. Galaxien, die dieselbe Entwicklung hinter sich haben, haben dieselbe kosmische Zeit. Das expandierende System der Galaxien ist damit ein quasi-absoluter Raum, der als „mitbewegtes System“ bezeichnet wird. In diesem System sind Raum und Zeit getrennt und bilden keine „Union“.
- Die Relativierung der Zeit ist eine Folge der Zulassung verschiedenster Beobachter. Damit ist jedoch nicht impliziert, daß alle Bezugssysteme gleichberechtigt sind. Vielmehr bleibt es möglich und sinnvoll, zwischen originalen Zeitdauern und bloßen Erscheinungsgrößen zu unterscheiden.

Im folgenden werden diese allgemeinen Überlegungen konkretisiert anhand der Diskussion der zwei bekanntesten „Paradoxa“ der Relativitätstheorie, der Folgenumkehr und des Zwillingsparadoxons.

Die sog. Folgenumkehr. Diese ergibt sich bei zwei Ereignissen, die raumartig genannt werden, weil in jedem Bezugssystem zwischen ihnen ein gewisser Raum liegt.

⁸ S.o. Anm 1.

Dann gibt es genau ein System, in dem beide Ereignisse gleichzeitig sind; in allen anderen Systemen sind die Ereignisse nicht gleichzeitig, sondern folgen aufeinander, und zwar in beiden Folgerichtungen. Das einfachste Beispiel ist der Stundenschlag zweier exakt gleichlaufender Uhren an verschiedenen Stellen. Während im System der Erde der 12-Uhr-Schlag in Freiburg und München gleichzeitig erfolgt, schlägt die Freiburger Uhr etwas früher in Systemen, die sich schnell in der Richtung München-Freiburg bewegen; in umgekehrt bewegten Systemen schlägt sie später. – Dieses Phänomen ist freilich kaum meßbar, weil die Zeitverschiebung nur äußerst geringfügig ist. Es widerspricht nicht dem Kausalitätsprinzip, weil es nur solche Ereignisse (die raumartigen) betreffen kann, die wegen der endlichen Geschwindigkeit der Wirkungsausbreitung voneinander nicht kausal abhängig sein können. In einem verallgemeinerten Sinne könnte man die raumartigen Ereignisse allesamt als gleichzeitig bezeichnen; ihre Aufeinanderfolge und die Richtung derselben ist bloß subjektive Erscheinung und nicht objektiv.

Das Uhren- bzw. Zwillingsparadoxon. Genau umgekehrt verhält es sich mit dem berühmteren Zwillingsparadoxon. Dieses tritt anlässlich zweier Ereignisse auf, die voneinander kausal abhängig sind (sein können) und zeitartig genannt werden, weil sie in jedem Bezugssystem eine eindeutige, nicht umkehrbare zeitliche Aufeinanderfolge aufweisen. In genau einem Bezugssystem finden die Ereignisse am selben Ort statt, in allen anderen Systemen liegt zwischen ihnen eine gewisse Wegstrecke. Weit weniger kompliziert ausgedrückt: das zu erörternde Phänomen tritt bei der Fortbewegung eines punktförmigen Gegenstandes (z.B. einer Uhr) des einen Systems im Raume eines anderen Systems auf. Dann geschieht folgendes Merkwürdige: Die bewegte Uhr läuft gleichsweise langsamer als die Uhren in dem Raum, in dem sie sich bewegt. Ein schnell (z.B. in einem Raumschiff) bewegter Zwilling altert langsamer als sein unbewegter Bruder und kehrt noch als Jüngling zu diesem zurück, der mittlerweile alt und grau geworden ist. Wer rastet, der rostet!

Was wird hieran eigentlich als paradox empfunden? Zunächst verblüfft, daß die Uhren überhaupt verschieden schnell gehen, die eine schneller, die andere langsamer. Doch ist dieses Phänomen, so gewöhnungsbedürftig es auch sein mag, nicht wirklich paradox. Paradox wäre es, wenn der Zeitfortschritt, das Älterwerden, überhaupt aufhören oder umgekehrt würde. Das **Älterwerden** gehört zur Existenz der Dinge in der Zeit, und es ist sinnlos, danach zu fragen, „wie schnell“ die Zeit vergeht, weil eine solche Frage den Bezug zu einem maßgebenden anderen System voraussetzt. Doch bevor ein solcher Vergleich vorgenommen werden kann – und dafür wäre dann die Relativitätsphysik

⁹ Albert EINSTEIN / Leopold INFELD: *Die Evolution der Physik*. Deutsch von Werner PREUSSER, Hamburg: Rowohlt, 1995, 201f. – Vgl. auch das Zitat von Hermann WEYL s.o. bei Anm. 2.

zuständig –, ist das Vergehen der Zeit als **ein Grundphänomen** anzuerkennen, das von der Relativitätsphysik immer schon vorausgesetzt werden muß und von ihr nicht erklärt werden kann. Das existentielle Fortschreiten der Zeit ist objektiv, aber in einem anderen Sinne, als in der Relativitätstheorie von Objektivität die Rede ist. Dort wird nur das Invariante gegenüber Transformationen als objektiv gelten gelassen; doch auch der Bereich des existentiellen Geschehens ist für sich objektiv, d.h. ohne Bezug auf ein System, in dem es erscheint, unabhängig von der Frage, wie es relativ erscheint. So kann das Älterwerden zweifach betrachtet werden: in sich als existentielles Geschehen oder perspektivisch-relativ erscheinend in anderen Bezugssystemen. Wenn grundsätzlich zwischen dem **existentiellen Zeitfortschritt** eines Bezugssystems und der **perspektivischen Projektion** dieses Zeitfortschritts auf ein anderes System zu **unterscheiden** ist, dann gibt es a priori keinen Grund anzunehmen, daß sich das existentielle Geschehen des Zeitfortschritts überallhin identisch abbilden müsse. Eine Projektion ist eine Abbildung, so etwa wie ein Schattenwurf. Ein Laternenmast wirft je nach Stand der Sonne einen unterschiedlich langen Schatten auf die Straße. Die Länge des Schattens ist zwar abhängig von der Länge des Masts, aber mit dieser nicht identisch, denn sie ist ebenfalls abhängig vom Winkel der Sonneneinstrahlung. Die Länge des Masts ist das Original oder Urbild, die Länge des Schattens das Abbild. In ähnlicher Weise gilt: Die Zeit eines Systems bildet sich in andere Systeme verschieden ab, wirft sozusagen einen verschieden langen Schatten; Original- und Bildgröße sind nicht identisch; deren Verhältnis hängt vielmehr vom Verhältnis der Relativgeschwindigkeit zur Lichtgeschwindigkeit ab.

Die Asymmetrie im Uhrenparadoxon. Gibt man dies zu, daß Bildgröße und Originalgröße nicht übereinstimmen müssen, dann erscheint jetzt etwas ganz anderes erstaunlich und paradox, nämlich die Asymmetrie solcher Abbildung. Warum ist diese nicht wechselseitig? Schließlich ist es doch Ansichtssache, wer sich bewegt! Jeder der beiden Brüder kann sich als bewegt oder in Ruhe auffassen – darin besteht doch wohl das Relativitätsprinzip! Aber warum ist eindeutig der eine der jünger Gebliebene und der andere der schneller Gealterte?

Woher kommt also die Asymmetrie? – Die Antwort liegt darin, daß in Wahrheit doch nur einer von beiden sich bewegt, d.h. den Raum eines anderen Systems durchquert. Wir haben es im Beispiel nämlich nicht mit zwei ausgebreiteten Systemen zu tun, sondern nur mit einem; das andere System, das des raumfahrenden Zwilling, ist nur ein Punkt. In seinem System bewegt sich nichts, während sein Raumschiff sich durch das ausgebreitete System der Erde bewegt. Nur im System der Erde gibt es einen Weg und Be-Weg-ung. – Darauf könnte man einwerfen: Aber Bewegung ist doch relativ! So wie sich der Raumfahrer im System der Erde bewegt, so bewegt sich die Erde im System des Raumfahrers. Das stimmt zwar, ist aber in diesem Beispiel nicht relevant, denn wir

haben keine zweite Uhr im System des Raumfahrers, zu der die Erde hinliefe. (Hätten wir eine solche Uhr, dann würden wir freilich genau das Umgekehrte feststellen: Dann würde die sich bewegende Erde und mit ihr der zu Hause bleibende Zwilling jünger geblieben sein im Vergleich zu der Zeit, die an der Uhr dort gemessen würde.)

Man kann es auch so ausdrücken: Bewegen kann man sich nur im Raume eines anderen Systems, im eigenen System ist man an sein Hier quasi gefesselt. Man ist nämlich immer hier, ganz gleich, was man tut. Nur gegenüber einem anderen System gibt es Bewegung. Auch hierin sind Raum und Zeit verwandt: im eigenen System ist man unlöslich an das Hier und Jetzt gefesselt.

Analogie von Raum und Zeit. Die Analogie von Raum und Zeit ist aus philosophischer Sicht das eigentlich bedeutende Resultat der Speziellen Relativitätstheorie. Dieses Ergebnis läßt sich streng mathematisch aus der Endlichkeit der Invarianzgeschwindigkeit c herleiten. Wenn dieses Ergebnis nicht sogleich wieder auf die Hälfte reduziert wird, indem nur die Raumähnlichkeit der Zeit beachtet wird, dann kann die Relativitätstheorie der Philosophie höchst interessante Einsichten liefern: Raum und Zeit besitzen demnach je zwei Aspekte, die nur zusammen ihr ganzes Wesen ausmachen und die sie nach klassischer Auffassung getrennt voneinander repräsentieren: die Raumähnlichkeit begründet die Anwendbarkeit der Geometrie, die Zeitähnlichkeit weist auf eine existentielle Dynamik hin, die begrifflich schwer faßlich ist.

Die Relativitätstheorie hebt weder den Unterschied von Raum und Zeit noch den von Vergangenheit und Zukunft auf, sie reduziert auch die Zeit nicht einfach auf eine vierte Dimension. Sie macht nicht alles relativ, wie vielfach behauptet wird, sondern sie zeigt lediglich eine symmetrische Struktur der Raumzeit auf, die es ermöglicht, daß der existentielle Zeitfortschritt sich von verschiedener Perspektive je anders abbildet. Der Doppelaspekt von Raum und Zeit erfordert ein Denkmittel, das Niels Bohr in die Deutungsdebatte der Quantenphysik eingebracht hat, die Komplementarität. Auch in diesem Zweig der Physik fordern Paradoxa unser Nachdenken heraus.

2. Zwingt die Quantentheorie zur Preisgabe der Objektivität?

5 Schwierigkeiten. In der inzwischen fast 80jährigen Debatte sind es insbesondere die folgenden fünf Schwierigkeiten, die die Quantentheorie unverständlich oder unannehmbar erscheinen lassen: a) die Akausalität von Ereignissen, b) die Sprunghaftigkeit der Natur, c) Weder-Noch-Objekte, d) „telepathische Fähigkeiten“ beim EPR-Paradoxon, e) Unstimmigkeiten bei der Erklärung des Meßprozesses.

a) Im Jahre 1924 schrieb Einstein: „Der Gedanke, daß ein einem Strahl ausgesetztes Elektron aus freiem Entschluß den Augenblick und die Richtung wählt, in der es fort-

springen will, ist mir unerträglich. Wenn schon, dann möchte ich lieber Schuster oder gar Angestellter in einer Spielbank sein als Physiker.“¹⁰

b) Für das klassische Denken gilt das Axiom: „*Natura non facit saltus*.“ Erwin Schrödinger bemerkte 1926 zur Aufhebung dieses Prinzips durch die Kopenhagener: „Wenn es doch bei dieser verdammten Quantenspringerei bleiben soll, so bedaure ich, mich überhaupt jemals mit der Quantentheorie überhaupt abgegeben zu haben.“¹¹

c) Derselbe Schrödinger hat 1935 einen Aufsatz über „Die gegenwärtige Situation in der Quantenmechanik“¹² geschrieben, in dem er sein berühmtes Beispiel von einer später nach ihm benannten Katze vorstellte, die als Meßapparat dient, um den Zerfall eines Atoms anzugeben. Im Falle des Zerfalls wird die Katze getötet, sonst bleibt sie am Leben. Doch solange das „Meßgerät“ nicht abgelesen wird, sind die Zustände „tot“ und „lebendig“ beide möglich und nicht entschieden und der Theorie gemäß miteinander verschränkt; für die Katze würde dann gelten, daß sie weder tot noch lebendig ist, sondern daß „die lebende und die tote Katze zu gleichen Teilen gemischt oder verschmiert sind“.¹³

d) Das nach Einstein, Podolsky und Rosen benannte EPR-Paradoxon¹⁴ greift den Realitätsbegriff der Kopenhagener Deutung der Quantentheorie an, indem es die logischen Konsequenzen hinsichtlich der sog. verschränkten Objekte drastisch vor Augen führt und für absurd erklärt. Wenn z.B. zwei Photonen in einem einzigen Prozeß zugleich entstanden sind, so daß sie „eine gemeinsame Vergangenheit“ besitzen¹⁵, dann bilden beide in gewisser Weise nur ein einziges Objekt, das sozusagen größer ist als seine Teile und nicht in diese zerlegt werden kann, solange die Gesamtzustandsfunktion nicht reduziert wird. Danach können Lichtjahre weit entfernte Teilchen quantenmechanisch derart miteinander korreliert sein, daß die Bestimmung (Messung) einer Observablen hier zugleich eine Bestimmung der korrelierten Observablen dort bedeutet. Räumliche Trennung bedeutet dann nicht in jedem Fall unabhängige Realität.¹⁶ Einstein sprach in diesem Zusammenhang von absolut ungläubwürdigen »telepathischen« Fähigkeiten der

¹⁰ Albert EINSTEIN und Max BORN: *Briefwechsel 1916 bis 1955*. Reinbeck: Rowohlt 1969, 67.

¹¹ Werner HEISENBERG: *Der Teil und das Ganze. Gespräche im Umkreis der Atomphysik*. München: dtv 1969, 94.

¹² In: Die Naturwissenschaften 23 (1935) 807-812, 823-828, 844-849. Wieder abgedruckt in: Kurt BAUMANN / Roman U. SEXL: *Die Deutungen der Quantentheorie*. Braunschweig ³1987, 98-129.

¹³ Ebd., 108.

¹⁴ Albert EINSTEIN / Boris PODOLSKY / Nathan ROSEN: *Can Quantum-Mechanical Description of Physical Reality Be Considered Complete?* In: Physical Review 47 (1935) 777-780. Dt. Übersetzung in Kurt BAUMANN / Roman U. SEXL: *Die Deutungen der Quantentheorie*. Braunschweig ³1987, 80-86.

¹⁵ Jürgen AUDRETSCH: *Eine andere Wirklichkeit: Zur Struktur der Quantenmechanik und ihrer Interpretation*. In: Ders.: / Klaus MAINZER: *Wieviele Leben hat Schrödingers Katze? Zur Physik und Philosophie der Quantenmechanik*, Heidelberg-Berlin-Oxford: Spektrum Akademischer Verlag 1996, 17-61, 46.

¹⁶ Vgl. dazu Carl Friedrich von WEIZSÄCKER: *Aufbau der Physik*. München ³1994, 544-560.

Quantenobjekte.¹⁷ Für ihn kam deshalb nur in Frage, die quantentheoretische Beschreibung für unvollständig zu erklären und verborgene Parameter zu postulieren, die dafür sorgen, daß jede mögliche Eigenschaft jederzeit objektiv bestimmt ist. „Wir werden so gezwungen zu schließen, daß die durch die Wellenfunktionen vermittelte quantenmechanische Beschreibung der physikalischen Realität nicht vollständig ist.“¹⁸

e) Das haarigste Problem gibt bis heute der Meßprozeß auf. Dieser kann nämlich nach Niels Bohr nicht anders als in Begriffen der klassischen Physik beschrieben werden.¹⁹ Dieses Postulat wurde jedoch immer wieder als unbefriedigend und sogar als im Widerspruch zur Quantentheorie selbst stehend empfunden. Denn sobald ein Objekt gemessen wird, tritt es in Wechselwirkung mit dem Meßapparat, die zu einer Überlagerung der Zustandsfunktion sowohl des Objekts als auch des Meßgeräts selbst führt, so daß beide, wie schon gesagt, zu einem unzertrennlichen Ganzen verschmelzen. Wie werden beide nun aber wieder getrennt? Wie rechtfertigt sich der sog. „Schnitt“ zwischen dem Quantenobjekt und dem klassisch funktionierenden Meßgerät?

Quantentheorie als Vernunftkritik. Wir beanspruchen hier nicht, die genannten Schwierigkeiten sozusagen mit einem Federstrich zu lösen. Die folgenden Überlegungen verstehen sich vielmehr als ein Beitrag, die Probleme in einem neuen Licht zu sehen und dadurch angemessener zu beurteilen. Das neue Licht soll vom Vorschlag ausgehen, die Quantentheorie als Vernunftkritik anzusehen.²⁰ D.h. wir betrachten sie als

¹⁷ Brief an Cornelius Lanczos am 21. 3. 1942: „Es scheint hart, dem Herrgott in seine Karten zu gucken. Aber daß er würfelt und sich »telepathischer« Mittel bedient (wie es ihm von der gegenwärtigen Quantentheorie zugemutet wird), kann ich keinen Augenblick glauben.“ In: Albert EINSTEIN: *Briefe*. Aus dem Nachlaß hrsg. von Helen DUKAS und Banesh HOFFMANN. Zürich 1981, 65.

¹⁸ Einstein (s. Anm. 14), 86. Vgl. auch Albert EINSTEIN: *Autobiographisches*. In: Paul Arthur SCHILPP: *Albert Einstein als Philosoph und Naturforscher*. eine Auswahl. Braunschweig 1983, 1-35, 31f. – Vgl. Jürgen AUDRETSCH: *Die Unvermeidbarkeit der Quantenmechanik*. In: Klaus MAINZER / Walter SCHIRMACHER: *Quanten, Chaos und Dämonen. Erkenntnistheoretische Aspekte der modernen Physik*. Mannheim 1994, 80-105; Carsten HELD: *Die Bohr-Einstein-Debatte und das Grundproblem der Quantenmechanik*. In: Jürgen AUDRETSCH (Hrsg.): *Verschränkte Welt. Faszination der Quanten*. Weinheim: WILEY-VCH Verlag 2002, 55-75.

¹⁹ Vgl. Niels BOHR: *Diskussion mit Einstein über erkenntnistheoretische Probleme in der Atomphysik*. In: Paul Arthur SCHILPP (Hrsg.): *Albert Einstein als Philosoph und Naturforscher*. Braunschweig 1983, 84-119, 91: „Hierfür ist die Erkenntnis entscheidend, daß, wie weit auch die Phänomene den Bereich klassischer physikalischer Erklärung überschreiten mögen, die Darstellung aller Erfahrung in klassischen Begriffen erfolgen muß. Die Begründung hierfür ist einfach die, daß wir mit dem Wort »Experiment« auf eine Situation hinweisen, in der wir anderen mitteilen können, was wir getan und was wir gelernt haben, und daß deshalb die Versuchsanordnung und die Beobachtungsergebnisse in klar verständlicher Sprache unter passender Anwendung der Terminologie der klassischen Physik beschrieben werden müssen.“ – Vgl. Weizsäcker: *Aufbau* (s. Anm. 16), 510, 520-523.

²⁰ Vgl. Axel SCHMIDT: *Quantentheorie als Vernunftkritik*. In: Eberhard SCHOCKENHOFF / Max G. HUBER (Hrsg.): *Gott und der Urknall. Physikalische Kosmologie und Schöpfungsglaube* (= Grenzfragen Bd. 29). Freiburg: Alber, 2004.

Kombination von transzendentaler Erkenntniskritik und realer Physik, als Kritik der klassischen Physik durch Aufdeckung der Unhaltbarkeit ihrer (meta-physischen) Postulate. Zu diesen gehört u.a. der Anspruch, die physische Wirklichkeit mittels mathematischer Funktionsbegriffe objektiv zu repräsentieren, so daß gleichsam ein Bild von ihr gewonnen wird, das vermögend genug ist, auch ihre Veränderung festzuhalten und gleichsam zum Stehen zu bringen. Heidegger hat den Bildcharakter des wissenschaftlichen Wissens prägnant herausgestellt:

„Wir sind über etwas im Bilde. Das will sagen: die Sache selbst steht so, wie es mit ihr für uns steht, vor uns. Sich über etwas ins Bild setzen heißt: das Seiende selbst in dem, wie es mit ihm steht, vor sich stellen und es als so gestelltes ständig vor sich haben. ... Wo die Welt zum Bilde wird, ist das Seiende im Ganzen angesetzt als jenes, worauf der Mensch sich einrichtet, was er deshalb entsprechend vor sich bringen und vor sich haben und somit in einem entschiedenen Sinne vor sich stellen will. ... Vorstellen bedeutet: das Vorhandene als ein Entgegenstehendes vor sich bringen, auf sich, den Vorstellenden zu, beziehen und in diesen Bezug zu sich als den maßgebenden Bereich zurückzwingen. Wo solches geschieht, setzt der Mensch über das Seiende sich ins Bild.“²¹

Anders als die zeitliche Wirklichkeit, auf die das Wissen sich bezieht, sind die repräsentierenden Begriffe wesentlich zeitlos, ihr Gehalt untersteht keiner Veränderung. Die Zeit muß im Begriff gleichsam stillgelegt werden. Wenn etwas paradox ist, dann doch wohl zunächst diese Aufgabe der Physik, die sich ständig verändernde Wirklichkeit mit prinzipiell zeitlosen Begriffen zu beschreiben. Die Paradoxie wird aufgrund des Erfolgs der klassischen Physik freilich kaum noch empfunden, im Gegenteil: Jetzt erscheint die Aufdeckung der unaufhebbaren Inadäquatheit solchen Tuns durch die Quantentheorie paradox.

Möglichkeiten der Zukunft. Doch sehen wir genau zu, was durch die Quantentheorie eigentlich in Frage gestellt ist. Es ist nicht, wie manchmal gesagt wird, der Gesetzescharakter der physikalischen Prozesse, nicht der Begriff der Kausalität. Es geht vielmehr um das Verhältnis der mathematischen Repräsentation und der durch sie begriffenen Wirklichkeit. Nach der Quantentheorie bezieht sich die Zustandsfunktion nicht unmittelbar auf Einzelereignisse in der Zeit, sondern allein auf deren Möglichkeit bzw. Wahrscheinlichkeit. Anders gesagt: Die Quantentheorie zwingt dazu, Fakten und Möglichkeiten zu unterscheiden, was in der klassischen Physik gerade nicht geschieht. Genau durch die Gleichbehandlung von vergangenen Fakten und zukünftigen Möglichkeiten ging dort der Fluß der Zeit verloren, durch die quantentheoretische Kritik wird er wieder ein ernstzunehmendes physikalisches Phänomen. Carl Friedrich von Weizsäcker trifft den Punkt, wenn er schreibt:

Es wird „eine Physik als klassisch bezeichnet, wenn sie grundsätzlich ohne den Wahrscheinlichkeitsbegriff formuliert werden könnte. Im 11. Kapitel [vom *Aufbau der Physik*] nennen wir eine Physik klassisch, welche Möglichkeiten grundsätzlich wie Fakten beschreibt. Beides ist derselbe Grundgedanke, der im Bereich zeitlicher Logik natürlich ist; die zeitliche Logik ist ihrem Ansatz nach ‚nichtklassisch‘.“²²

Die klassische Physik läßt keinen Raum für unbestimmte Möglichkeiten, sie kennt keine alternativen Ausgänge eines Experiments für den Einzelfall, denn dieser ist durch die Ausgangsbedingungen gemäß den allgemeinen Gesetzen streng determiniert. Alternativ sind lediglich die Ausgangsbedingungen und abhängig davon dann auch die Versuchsergebnisse. Zu einem bestimmten Zeitpunkt gibt es für ein individuelles Objekt nur jeweils einen möglichen Zustandswert. Die Zukunft ist nicht offen, sondern liegt jetzt schon fest. – Genau diese Grundannahme ist nach der Quantentheorie zu revidieren: Ein Objekt besitzt zwar eine definierbare, zeitabhängige Zustandsfunktion, doch diese läßt für jeden zukünftigen Zeitpunkt eine Fülle von alternativen Meßwerten offen. Über das, was sich ereignen wird, ist deshalb nur ein Wahrscheinlichkeitswissen verfügbar. Mit anderen Worten: Zukünftige Alternativen sind nicht vorentschieden; sie werden erst im jeweiligen Augenblick entschieden, wenn etwa eine Messung vorgenommen wird. Der Ausgang einer einzelnen Messung ist nicht voraussagbar, er erscheint als Gesetzlosigkeit, als Zufall. Nur im statistischen Mittel herrscht strenge Gesetzmäßigkeit.²³

Unbestimmtheiten. Der Begriff der unentschiedenen Alternative wurde den Physikern durch verschiedene Experimente aufgezwungen; die Physik hat „die Waffen gestreckt“²⁴ angesichts nicht zu leugnender Unbestimmtheitsphänomene. „Nicht unsere Unkenntnis des inneren Getriebes, der inneren Komplikationen, ist es also, die uns die Wahrscheinlichkeit in die Natur hineinlegen läßt. Sie scheint der Natur vielmehr innewohnen. Irgend jemand hat es einmal so formuliert: »Nicht einmal die Natur selber weiß, welchen Weg das Elektron einschlagen wird.«“²⁵ Das Elektron, von dem hier paradigmatisch die Rede ist, läßt merkwürdigerweise die scheinbar selbstverständliche Eigenschaft vermissen, in allen seinen klassischen Zustandsgrößen vollständig bestimmt zu sein: Bestimmt man seinen Ort exakt, so verschwimmt sein Impuls, wird dieser scharf gemessen, so verliert man das Wissen über seinen Aufenthaltsort. Dies erklärt man gewöhnlich so, daß Quantenobjekte (also z.B. Elektronen oder auch Licht) sowohl Wellen- als auch Teilcheneigenschaften besitzen, die sich allerdings wechselseitig einschränken. Zum Teilchen gehört komplementär eine Welle, was so zu deuten ist,

²² Weizsäcker: *Aufbau der Physik* (s. Anm. 16), 289.

²³ Vgl. Richard P. FEYNMAN: *Vom Wesen physikalischer Gesetze*. Aus d. Amer. von Siglinde SUMMERER u. Gerda KURZ. München-Zürich 1962, 157-182.

²⁴ Ebd., 179.

²⁵ Ebd., 180.

²¹ Martin HEIDEGGER: *Die Zeit des Weltbildes*. In: Ders.: *Holzwege*. 7. durchgesehene Auflage. Frankfurt: Klostermann, 1994, 75-113, 89. 91.

daß dem Ort eines Teilchens ein Wellenzug (längs welchem das Teilchen auftreten kann) entspricht, der um so kürzer sein muß, je genauer der Ort bestimmt ist. Doch die Wellenlänge einer Welle ist um so unschärfer bestimmt, je kürzer ihr Wellenzug ist. Der Wellenlänge entspricht wiederum im Teilchenaspekt der Impuls, welcher mithin um so unschärfer bestimmt ist, je genauer der Ort festgelegt ist.²⁶ Quantitativ wird dieser Zusammenhang durch die Heisenbergsche Unbestimmtheitsrelation ausgedrückt. Das Mindestmaß der Unbestimmtheit zweier komplementärer Größen (z.B. Ort und Impuls) ist nicht Null, sondern eine endliche (wenn auch sehr kleine) Konstante, das Plancksche Wirkungsquantum h : je genauer die eine Größe bestimmt ist, um so unschärfer ist die andere. $\Delta p \cdot \Delta q \geq h$.

Der experimentell erwiesene Unterschied von entschiedenen und unentschiedenen Alternativen entspricht dem von Vergangenheit und Zukunft, welche somit objektiv unbestimmt und offen ist. Wie kommt es aber zur Entscheidung von Alternativen? Bei jeder Messung wird eine Alternative entschieden; noch allgemeiner könnte man sagen: jedes konkrete Ereignis entscheidet Alternativen. Ein Ereignis ist ein irreversibler Vorgang, z.B. die Schwärzung einer photographischen Platte. Im Ereignis geht eine bislang noch zukünftige Möglichkeit in ein präsentes Jetzt über und wird wirklich – ein echter Fortschritt in der Zeit. Was vorher offen war, ist nun festgelegt und bleibt ein für allemal ein Faktum. Hinsichtlich dieses Übergangs ist es angemessen, von Sprüngen in der Natur zu reden. Freilich darf man sich keine falschen Vorstellungen dazu machen, so als würde sich ein über den Raum ausgebreitetes Wellenpaket sprunghaft auf einen Punkt zusammenziehen. Eine solche Vorstellung beruhte auf einer *metábasis eis allogenos*, denn die durch die Wellenfunktion repräsentierte Möglichkeit ist nicht mit einem wirklichen Ereignis zu vergleichen, liegt gleichsam auf einer anderen Ebene.

Echte, nicht nur gedankliche Möglichkeit. Die Quantentheorie läßt einen Möglichkeitsbegriff wiedergewinnen, der streng vom Wirklichen unterschieden werden muß und doch wieder mehr besagt als blasse logische Denkbare. Dies erhellt daraus, daß das Wirkliche eindeutig sein muß, während das Mögliche unentschiedene Alternativen enthält. Das real Mögliche fällt nur dann nicht schlechthin mit dem Wirklichen zusammen, wenn von einem gegenwärtigen Zeitpunkt aus gesehen mehrere zukünftige Alternativen möglich sind. Von diesen wird nur jeweils eine realisiert, alle anderen bleiben unrealisiert. Damit aber mehrere Möglichkeiten real sein können, ist es erforderlich, daß das kausal wirkende Naturvermögen ein Moment des dynamischen Prozesses unbestimmt läßt, d.h. nur ein Teilmoment desselben bestimmt.

Insofern die Quantentheorie genau diese semantische Struktur besitzt, weicht sie von der klassischen Physik ab und deckt sie eine bislang unbemerkte Naivität der klassi-

²⁶ Vgl. Carl Friedrich von WEIZSÄCKER: *Zum Weltbild der Physik*. Stuttgart 1990, 285-287.

schen Semantik auf. Hinter der klassischen zweigliedrigen Semantik verbirgt sich der alte Gedanke der Adäquation von Begriff und Sache: Unsere Begriffe müßten grundsätzlich in der Lage sein, die Wirklichkeit in letzter Weise adäquat zu repräsentieren. Die Quantentheorie ersetzt diese naive Semantik durch eine dreigliedrige Zeichentheorie, wobei dem Begriff der Wahrscheinlichkeit eine tragende Vermittlungsrolle zukommt: Der Begriff (die Zustandsfunktion) repräsentiert nun nicht mehr unmittelbar die Sache, d.h. die realen Ereignisse, sondern lediglich deren Wahrscheinlichkeit.

Quantisierung. Die Quantentheorie ändert also den semantischen Bezug der klassischen Gesetzesaussagen ab. Diese Abänderung wird als Quantisierung einer klassischen Theorie bezeichnet; umgekehrt kann man klassische Theorien näherungsweise als Grenzfall aus der Quantentheorie gewinnen (Korrespondenzprinzip). Dies ist auch gar nicht anders denkbar, denn die klassische Physik hat sich ja bewährt, sie kann nicht völlig falsch sein. Sie muß sogar weitgehend richtig sein, denn sie allein liefert mit ihrer Semantik einen unmittelbaren Zugang zu den wirklichen Ereignissen, mit denen wir es nun mal zu tun haben, während die Quantentheorie nur über Möglichkeiten handelt.²⁷

Fassen wir zusammen: Reale Möglichkeit von Alternativen impliziert Unbestimmtheit des Zustands und seiner zukünftigen Weiterentwicklung hinsichtlich aller seiner Möglichkeiten. Ein Zustand hat immer alternative Möglichkeiten, von denen einige in Zukunft realisiert werden, während die Mehrzahl unverwirklicht bleibt. (Für ein freies Wesen ist das selbstverständlich, für ein physikalisches Objekt ist es höchst erstaunlich.) Das maximale Wissen, das von einem Objekt gewonnen werden kann, besteht im Wissen über all seine Möglichkeiten und damit über die Wahrscheinlichkeit des Vorliegens gewisser Meßwerte. Die Möglichkeiten entwickeln sich gemäß einer deterministischen Funktion (Zustandsfunktion), d.h. über sie gibt es sicheres Wissen und Vorauswissen, nicht jedoch über die zukünftigen Einzelereignisse. Über diese gibt es nur ein Wissen statistischer Art.

Keine verborgenen Parameter. Warum ist das maximale Wissen auf die reale Möglichkeit beschränkt? Warum kann es grundsätzlich kein Wissen über die zukünftige Wirklichkeit (der Einzelereignisse) geben? Anders gesagt: Warum kann es keine verborgenen Parameter²⁸ geben, die auch die Wirklichkeit restlos bestimmen? Verborgene

²⁷ Vgl. Thomas GÖRNITZ / Brigitte GÖRNITZ: *Der kreative Kosmos. Geist und Materie aus Information*. Heidelberg-Berlin: Spektrum Akademischer Verlag, 2002, 97-114.

²⁸ Die Idee verborgener Parameter besteht in der Ansicht, daß die quantentheoretische Beschreibung der Zustände unvollständig sein müsse und durch (bisher) verborgene Parameter zu ergänzen sei; dann wäre der Indeterminismus nur Ausdruck unseres unvollständigen Wissens. Aufgrund der Experimente von A. ASPECT und P. GRANGIER ist definitiv bewiesen, daß zumindest Theorien lokaler verborgener Parameter falsch sind, denn sie müssen den sog. Bellschen Ungleichungen genügen, welche aber im Experiment verletzt werden. – Vgl. Max JAMMER: *The Philosophy of Quantum Mechanics. The Interpretations of Quantum Mechanics in Historical Perspective*. New York – London – Sydney – Toronto, 1974,

heißen diese mutmaßlichen Parameter, weil wir sie (noch) nicht kennen, aber prinzipiell kennen sollten. Wodurch aber sollten die gesuchten Parameter charakterisiert sein? Damit wird die grundsätzliche Frage aufgeworfen: Was heißt Wissen? Zu ihrer Beantwortung ziehen wir einige überraschende Resultate mittelalterlicher Vernunftkritik heran.

Individualität und Allgemeinheit. Begreifen heißt: eine Sache unter einem Begriff, als etwas begreifen. In dieser Kurzerklärung kommt eine Differenz von Sache und Begriff zum Ausdruck, die sich als unaufhebbar erweisen läßt. Wissen durch einen Begriff ist vermitteltes Wissen, kein unmittelbares Einssein mit der gewußten Sache. Die Sache ist dem Wissenden präsent nur durch den repräsentierenden Begriff. Dieser stellt einen Zug an der Sache vor, der prinzipiell wiederholt vorkommen kann. Während die Sache einmalig ist, individuell, ist der Begriff geeignet, Vieles unter seine Einheit zu stellen, er ist allgemein. Für das griechische Denken zählt das Individuum nur als das Einzelne, Partikuläre, d.h. als bloß unvollkommenes Teilexemplar des allgemeinen Wesens, welches somit einen klaren Vorrang hat vor dem Einzelnen, Individuellen. Daß es überhaupt eine Vielzahl von individuellen Exemplaren einer allgemeinen Form geben kann, liegt an der Materie, welche die Form aufnimmt, sie dabei konkretisiert, besonders und stückweise im Raum zerstreut. Von dieser Vorstellung konnte sich bekanntlich nicht einmal Thomas von Aquin entschieden lösen. Erst Johannes Duns Scotus legte eine kühne in sich geschlossene Neukonzeption vor, die derart erhellend ist, daß sie auf die hier aufgeworfenen Probleme Licht zu werfen imstande ist.²⁹

Die Schwäche des Begriffs. Pointiert gesagt, kehrt Scotus das Verhältnis von Allgemeinem und Individuellem schlechthin um: Nicht das Individuum ist Teil des Allgemeinen, sondern dieses Teil des Individuums. Das Individuum ist das Ganze, seine Wesensnatur nur ein (freilich nicht real abtrennbarer) Teil. Diese revolutionäre Neubestimmung geht mit einer durchgreifenden Kritik der begrifflichen Erkenntnis zusammen. Die Differenz von Sache und Begriff wird von Scotus in äußerst erhellender Weise so bestimmt: Während die Sache selbst einmalig und inkommunikabel ist, ist der vermittelnde Begriff als washeitlicher allgemein und kommunikabel. Daraus folgt sogleich, daß Begriffe das Individuelle weder unmittelbar noch ganz bestimmen können, sondern nur unter einem allgemeinen Gesichtspunkt, und dieser trifft notwendigerweise lediglich einen Teilaspekt des Ganzen. Abstrakt ausgedrückt: Der Begriff enthält grundsätzlich eine Indifferenz gegenüber der letzten individuellen Bestim-

mung, die kein Was mehr sein kann. Das sieht man daran, daß das, was man durch einen Begriff ausdrücken kann, beliebig oft exemplifiziert werden kann. Man kann dies nicht umgehen durch Hinzufügung weiterer begrifflicher Differenzbestimmungen, denn auch ein hochkomplexes Was setzt aus sich keinen Widerstand gegen mehrfaches Auftreten; es bleibt dazu stets indifferent. Wesenhaftes ist im Verhältnis zu dem individuell Existierendem indifferent.

Scotus zieht daraus die Konsequenz, daß die individuelle Einheit einer Sache auf ein Prinzip zurückgehen muß, das nicht begrifflich repräsentierbar, das kein Was ist wie die spezifische Differenz, sondern eine Entität, deren Vollkommenheit die Begriffsmöglichkeit übersteigt. Daß der Begriff die einmalige Besonderheit des Individuums nicht zu fassen bekommt, ist nicht Folge der vereinzelnden Materie, sondern seine prinzipielle Schwäche. Die letzte Differenz eines individuell Existierenden kann nicht durch einen Begriff bestimmt, sondern nur negativ als „*haecceitas*“ postuliert werden.

Vollständigkeit und Unvollständigkeit des quantentheoretischen Wissens. Die faszinierende Konzeption, die Scotus schwerpunktmäßig an der statisch betrachteten Natur im Verhältnis zur *haecceitas* entwickelt hat, läßt sich unschwer auch auf dynamische Naturvorgänge anwenden und so für die Deutung der Quantentheorie fruchtbar machen. Wir können jetzt sozusagen mit Händen greifen, warum die Theorie der verborgenen Parameter auf einem Selbstmißverständnis der Physik als Wissenschaft beruht. Ziel der klassischen Physik war es, das Einzelobjekt durch eine vollständige Beschreibung seines Zustands festzustellen und seine individuelle Bewegung in Raum und Zeit mittels allgemeiner Begriffe exakt zu bestimmen und somit vorauszusagen, d.h. die zeitliche Veränderung im unzeitlichen Begriff stillzulegen. Von der scotischen Metaphysik aus gesehen ist es klar, daß dieses Unterfangen scheitern muß, weil sich die Individualität vor dem begrifflichen Zugriff gleichsam versteckt. Die quantenmechanische Zustandsfunktion gibt in der Tat das maximal mögliche Wissen vom Objekt wieder, verstanden als begriffliches Wissen. Andererseits erfaßt der die gesetzliche Dynamik bestimmende Begriff wie jeder Naturbegriff nur ein Teilmoment des Wirklichen, nämlich die indifferente Natur des Objekts, im Falle eines physikalischen Prozesses dessen weitere Entwicklungsmöglichkeit. Damit sind die letzten Daseinsdifferenzen indessen nicht erfaßt. Dies ist gemäß scotischer Metaphysik auch nicht anders zu erwarten, derzufolge es eine prinzipielle und unaufhebbare Schwäche des Begriffs ist, mittels der ihm eigenen spezifischen Einheit die individuelle Einheit nicht umschließen und so ihrer Singularität entreißen zu können. Man könnte die begrifflich nicht umschließbaren Daseinsdifferenzen durchaus „verborgene Parameter“ nennen, wenn man das Mißverständnis vermeiden könnte, es handelte sich dabei um Begriffe, die sich wie ein Bild von der Sache machen und dann von ihr abheben ließen und mittels derer

302-339; Audretsch: *Die Unvermeidbarkeit der Quantenmechanik* (s. Anm. 18). – Albert Einstein konnte sich zeit seines Lebens nicht damit abfinden, daß „Gott würfelt“. Vgl. Bohr: *Diskussion mit Einstein* (s. Anm. 19), 105ff; Weizsäcker: *Aufbau* (s. Anm. 16), 513; Dieter HATTRUP: *Einstein und der würfelnde Gott*. Freiburg: Herder, 2001.

²⁹ Vgl. Schmidt: *Natur und Geheimnis* (s. Anm. 4), 235-308, 365-377.

ein entsprechend informierter Geist (ein Laplacescher Dämon) die Zukunft berechnen könnte.

Nur unter der falschen Voraussetzung, daß alle, auch die letzten individuellen Differenzen durch zeitlose Begriffe repräsentierbar sein müßten, kann es erstaunen, daß ein physikalisches Gesetz über zukünftige Ereignisse nur in Form von Möglickeitsaussagen Auskunft gibt, d.h. durch die Aufstellung von Alternativen. Wenn indessen der Begriff unvermeidlich eine letzte Indifferenz behält gegenüber dem, was wirklich ist bzw. wird, dann ist die Heisenbergsche Unbestimmtheitsrelation nichts weiter als der quantitative Ausdruck der Unmöglichkeit, das Präsentische begrifflich restlos zu fixieren. Ja, man könnte so weit gehen, zu sagen: Die Unbestimmtheitsrelation hätte eigentlich schon anhand der angedeuteten metaphysischen Überlegungen gefunden werden können, zumindest ihre qualitative Struktur.

Paradoxa? Nach dem Erörterten ist die Unbestimmtheit kein Paradox, sondern die Grundlage dafür, daß unsere indifferenten Begriffe keine Fiktionen sind, indem sie uns Möglichkeiten vorgaukeln, wo keine sind, sondern an der Natur der Dinge Anhalt haben. Die Natur, soweit sie durch Gesetze begriffen werden kann, ist zu Alternativen indifferent. Der klassisch unverständliche Kollaps der Zustandsfunktion zeigt demgemäß nur, daß selbst unsere genauesten Begriffe das Wirkliche nicht völlig adäquat repräsentieren und darum auch je neu an den wirklichen Ereignissen ausgerichtet werden müssen. Diese grundsätzlich unvorhersehbaren Ereignisse geben Zeugnis von der außerbegrifflichen Differenz des Objekts, das seine Individualität gewöhnlich hinter einer kollektiven Existenz verbirgt und nur sporadisch in unableitbaren Wechselwirkungen aufblitzen läßt.

Natur und Freiheit. Darum stellen die Sprunghaftigkeit des Naturgeschehens und dessen scheinbare Akausalität nur scheinbar ein Problem dar, sie weisen lediglich auf die Schwäche der begrifflich und beweisend vorgehenden Wissenschaft hin. Im sog. Quantensprung offenbart sich die Inadäquatheit des allgemeinen Begriffs für den individuellen Prozeß. Die prinzipielle Unvorhersehbarkeit zukünftiger individueller Ereignisse ist im übrigen die Voraussetzung für das freie Wirken von Personen in Raum und Zeit. Freilich muß klar sein, daß der quantentheoretische Indeterminismus nicht dasselbe wie Freiheit ist, sondern nur negativ das Fehlen einer (letzten) Bestimmung besagt. Atome sind nicht frei, auch wenn ihre Bewegung nicht völlig determiniert ist. Der Indeterminismus ist aber eine Vorbedingung der Freiheit. Er ist Ausdruck der Offenheit der Zukunft: Von der Gegenwart aus gesehen, sind immer mehrere Alternativen real möglich. Ohne eine solche Offenheit von Alternativen könnte die personale Freiheit nur sich selbst bestimmen, nicht aber eine von ihr verschiedene Sache, die ja dann ohne sie bereits vollständig bestimmt wäre. In Wahrheit ist es jedoch so, daß die selbstbestimmende Freiheit sich zu den ihr vorgegebenen Alternativen verhält und sie

entscheidet. Sie wirkt mithin wie der gesuchte „verborgene Parameter“ und bleibt wie dieser unobjektivierbar und unableitbar. In diesem Sinn argumentiert auch der Physiker Thomas Görnitz: Wenn die Zukunft deterministisch festgelegt wäre, dann wäre Freiheit Illusion. Die „Beschränkung auf die klassische Physik erzwingt die totale Festlegung des zeitlichen Ablaufs aller der damit beschriebenen Vorgänge.“³⁰ Er weist wiederholt darauf hin, daß es die mathematische Struktur ist, die darüber entscheidet, ob „objektiver Zufall“ möglich oder ausgeschlossen ist.³¹ Nur eine physikalische Theorie, deren mathematische Struktur objektiven Zufall zuläßt, ist mit dem Freiheitspostulat zu vereinbaren.

Verschränkte Objekte. Die merkwürdige Quanteneigenschaft schließlich, daß sich Objekte miteinander verschränken können, dürfte das dunkelste Geheimnis der Quantentheorie sein. Und die Frage, warum und wie korrelierte Objekte (etwa bei der Messung) wieder getrennt werden können, bleibt gewiß ein Rätsel, das indessen durch die angestellten Überlegungen zum Teil gelöst werden kann. Die Objektverschränkung entsteht durch die Interferenz von Wahrscheinlichkeitsamplituden, und sie vergeht unmittelbar mit dem irreversiblen Übergang des bislang Möglichen in die faktische Wirklichkeit. Zukünftige Möglichkeiten verschränken sich und konstituieren ein ausgedehntes Präsens mit nur virtuellem Zeitverlauf – solange, bis durch ein Ereignis entschieden ist, welche der Möglichkeiten Faktum wird. Das Frappierende daran ist wohl vor allem, daß auch den Möglichkeiten mitsamt ihrer Verschränkbarkeit Realität zukommt, die sich in den merkwürdigsten Experimenten auch makroskopisch zur Geltung bringt. So führen z.B. die erst seit einigen Jahren realisierbaren extrem gekühlten Bose-Einstein-Kondensate die nur quantentheoretisch verständliche Welleneigenschaft der Materie vor Augen. Die reale Möglichkeit bildet gleichsam eine Schicht am Ganzen des Wirklichen, die mit ihr gegebene Unbestimmtheit ist ein echtes Teilmoment jeden Objekts, zu dem sich komplementär dessen Individualbestimmung gesellt, die indessen nicht objektiviert werden kann. Die Komplementarität ist weit weniger paradox, als man zunächst meinen könnte, denn sie erklärt, was in der klassischen Semantik nur vorausgesetzt wird, aber eigentlich rätselhaft bleibt: daß das individuelle Objekt durch allgemeine Begriffe bestimmt werden kann. Es hat eben etwas von beidem: dank seiner Indifferenz (Unbestimmtheit) fügt es sich dem allgemeinen Begriff, dank seiner sprunghaften Daseinsfreude entwindet es sich demselben und erweist sich als überraschend inadäquat, echt singulär, widerständig und darum ganz sicher nicht-fiktiv.

³⁰ Thomas GÖRNITZ / Brigitte GÖRNITZ: *Der kreative Kosmos. Geist und Materie aus Information*. Heidelberg-Berlin: Spektrum Akademischer Verlag, 2002, 341.

³¹ Ebd., 12, 25, 96, 148, 344, 348, 376.