

Im Doppelspaltexperiment steckt die ganze Palette der Interpretationen

Das Doppelspaltexperiment liefert im Sinne von Erfahrungstatsachen eine ganze Reihe von Eigenschaften gleichartig präparierter Mikroobjekte. Die gleichartige Präparation der Mikroobjekte lenkt den Blick auf Quantenphänomene als stochastische Phänomene. Die Nähe zu einer Ensemble-Deutung ist groß, schließt aber andere nicht aus, sofern man sich an die experimentellen Befunde als kleinster gemeinsamer »interpretationsarmer« Nenner hält. Interpretationsfrei sind weder Befunde noch eine Auflistung von Eigenschaften. So wird man frühzeitig an die Frage herangeführt, ob sich die Wellenfunktion auf einzelne Mikroobjekte oder nur auf ein Ensemble von Mikroobjekten bezieht.

Das Doppelspaltexperiment lässt viele Interpretationen zu. Bereits in einer frühen Phase lassen sich zugrunde liegende erkenntnistheoretische Positionen erarbeiten. Didaktisch vordringlich ist es, den Schülern bewusst zu machen, dass bei jedem Herangehen an die »objektiven« Eigenschaften des Verhaltens gleichartig präparierter Mikroobjekte bereits implizit erkenntnistheoretische Positionen mitschwingen, die jeder meistens unbewusst mit einbringt.

Didaktisch entscheidend ist die Anbindung an die *eigenen* metaphysischen Hintergrundüberzeugungen. Dies geschieht im folgenden Vorschlag durch Vorlage von 28 verschiedenen Aussagen zum Doppelspaltexperiment. Es handelt sich dabei bis auf wenige Ausnahmen um Zitate berühmter Physiker, meistens Nobelpreisträger. Die Zitate sind allerdings auf das Doppelspaltexperiment »umgeschrieben«. Durch diese Methode wird einerseits die Seriosität der verschiedenen erkenntnistheoretischen Positionen unterstrichen und andererseits die Zahl der Interpretationen begrenzt. Mit diesem unterrichtsmethodischen Vorgehen wird Folgendes erreicht:

- Die Schüler haben eine konkrete Vorlage.
- Sie können ihre eigene erkenntnistheoretische Position markieren und auf Inkonsistenzen hin überprüfen.
- Egal wie sie sich erkenntnistheoretisch bekennen, sie sind in »guter Gesellschaft«.
- Es entsteht ein breites Spektrum an Interpretationen, ohne vorzeitige Einengung.
- Es wird eine lebendige Diskussion ermöglicht.
- Es wird sich mit dem Doppelspaltexperiment aus einer anderen Perspektive heraus beschäftigt, nämlich der erkenntnistheoretischen. Dadurch wird der Intensitätsgrad der Beschäftigung mit dem Doppelspaltexperiment erhöht.

Nach dem individuellen Ankreuzen wird auf einer Folienkopie eine Strichliste aufgenommen, wodurch ein Bild der Positionen der gesamten Klasse deutlich wird. Anschließend können die verschiedenen Aussagen klassifiziert werden (s. u.). Vor jede Aussage kann der entsprechende Buchstabe gestellt werden. Der Vergleich mit den eigenen Markierungen schafft Identifikationen mit den verschiedenen Interpretationsrichtungen.

Aussagen zum Doppelspaltexperiment

- 1.Im Doppelspaltexperiment ist das Elektron ein Teilchen und eine Welle.
- 2.Im Doppelspaltexperiment erscheint uns das Elektron wie ein Teilchen und wie eine Welle.
- 3.Im Doppelspaltexperiment verhält sich das Elektron wie ein Teilchen und wie eine Welle. Es ist keines von beidem.
- 4.Wenn ich ein Ensemble von Elektronen so und so präpariere, dann erscheinen sie im Doppelspaltexperiment als Teilchen oder als Welle.
- 5.Das Doppelspaltexperiment zeigt uns den Wellencharakter und den Teilchencharakter der Elektronen.
- 6.Mangels Information weiß ich nicht, was das Elektron »an sich« ist. Die Realität des Elektrons verbirgt sich meiner Erkenntnis.
- 7.Das Doppelspaltexperiment sagt uns nicht, wie die Natur des Elektrons ist, sondern sagt uns, was wir über die Natur des Elektrons sagen können.
- 8.Wir wissen nicht, was ein Elektron ist, und wir werden es nicht wissen.
- 9.Was das Elektron ist, interessiert mich nicht. Mich interessiert, was im Doppelspaltexperiment »hinten herauskommt«.
- 10.Die augenblickliche Position eines Elektrons von der Quelle zum Schirm ist prinzipiell unbestimmt.
- 11.Die augenblickliche Position eines Elektrons von der Quelle zum Schirm ist nicht prinzipiell unbestimmt, sondern dem Experimentator unbekannt.
- 12.Die Quantenmechanik beschreibt die physikalische Wirklichkeit des Doppelspaltexperiments unvollständig. Die Theorie enthält verborgene Parameter.
- 13.Ein Elektron ist ein Elektron, wenn es gemessen wird. Ein Phänomen ist erst ein reales Phänomen, wenn es ein beobachtetes Phänomen ist. Die Beobachtung schafft erst die Realität.
- 14.Sie fragen nach der Realität des Elektrons im Doppelspaltexperiment? Es gibt keine tiefere Realität.
- 15.Das Elektron im Doppelspaltexperiment ist ein gewöhnliches Objekt wie ein Apfel. Die Quantenrealität ist dieselbe wie die Apfelrealität.

16. Ich als Beobachter mit Bewusstsein entscheide, was ich auf dem Schirm sehe, entscheide über die Realität der Elektronen. Mein Bewusstsein erzeugt die Realität.
17. Das Elektron an sich gibt es gar nicht. Es ist Bestandteil der experimentellen Situation.
18. Wenn das Elektron durch das Doppelspaltexperiment zum Schirm fliegt, muss es doch einen ganz bestimmten Weg nehmen; auch wenn ich ihn nicht bestimmen kann.
19. Das Elektron muss doch einen bestimmten Weg laufen, unabhängig, ob ich ihn beobachte oder nicht.
20. Das Elektron läuft nicht einen bestimmten Weg, sondern nimmt notwendig alle ihm offen stehenden Wege (= Möglichkeiten, auch Zick-Zack-Wege) gleichzeitig wahr.
21. Sie fragen: Wo entscheidet das Elektron, ob es sich als Welle oder als Teilchen verhält? Ich antworte: nirgends.
22. Über die Natur des Elektrons beim Doppelspaltexperiment kann ich keine Aussagen machen. Ich kann nur Aussagen über das stochastische Verhalten vieler gleichartig präparierter Elektronen machen.
23. Die Erscheinungen im Doppelspaltexperiment sind genauso wirklich wie im täglichen Leben; aber die Elektronen sind es nicht. Sie gehören der Welt der Möglichkeiten an und nicht der Welt der Dinge und Tatsachen.
24. Die Elektronen im Doppelspaltexperiment sind reale Teilchen, werden aber von einer realen unsichtbaren Welle durch die Apparatur geführt.
25. Unmittelbar vor dem Auftreffen auf dem Schirm im Doppelspaltexperiment ist das Elektron nicht in eine bestimmte Richtung ausgerichtet. Vor dem Aufprall ist es überall hin ausgerichtet.

26. Jedes Elektron geht nur durch einen Spalt, ist sich aber der Existenz und des Ortes des anderen Spaltes bewusst, wenn dieser geöffnet ist und wählt verschiedene Richtungen, die zum Interferenzmuster beitragen.
27. Über die Natur des Elektrons habe ich mir nie Gedanken gemacht.
28. Ich begreife das Verhalten der Elektronen im Doppelspaltexperiment nicht.

Erkenntnistheoretische Positionen

- K: *Kopenhagener*: Es gibt keine tiefer liegende Realität.
 R: *Realisten*: Es existiert eine vom Beobachter unabhängige Realität.
 B: *Bewusstseinsrealisten*: Bewusstsein schafft Realität.
 H: *Platoniker*: Es gibt eine doppelte Welt, die des Möglichen und des Faktischen.
 N: *Naivrealisten*: Die Realität ist das was wir wahrnehmen.
 P: *Positivisten*: Nur die begrifflich-logische Fassung der Realität ist möglich und sinnvoll.
 E: *Experimentelle, pragmatische Haltung*: Nicht Interpretationen interessieren, sondern nur das, was im Experiment herauskommt.

OSTD JOSEF LEISEN, Peter-Joseph-Rottmann-Straße 22, 56077 Koblenz, leisen@rz-online.de; Leiter des Staatlichen Studienseminars für das Lehramt an Gymnasien, vormals Fachleiter für Physik am Studienseminar, Lehrauftrag für Didaktik der Physik an der Universität in Mainz, Leiter der Lehrplankommission Physik Sek. II in Rheinland-Pfalz. ■