
Verschränkung und bedingte Wahrscheinlichkeiten

**Über die Frage, ob es Wirkungen geben muss, die weit
voneinander entfernte quantenphysikalische Systemteile
instantan aufeinander ausüben**

von

Klemens Kampshoff

Berichte aus der Physik

Klemens Kampshoff

Verschränkung und bedingte Wahrscheinlichkeiten

Über die Frage, ob es Wirkungen geben muss, die weit
voneinander entfernte quantenphysikalische Systemteile
instantan aufeinander ausüben

Shaker Verlag
Aachen 2016

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Copyright Shaker Verlag 2016

Alle Rechte, auch das des auszugsweisen Nachdruckes, der auszugsweisen oder vollständigen Wiedergabe, der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen und der Übersetzung, vorbehalten.

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8440-4951-0

ISSN 0945-0963

Shaker Verlag GmbH • Postfach 101818 • 52018 Aachen

Telefon: 02407 / 95 96 - 0 • Telefax: 02407 / 95 96 - 9

Internet: www.shaker.de • E-Mail: info@shaker.de

Inhalt

1	Einleitung	1
2	Beobachtungen an Objekten der Quantenwelt	7
2.1	Das Doppelspaltexperiment:	9
2.2	Ortsmessung mit Photonen als Beispiel der Möglichkeit einer Messung mit ‚verzögerter Wahl‘:	11
2.3	Die EPR-Argumentation	14
2.4	Eine Darstellung des EPR-Arguments:	15
2.5	Die Verschränkung und Veränderung im Zuge von Wechselwirkungen der Quantenobjekte:	17
2.6	Die Bellsche Ungleichung:	25
2.7	Der radioaktive Zerfall der Atomkerne	30
2.8	Zusammenfassung	32
3	Mögliche Ursachen für die Unbestimmtheit und die Bedingtheit physikalischer Ereignisse	35
3.1	Klassische und quantenphysikalische Wahrscheinlichkeit	37
3.2	Mögliche Ursachen für unbestimmte Eigenschaftswerte der Quantenobjekte	41
3.2.1	Zufällige Folgen der Wechselwirkung als Ursache der quantenphysikalischen Wahrscheinlichkeit	42
3.2.2	Unbekannte Ausgangseigenschaften der Quantenobjekte als Ursache quantenphysikalischer Unbestimmtheit	46
3.2.3	Zufällige Folgen der Wechselwirkung und unbekanntes Ausgangssituationen als Ursache der quantenphysikalischen Unbestimmtheit	49
3.3	Die Manifestation der Messwerte	49
3.4	Mögliche Ursachen für die bedingte Wahrscheinlichkeit der Eigenschaftswerte präparierter Quantenobjekte	52
3.4.1	Allgemeines zu den Voraussetzungen und Annahmen bei bedingten Wahrscheinlichkeiten	54
3.4.2	Allgemeines zu bedingten Wahrscheinlichkeiten und Korrelationen zwischen Ereignissen an verschiedenen Orten	58
3.4.3	Gemeinsame Präparation oder Fernbeeinflussung als mögliche Ursache bedingter Wahrscheinlichkeit?	61
3.4.4	Allgemeines zur Bedingtheit von Ereignissen	64

3.5	Zusammenfassung	67
4	Die natürlichen Grenzen des Erforschbaren, der realistische Ansatz in der DBB-Theorie und eine lokal-realistische Variante	69
4.1	Die Bohm'sche Theorie als realistische Alternative	70
4.2	Prinzipielle Grenzen der Erkenntnis im Zusammenhang mit Wechselwirkungen bei Quantenobjekten	72
4.3	Ein theoretisches Modell der Veränderung und Erhaltung von Eigenschaften	77
4.4	Zur Vereinbarkeit von Separabilität und Realitätsannahme mit Beobachtungen in der Quantenwelt	79
4.4.1	Die Verhältnisse bei Messungen an verschränkten Objektpaaren und bei Folgemessungen	81
4.4.2	Zur Relevanz der Bellschen Ungleichung	84
4.4.3	Zur Denkbarekeit von Mengenbildungen	89
4.4.4	Schlussfolgerungen	95
4.5	Was wir über die ‚Verschränkung‘ oder ‚ein über die Distanz wirkendes Potenzial‘ wissen können	99
4.5.1	Verschränkung und deren Ursache	101
4.5.2	Zur Existenz der Fernbeeinflussung und der Dauer der Verschränkung	104
4.5.3	Weitere Ausführungen zur Verschränkung	110
4.6	Zusammenfassung	113
5	Was wir beobachten und was wir an Quantenobjekten messen können	117
5.1	Realdefinitionen und Messvorschriften	118
5.2	Messbarkeit in der Quantenwelt	125
5.3	Die Grenzen der örtlichen Lokalisierbarkeit und der Zusammenhang zu Quanteneigenschaften	129
5.4	Der Messprozess sowie Realdefinitionen und Messvorschriften für Quantenobjekte	134
5.4.1	Offene Punkte der formalen Messtheorie	136
5.4.2	Realdefinitionen durch Messvorschriften für die Objekte der Quantenwelt	142
5.4.3	Das Messbare und die Axiome der Quantentheorie	150

5.5	Fazit und Zusammenfassung zum Messvorgang bei Quantenobjekten	154
6	Zusammenfassung und Ausblick	157
	Literaturverzeichnis	165
A1	Wahrscheinlichkeit und Unbestimmtheit, zufällige und sichere Ereignisse	167
A1.1	Stochastik, Statistik und die Wahrscheinlichkeit	168
A1.2	Würfeln als Beispiel für ‚zufällige‘ Ergebnisse	169
A1.3	Das Maß der Wahrscheinlichkeit sowie unabhängige und bedingte Wahrscheinlichkeit	170
1.4	Mögliche Ergebnisse bei zwei Würfeln, beim Roulette und beim ‚Münzwurf‘	174
1.5	Notwendige Voraussetzungen für Unbestimmtheit und mögliche Ursachen für ‚Zufälligkeit‘	175
1.6	Was bestimmt die Eintrittswahrscheinlichkeit?	180
1.7	Korrelation bei Eintrittswahrscheinlichkeiten und die Statistik der Häufigkeiten	183
1.8	Ein Beispiel für unbestimmbare Eintrittswahrscheinlichkeiten	186
1.9	Zusammenfassung und Fazit	188
A2	Die Newton’schen Axiome und die Kraft	191
A3	Axiome der Quantentheorie	197
A4	Die formale Darstellung des Messprozesses und die Wiederholungsmessung	199