

Ungeeignetes Gedankenmodell

Markus Aspelmeyer und Markus Arndt diskutierten, ob quantenmechanische Phänomene auch bei großen Massen auftreten. (»Schrödingers Katze auf dem Prüfstand«, Oktober 2012, S. 44)

Hubert Otte, Mainz: Schrödingers Katze wird gern verwendet, um ein Phäno-

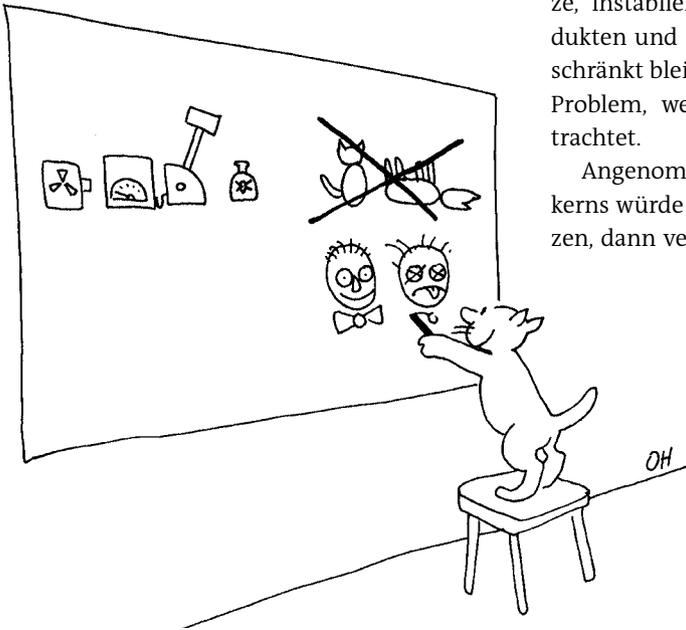
men aus der Quantenmechanik anschaulich darzustellen: die Überlagerung von Zuständen. Dieses Gedankenmodell trägt aber sicher eher zum Unverständnis der Quantenmechanik bei als zum Verständnis und sollte nicht mehr verwendet werden. Bei ihm wird zudem vorausgesetzt, dass keine Wechselwirkung mit der Umgebung stattfindet und die Wellenfunktion des Systems aus lebender Katze, toter Katze, instabilem Atomkern, Zerfallsprodukten und so fort auf den Kasten beschränkt bleibt. Hierbei gibt es aber ein Problem, wenn man den Zerfall betrachtet.

Angenommen, der Zerfall des Atomkerns würde auch ein Neutrino freisetzen, dann verlässt dieses fast ungehindert den Kasten wegen seiner geringen Wechselwirkung mit anderer Materie. Man muss also berücksichtigen, dass der räumliche Bereich der Wellenfunktion von der Schließung des Kastens an zeitlich kontinuierlich anwächst

und nicht auf den Kasten beschränkt bleibt. Eine Dekohärenz der Wellenfunktion kann dadurch immer wahrscheinlicher mit der Welt auch außerhalb des Kastens stattfinden. Denn irgendwann findet eine Wechselwirkung statt, sei es durch eine Messvorrichtung für Neutrinos außerhalb des Kastens, sei es mit Materie, wie zum Beispiel eine Sonne in einigen Lichtjahren Entfernung, sei es durch Streuung an Materie oder aus anderen Gründen.

Bei den übrigen Formen von Zerfällen kann zumindest angenommen werden, dass eine winzige Erwärmung im Inneren resultieren muss und irgendwann auch die Außenwände erreicht. Nur wenn keinerlei Kontakt zur Umgebung existiert, kann keine Dekohärenz stattfinden. Da der Kasten aber sicher die leichte Erwärmung als Wärmestrahlung emittiert, ergibt sich wie bei dem Neutrino, dass der räumliche Bereich der Wellenfunktion zeitlich kontinuierlich anwächst.

Martin Lehl, München: Auf S. 46 heißt es: »Dabei ist i die imaginäre Zahl $\sqrt{-1}$.« Diese Formulierung ist unglücklich. Die Wurzelfunktion bildet von den nicht-



Spektrum

DER WISSENSCHAFT

Chefredakteur: Dr. Carsten Könneker (v.i.S.d.P.)
Redaktionsleiter: Dr. Hartwig Hanser (Monatshefte), Dr. Gerhard Trageser (Sonderhefte)
Redaktion: Thilo Körkel, Dr. Klaus-Dieter Linsmeier, Dr. Christoph Pöppe (Online-Koordinator), Dr. Frank Schubert, Dr. Adelheid Stahnke, Antje Findekle (Bild des Monats); E-Mail: redaktion@spektrum.com
Ständiger Mitarbeiter: Dr. Michael Springer
Editor-at-Large: Dr. rer. nat. habil. Reinhard Breuer
Art Direction: Karsten Kramarczik
Layout: Sibylle Franz, Oliver Gabriel, Anke Heinzelmann, Claus Schäfer, Natalie Schäfer
Schlussredaktion: Christina Meyberg (Ltg.), Sigrid Spies, Katharina Werle
Bildredaktion: Alice Krüßmann (Ltg.), Anke Lingg, Gabriela Rabe
Referentin des Chefredakteurs: Kirsten Baumbusch
Redaktionsassistent: Erika Eschwei
Redaktionsanschrift: Postfach 10 48 40, 69038 Heidelberg, Tel. 06221 9126-711, Fax 06221 9126-729
Verlag: Spektrum der Wissenschaft Verlagsgesellschaft mbH, Postfach 10 48 40, 69038 Heidelberg; Hausanschrift: Slevogtstraße 3–5, 69126 Heidelberg, Tel. 06221 9126-600, Fax -751; Amtsgericht Mannheim, HRB 33814
Verlagsleiter: Richard Zinken
Geschäftsleitung: Markus Bossle, Thomas Bleck
Herstellung: Natalie Schäfer, Tel. 06221 9126-733
Marketing: Annette Baumbusch (Ltg.), Tel. 06221 9126-741, E-Mail: service@spektrum.com
Einzelverkauf: Anke Walter (Ltg.), Tel. 06221 9126-744
Übersetzer: An diesem Heft wirkten mit: Arne Baudach, Maren Emmerich, Dr. Werner Gans, Doris Gerstner, Dr. Michael Springer.
Leser- und Bestellservice: Helga Emmerich, Sabine Häusser, Ute Park, Tel. 06221 9126-743, E-Mail: service@spektrum.com

Vertrieb und Abonnementverwaltung:

Spektrum der Wissenschaft Verlagsgesellschaft mbH, c/o ZENIT Pressevertrieb GmbH, Postfach 81 06 80, 70523 Stuttgart, Tel. 0711 7252-192, Fax 0711 7252-366, E-Mail: spektrum@zenit-presse.de, Vertretungsberechtigter: Uwe Bronn

Die Spektrum der Wissenschaft Verlagsgesellschaft mbH ist Kooperationspartner des Nationalen Instituts für Wissenschaftskommunikation gGmbH (NaWik). Das NaWik ist ein Institut der Klaus Tschira Stiftung gGmbH und des Karlsruher Instituts für Technologie. Wissenschaftlicher Direktor des NaWik ist Spektrum-Chefredakteur Dr. Carsten Könneker.

Bezugspreise: Einzelheft € 7,90 (D/A) / € 8,50 (L) / sFr. 14,-; im Abonnement € 84,- für 12 Hefte; für Studenten (gegen Studiennachweis) € 69,90. E-Paper € 60,- im Jahresabonnement (Vollpreis); € 48,- ermäßigter Preis auf Nachfrage. Zahlung sofort nach Rechnungserhalt. Konto: Postbank Stuttgart 22 706 708 (BLZ 600 100 70). Die Mitglieder des Verbands Biologie, Biowissenschaften und Biomedizin in Deutschland (VBio) und von Mensa e.V. erhalten SDW zum Vorzugspreis.

Anzeigen: iq media marketing gmbh, Verlagsgruppe Handelsblatt GmbH, Bereichsleitung Anzeigen: Marianne Dölz; Anzeigenleitung: Patrick Priesmann, Tel. 0211 887-2315, Fax 0211 887-97-2315; verantwortlich für Anzeigen: Christian Herp, Postfach 102663, 40017 Düsseldorf, Tel. 0211 887-2481, Fax 0211 887-2686

Druckunterlagen an: iq media marketing gmbh, Vermerk: Spektrum der Wissenschaft, Kasernenstraße 67, 40213 Düsseldorf, Tel. 0211 887-2387, Fax 0211 887-2686
Anzeigenpreise: Gültig ist die Preisliste Nr. 33 vom 01.01.2012.
Gesamtherstellung: L.N. Schaffrath Druckmedien GmbH & Co. KG, Marktweg 42–50, 47608 Geldern

Sämtliche Nutzungsrechte an dem vorliegenden Werk liegen bei der Spektrum der Wissenschaft Verlagsgesellschaft mbH. Jegliche Nutzung des Werks, insbesondere die Vervielfältigung,

Verbreitung, öffentliche Wiedergabe oder öffentliche Zugänglichmachung, ist ohne die vorherige schriftliche Einwilligung des Verlags unzulässig. Jegliche unautorisierte Nutzung des Werks berechtigt den Verlag zum Schadensersatz gegen den oder die jeweiligen Nutzer. Bei jeder autorisierten (oder gesetzlich gestatteten) Nutzung des Werks ist die folgende Quellenangabe an branchenüblicher Stelle vorzunehmen: © 2013 (Autor), Spektrum der Wissenschaft Verlagsgesellschaft mbH, Heidelberg. Jegliche Nutzung ohne die Quellenangabe in der vorstehenden Form berechtigt die Spektrum der Wissenschaft Verlagsgesellschaft mbH zum Schadensersatz gegen den oder die jeweiligen Nutzer.

Wir haben uns bemüht, sämtliche Rechteinhaber von Abbildungen zu ermitteln. Sollte dem Verlag gegenüber der Nachweis der Rechteinhaberschaft geführt werden, wird das branchenübliche Honorar nachträglich gezahlt. Für unaufgefordert eingesandte Manuskripte und Bücher übernimmt die Redaktion keine Haftung; sie behält sich vor, Leserbriefe zu kürzen.

ISSN 0170-2971

SCIENTIFIC AMERICAN

75 Varick Street, New York, NY 10013-1917
 Editor in Chief: Mariette DiChristina, President: Steven Inchcombe, Vice President, Operations and Administration: Frances Newburg, Vice President, Finance, and Business Development: Michael Florek, Managing Director, Consumer Marketing: Christian Dorbandt, Vice President and Publisher: Bruce Brandfon



Erhältlich im Zeitschriften- und Bahnhofsbuchhandel und beim Pressefachhändler mit diesem Zeichen.



negativen reellen Zahlen in die nicht-negativen reellen Zahlen ab, das heißt, für die reelle Zahl a mit a größer oder gleich null liefert \sqrt{a} die nicht-negative reelle Lösung der Gleichung $x^2 = a$. Zunächst ist $\sqrt{-1}$ also nicht definiert. Die Gleichung $x^2 = -1$ besitzt die beiden komplexen Lösungen i und $-i$. Auf dem Körper der komplexen Zahlen lässt sich keine Ordnungsrelation wie »größer« oder »kleiner« definieren. Somit kann man nicht einfach die Lösung wählen, die größer oder gleich null ist.

Die Interpretation $\sqrt{-1} = i$ lässt eine einfache mathematische Spielerei zu: $-1 = i^2 = i \cdot i = \sqrt{-1} \cdot \sqrt{-1} = \sqrt{(-1) \cdot (-1)} = \sqrt{(-1)^2} = \sqrt{1} = 1$, was offensichtlich falsch ist, denn sonst hätten wir gerade gezeigt, dass $-1 = 1$ gilt. Der Fehler dieser »Rechnung« besteht darin, dass die Rechenregel $\sqrt{a} \cdot \sqrt{b} = \sqrt{a \cdot b}$ nur für nicht-negative reelle Zahlen a und b gilt. Es müsste also geklärt werden, in welchem Sinn der Autor die Wurzelfunktion auf negative Zahlen erweitert. Man sollte den Satz »Dabei ist i die imaginäre Zahl $\sqrt{-1}$ « einfach durch »Dabei ist i die imaginäre Einheit« ersetzen.

Der Wert reinen Erkenntnisgewinns

David J. Wineland und Serge Haroche erhielten den Nobelpreis für Physik für ihre Experimente mit isolierten Quantenteilchen. (»Auszeichnung für Quantendompteure«, Forschung aktuell, Dezember 2012, S. 22)

Harald Kirsch, Düsseldorf: So gerne ich »Spektrum der Wissenschaft« auch lese, den nahezu zwanghaften und teilweise an den Haaren herbeigezogenen Hinweis auf die möglichen praktischen Anwendungen einer Forschung finde ich unnötig und störend. Ein aktuelles Beispiel ist der Artikel über den Physiknobelpreis. Wenn sogar der Nobelpreisträger Serge Haroche damit zitiert wird, dass er seine Forschung primär als Grundlagenforschung versteht, dann könnte man es doch dabei belassen. Der Hinweis auf Quantencomputer scheint mir fast reflexartig in jeden

Artikel über Quantenphysik eingefügt zu werden. Ich würde mich vermissen, wenn Grundlagenforschung in »Spektrum der Wissenschaft« als solche dargestellt wird. Die Rechtfertigung durch praktische Anwendung ist im Unterschied zur Rechtfertigung durch reinen Erkenntnisgewinn eher schwach.

Fragwürdige Früherkennung

Der Onkologe Marc B. Garnick riet dazu, die Krebsbehandlung nach einem positiven PSA-Test sorgfältig abzuwägen. (»Streit um die Prostatakrebs-Früherkennung«, Oktober 2012, S. 28)

Hans-Hermann Dubben, Hamburg: Vielen Dank für den sehr klaren und umfassenden Artikel von Marc B. Garnick zur Früherkennung von Prostatakrebs. Zu den dort erwähnten unnötigen Eingriffen möchte ich etwas hinzuzufügen.

Auf 1400 Männer in der Screening-Gruppe kommt in der von Garnick zitierten Studie aus dem Jahr 2009 ein verhinderter Krebstodesfall. Es müssen jedoch nicht 48 Männer behandelt werden, sondern 116; in der Kontrollgruppe sind es nur 68. Die Differenz, 48 Männer, sind so genannte Überbehandlungen. Diese Männer hätten, wenn sie in der Kontrollgruppe gewesen wären, zeitlebens keine Prostatakrebsymptome verspürt, und schon gar nicht wären sie an Prostatakrebs gestorben. Durch das Screening werden jedoch Tumoren gefunden, die keiner Behandlung bedürfen, sich aber von bösartigen nicht unterscheiden lassen. 40 dieser 48 Männer werden unnötig operiert oder bestrahlt. Ihnen wird mit Sicherheit Schaden zugefügt; einen Nutzen im Sinn von geringerer Prostatakrebsmortalität haben sie nicht.

Da wesentlich mehr Männer geschädigt als »gerettet« werden, ist der Schaden durch Screening statistisch sehr gut belegt, der Nutzen ist nach wie vor strittig. Zu beachten ist auch, dass der verhinderte Todesfall erst nach zehn oder mehr Jahren aufgetreten wäre (an Prostatakrebs Verstorbene sind im Mit-

**FOLGEN SIE UNS
IM INTERNET**

 www.spektrum.de/facebook

 www.spektrum.de/youtube

 www.spektrum.de/studivz

 www.spektrum.de/twitter

tel etwa 80 Jahre alt); die Überbehandlungen finden aber fast unmittelbar während der Screening-Phase statt.

Nochmals mit anderen Worten: Auf einen verhinderten Krebstodesfall kommen mindestens 40 Männer, die geschädigt wurden, aber die Illusion haben, die Früherkennung hätte ihr Leben verlängert. Auch die außerhalb von Studien gewonnene ärztliche Erfahrung wird durch diese irrtümlich dankbaren Patienten geprägt.

Erratum

»Urananreicherung mit Lasertechnik – billig und politisch hochbrisant«, November 2012, S. 62

Wolfgang Sandner ist nicht mehr Präsident der DPG; dies war er bis April 2012. Seitdem ist er Vizepräsident.

BRIEFE AN DIE REDAKTION

... sind willkommen! Schreiben Sie uns auf www.spektrum.de/leserbriefe

Spektrum der Wissenschaft
Leserbriefe / Sigrid Spies
Postfach 10 48 40, 69038 Heidelberg
E-Mail: leserbriefe@spektrum.com

Die vollständigen Leserbriefe und Antworten der Autoren finden Sie ebenfalls unter: www.spektrum.de/leserbriefe