

Alle Rechte beim Urheber.

Abdruck nur gegen Belegexemplar, Honorar plus 7% MwSt.

### **Materieblitze in einer Quantentheorie ohne Beobachter**

Das Schicksal der modernen Physik ist untrennbar verbunden mit dem des Experiments. Im Ausgang von Francis Bacon trafen die Naturforscher seit dem 16. Jahrhundert ihre Aussagen über die Wirklichkeit in der Folge des Experiments, das als neues Instrument gefeiert wurde. In der Natur sah man fortan quantifizierbare Kräfte wirken, ob nun die Gravitation in Pisa oder den Luftdruck in Magdeburg.

Im ausgehenden 19. Jahrhundert war es dann Heinrich Hertz, der die formalen Gleichungen in den Vordergrund rückte und von einer inhaltlichen Beschreibung der Wirklichkeit durch Kräfte abriet. Dieser Ratschlag kam den Quantenphysikern recht gelegen, die mit noch unanschaulicheren Dingen als Kräften, wie beispielsweise Materiewellen, zu kämpfen hatten. Die Kopenhagener Schule um Niels Bohr zog sich denn ganz aus der inhaltlichen Wiedergabe der Wirklichkeit zurück und interpretierte die der Quantenmechanik zugrunde liegende Wellenfunktion als bloßes Hilfsmittel zur Berechnung der Wahrscheinlichkeiten von Messergebnissen.

Kann aber etwas gemessen werden, dessen Beschaffenheit unbeachtet bleibt? Dagegen argumentiert Roderich Tumulka. Der Mathematiker von der Universität Tübingen weist darauf hin, dass sich bestimmte Gleichungen nur vor dem Hintergrund einer ausgearbeiteten Ontologie anwenden lassen. Erst wenn geklärt sei, ob das Universum von beispielsweise Wellen oder Teilchen bevölkert ist, könne deren Bewegung in Raum und Zeit mathematisch erfasst werden. Als Beleg dafür führt Tumulka ein von ihm entwickeltes Modell an, das unter der Annahme einer Ontologie, die Materie als Blitze begreift, eine Brücke schlagen könnte zwischen Relativitätstheorie und Quantenmechanik.

Zwischen beiden Theorien klafft eine Erklärungslücke dafür, ob und unter welchen Bedingungen ein physikalisches Ereignis ein anderes Ereignis beeinflussen kann. Relativistisch ist es ausgeschlossen, dass ein Ereignis schneller als mit Lichtgeschwindigkeit mit einem anderen in Wechselwirkung tritt. Beide Ereignisse müssen sich dazu mit einem Lichtstrahl verbinden lassen. Was sich außerhalb des raumzeitlichen

Alle Rechte beim Urheber.

Abdruck nur gegen Belegexemplar, Honorar plus 7% MwSt.

Lichtkegels befindet, kann nicht mit einem Ereignis wechselwirken.

Quantenmechanisch dagegen ist eine solche lokale Korrelation von Ereignissen nicht erforderlich. So wird die Aufenthaltswahrscheinlichkeit eines Teilchens über dessen Wellenfunktion angegeben. Es befindet sich zu einer bestimmten Zeit mit unterschiedlicher Wahrscheinlichkeit an verschiedenen Orten. Wird aber der Ort des Teilchens gemessen, kollabiert die Wellenfunktion: die Aufenthaltswahrscheinlichkeit des Teilchens an allen anderen Orten wird gleichzeitig mit der Messung Null. Dies ist auch für Messungen der Fall, die jenseits der relativistischen Grenze, die von der Lichtgeschwindigkeit markiert wird, vorgenommen werden.

Zur Erklärung dieser quantenmechanischen Nichtlokalität hat David Bohm 1954 vorgeschlagen, die Wahrscheinlichkeiten als objektive Naturvorgänge zu begreifen. Er entwarf dafür eine deterministische Mechanik, dergemäß sich Teilchen entlang von Bahnen bewegen, die durch ein Bewegungsgesetz anhand der Wellenfunktion festgelegt sind. Über versteckte Parameter, die experimentell nicht messbar sind, stünden alle Teilchen in einem ständigen Informationsaustausch über ihre Zustände. Damit gilt die Bohmsche Mechanik zwar als nichtlokal, allerdings decken sich ihre Vorhersagen nur mit der nichtrelativistischen Quantenmechanik.

Einen anderen Ansatz wählten Giancarlo Ghirardi, Alberto Rimini und Tullio Weber 1986. Sie entwarfen ein Modell der Quantenmechanik mit spontaner Lokalisierung. Darin sind die Teilchen Gegenstand von zufälligen Lokalisierungsprozessen in einer kontinuierlichen Materieverteilung, wobei die Lokalisierungen in einer angepassten Frequenz erfolgen. Bei einer geeigneten Wahl der Parameter für die quantenmechanischen Lokalisierungsgleichungen lässt sich die Mechanik starrer Körper in eine stochastische Mechanik mit klassischen Merkmalen überführen. Einen physikalischen Grund für die jeweilige Lokalisierung haben die italienischen Wissenschaftler nicht in Betracht gezogen, weshalb sie die Lokalisierung spontan nannten.

Doch auch das Modell der Quantenmechanik mit spontaner Lokalisierung entzieht sich einer relativistischen

Alle Rechte beim Urheber.

Abdruck nur gegen Belegexemplar, Honorar plus 7% MwSt.

Verallgemeinerung, weil sich keine physikalische Größe angeben lässt, die bei der Umrechnung der Koordinaten von gegeneinander bewegten Bezugssystemen mit kontinuierlicher Materieverteilung unverändert bleibt. Roderich Tumulka's Brücke besteht nun darin, dass er in seinem Modell, das auf der Quantenmechanik mit spontaner Lokalisierung aufbaut, zum einen die relativistische Wellenfunktion verwendet und zum anderen in Gleichungen für den spontanen Kollaps der - nun relativistisch ausformulierten - Wellenfunktion eine Ontologie der Materieblitze beschreibt. Dabei ergibt sich die Relativität des Modells des Tübinger Mathematikers aus ontologischen Überlegungen.

Der Materieblitz, wie ihn John S. Bell 1964 beschrieb, ist ein Teilchen, das sich nicht in festen Bahnen bewegt, sondern immer nur für einen Augenblick existiert: Es blitzt kurz auf und verschwindet dann wieder. Materieblitze sind Zufallsentitäten, deren Weg in der Raumzeit nicht linear verläuft; die Blitzmuster sind zufällig, genügen aber einer bestimmten Wahrscheinlichkeitsverteilung. Für Tumulka sind die Blitze das raumzeitliche Ergebnis des Algorithmus, der durch das Kollapszentrum der Wellenfunktion bestimmt wird. Mithilfe einer so verstandenen Blitz-Ontologie der Wirklichkeit, die sich nicht scheibchenweise in Raum-Zeit-Einheiten zerlegen lässt, gelingt es, physikalische Größen bei der Transformation in unterschiedliche Bezugssysteme zu bewahren, sofern diese sich maximal mit Lichtgeschwindigkeit zueinander bewegen.

Dafür sind aber fundamentale Eingriffe in die Begrifflichkeit von Naturgesetzen erforderlich. Durch den Einbau des Zufalls werden dieselben zu stochastischen Gesetzen. Sie sind Ausdruck der Wahrscheinlichkeitsverteilung von Blitzen in der Raumzeit. Dadurch können Blitze an entfernten Orten nichtlokal miteinander korreliert sein, ohne dass die Relativitätstheorie dadurch verletzt würde - vorausgesetzt, man kann die Materie als aufblitzende Teilchen akzeptieren. „Entweder also wird die Relativitätstheorie gemeinhin falsch interpretiert oder die Quantenmechanik ist nicht exakt“, folgert Tumulka.

Folgt man seiner Interpretation der Relativitätstheorie, dann lösen Tumulka's Gleichungen die Wahrscheinlichkeit dafür, wo der nächste Blitz auftreten wird, wenn die vorherigen Blitze bekannt sind. Außerdem gibt sein Modell mathematisch darüber

Alle Rechte beim Urheber.

Abdruck nur gegen Belegexemplar, Honorar plus 7% MwSt.

Auskunft, wie beim Auftreten eines Blitzes die Wellenfunktion kollabiert. Ersetzt man in den Gleichungen den Grenzwert der Lichtgeschwindigkeit durch Unendlich, erhält man die Gleichungen der Quantenmechanik mit spontaner Lokalisierung. Die formale Kohärenz mit etablierten Theorien stellt den jungen Forscher aus Tübingen jedoch noch nicht zufrieden. Ohne Ontologie wird man in der modernen Physik so wenig auskommen, wie ohne das Experiment, ist er überzeugt. Sein Argument: „Mit einer anderen Ontologie als der der Materieblitze wäre mein Modell nicht relativistisch!“