Schrödingers Katze

GEDANKENEXPERIMENT · ERWIN SCHRÖDINGER, 1935

Stellen Sie sich eine Stahlkammer vor, deren Deckel seit genau einer Stunde verschlossen ist. Drinnen sitzt eine Katze, und neben ihr steht eine Apparatur, die bei einem einzigen radioaktiven Zerfall Gift freisetzt; die Chancen dafür standen in dieser Stunde fünfzig zu fünfzig. Sie haben die Hand schon am Riegel. Lebt das Tier noch? Der gesunde Menschenverstand antwortet, dass es entweder lebt oder tot ist und man es eben nur noch nicht weiß. Die Quantenmechanik, wörtlich genommen, gibt eine sehr viel merkwürdigere Antwort, und um genau diesen Widerspruch ging es Erwin Schrödinger, als er sich die Szene ausdachte.

Schrödinger, damals in Oxford, stellte **Schrödingers Katze** 1935 in einem dreiteiligen Aufsatz vor, erschienen im 23. Band der Zeitschrift *Die Naturwissenschaften*[1]. Ein Versuch, den jemand tatsächlich durchführen sollte, war das nie. Er wollte vorführen, wohin man gerät, wenn man die Quantenmechanik ohne Einschränkung auf Dinge unseres Alltags überträgt, und meinte das als Kritik an einer zu naiven Deutung der Theorie[2]. Kaum ein Gedankenexperiment ist so bekannt geworden, kaum eines wird so oft missverstanden. An der Katze hängt eine der großen offenen Fragen der Physik, das **Messproblem**, und inzwischen auch ein eigenes Forschungsgebiet, denn sogenannte Katzenzustände werden im Labor erzeugt, unter anderem mit Blick auf Quantencomputer[12],[16].

Dieser Artikel öffnet die Kammer Schritt für Schritt. Erst geht es um die Apparatur und Schrödingers Absicht, dann um die Rechnung, danach um die Frage, was zwischen dem Schließen und dem Öffnen eigentlich der Fall ist, und schließlich darum, was die Forschung seit 1935 daraus gemacht hat.

Inhalt

1. Was in der Stahlkammer steht
2. Ein Einwand, kein Experiment
3. Die Kiste in Formeln
4. Zeiger statt Katze: von Neumanns Messkette
5. Lebendig oder tot, wir wissen es nur nicht?
6. Muss jemand hinsehen?
7. Vier Lesarten derselben Gleichung
8. Dekohärenz: Die Umgebung sieht immer mit
9. Katzen aus Ionen, Licht und Molekülen
10. Die Geschichte in Jahreszahlen

11. Vom Einwand zur Technik: das Qubit
12. Was die Katze nicht beweist
13. Einzelnachweise und Literatur

Was in der Stahlkammer steht

Schrödinger beschreibt die Anordnung knapp und ein wenig makaber. Eine Katze wird zusammen mit einer „Höllenmaschine“ in eine Stahlkammer gesperrt [1],[2]. Zu dieser Maschine gehört eine so winzige Menge radioaktiver Substanz, dass im Lauf einer Stunde **mit gleicher Wahrscheinlichkeit** ein Atom zerfällt oder keines, außerdem ein Geiger-Zählrohr, das auf einen solchen Zerfall wartet. Spricht es an, löst ein Relais einen Hammer aus, und der zertrümmert ein Fläschchen Blausäure (Abb. 1). Zerfällt also ein Atom, wird das Gift frei und die Katze stirbt; zerfällt keines, lebt sie. Solange die Kammer geschlossen bleibt, lässt sich von außen nicht erkennen, welcher der beiden Fälle eingetreten ist [2].

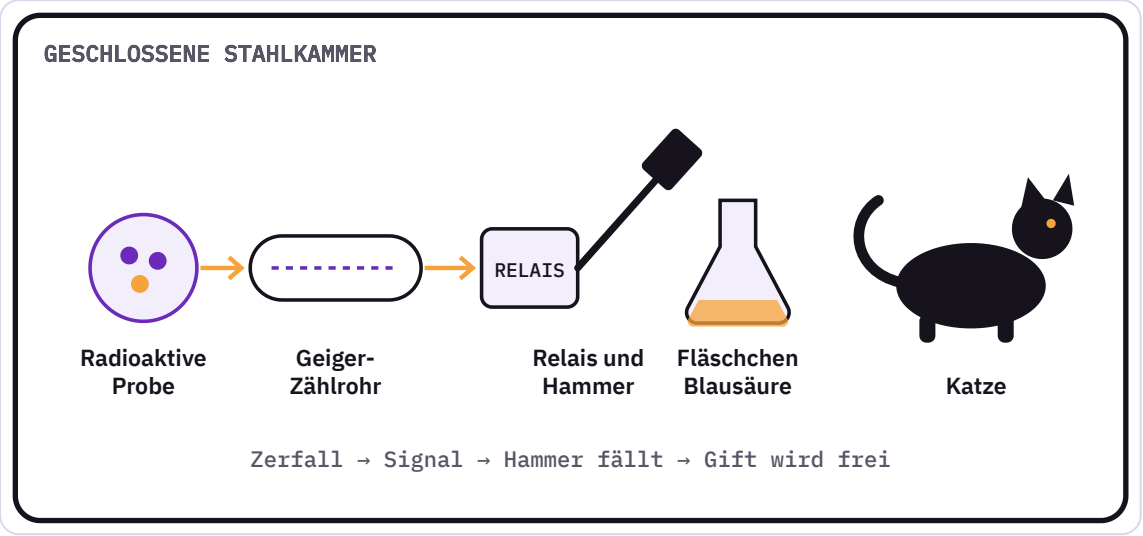

Abb. 1: Schematischer Aufbau des Gedankenexperiments nach Schrödinger (1935). Eigene Darstellung nach der Beschreibung in [1],[2].

Schrödinger selbst nannte solche Konstruktionen „ganz burleske Fälle“ [1], und mit einer echten Katze ist der Versuch weder je durchgeführt worden, noch war er jemals dafür gedacht.

Ein Einwand, kein Experiment

Warum denkt sich einer der Begründer der Quantenmechanik so etwas aus? Die Wellengleichung, die seinen Namen trägt und der wir gleich als Gleichung (2) begegnen, hatte Schrödinger 1926 aufgestellt. Mit der verbreiteten Deutung seiner Theorie war er trotzdem unzufrieden. Sein Aufsatz erschien wenige Monate nach der berühmten Arbeit

von Einstein, Podolsky und Rosen, die bezweifelt hatten, dass die Quantenmechanik eine vollständige Beschreibung der physikalischen Wirklichkeit liefert [3].

Mit der Katze legte Schrödinger den Finger auf eine wunde Stelle. Eine Unbestimmtheit, die auf der Ebene eines einzelnen Atoms vielleicht noch hinnehmbar wirkt, lässt sich mit ein paar Zwischenschritten in eine grobe, makroskopische Unbestimmtheit verwandeln, und zwar in eine, die man durch bloßes Hinsehen beseitigen kann. Ein solches „verwaschenes“ Modell, folgerte er, darf man nicht naiv als Abbild der Wirklichkeit gelten lassen [1],[2]. Gemeint war das als **Kritik**, nicht als Behauptung über echte Katzen. Die Frage dahinter, wo und wie aus vielen Möglichkeiten ein einziges Messergebnis wird, nennt man heute das **Messproblem**, und abschließend geklärt ist sie bis heute nicht [11].

Die Kiste in Formeln

Wer nachrechnen will, was die Quantenmechanik über die Kammer sagt, fängt am besten beim harmlosesten Teil an, dem radioaktiven Zerfall. Zerfälle treten zufällig auf, und die Wahrscheinlichkeit, dass bis zur Zeit *t* noch kein Zerfall registriert wurde, die Katze also lebt, fällt exponentiell ab. Schrödingers Vorgabe, dass nach einer Stunde beide Ausgänge gleich wahrscheinlich sein sollen, legt die Zerfallsrate λ fest:

$$P_{\text{lebt}}(t) = e^{-\lambda t} = 2^{-t\,/\,1\,\text{h}}, \qquad \lambda = \frac{\ln 2}{1\,\text{h}} \tag{1}$$

Nach einer Stunde stehen die Chancen für „lebt“ demnach bei 50 %, nach zwei Stunden bei 25 % und nach drei Stunden bei 12,5 % (Abb. 2).

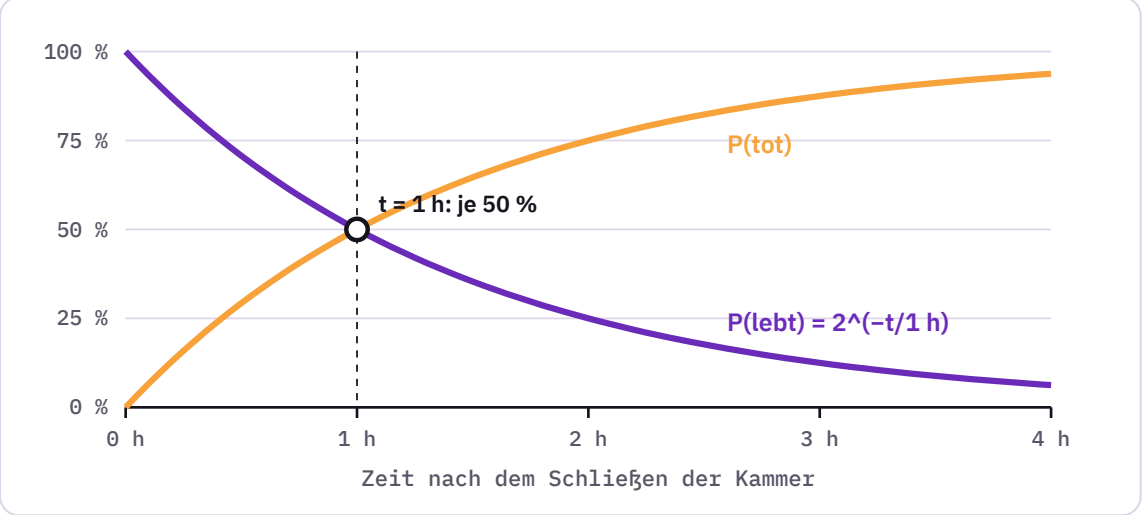

Abb. 2: Wahrscheinlichkeiten nach Gleichung (1) für Schrödingers Wahl, dass innerhalb einer Stunde mit 50 % Wahrscheinlichkeit ein Zerfall eintritt. Eigene Berechnung und Darstellung.

Bis hierhin ist das gewöhnliche Wahrscheinlichkeitsrechnung, wie man sie auch für einen Würfel anstellen könnte. Quantenmechanisch wird es erst, wenn man fragt, wie sich der

Zustand des Ganzen entwickelt. Dafür ist die Schrödinger-Gleichung zuständig, in der $\hbar$ das reduzierte Plancksche Wirkungsquantum bezeichnet und $\hat{H}$ den Hamilton-Operator, der die Energie des Systems beschreibt:

$$i\hbar \frac{\partial}{\partial t}|\Psi(t)\rangle = \hat{H}|\Psi(t)\rangle \tag{2}$$

Diese Gleichung ist **linear**, und an dieser unscheinbaren Eigenschaft hängt alles Weitere. Sind zwei Zustände Lösungen, dann ist auch jede Überlagerung (Superposition) aus ihnen eine Lösung. Nimmt man die Theorie beim Wort und behandelt Atom, Zählrohr, Hammer und Katze gemeinsam als ein einziges Quantensystem, landet man deshalb bei folgendem Zustand:

$$\begin{aligned} |\Psi(t)\rangle = {} & \sqrt{e^{-\lambda t}}\,|\text{intakt}\rangle \otimes |\text{lebt}\rangle \\ & + \sqrt{1 - e^{-\lambda t}}\,|\text{zerfallen}\rangle \otimes |\text{tot}\rangle \end{aligned} \tag{3}$$

Das Zeichen $\otimes$ verbindet die Zustände von Atom und Katze zu einem gemeinsamen Zustand; Zählrohr, Hammer und Fläschchen stecken der Übersicht halber im Zustand der Katze mit drin. Nach genau einer Stunde sind beide Anteile gleich groß:

$$\begin{aligned} |\Psi(1\,\text{h})\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}\big(& |\text{intakt, lebt}\rangle \\ & + |\text{zerfallen, tot}\rangle \big) \end{aligned} \tag{4}$$

Was hier steht, lässt sich nicht als „Zustand des Atoms“ mal „Zustand der Katze“ schreiben, so sehr man auch umformt. Atom und Katze sind **verschränkt**, und den Begriff „Verschränkung“ hat Schrödinger in eben dieser Arbeit von 1935 eingeführt [1]. In seinen Worten wären die lebende und die tote Katze in der Wellenfunktion des Gesamtsystems „zu gleichen Teilen gemischt oder verschmiert“ [1]. Abb. 3 versucht, das in ein Bild zu fassen, wobei jedes Bild an dieser Stelle ein wenig hinkt.

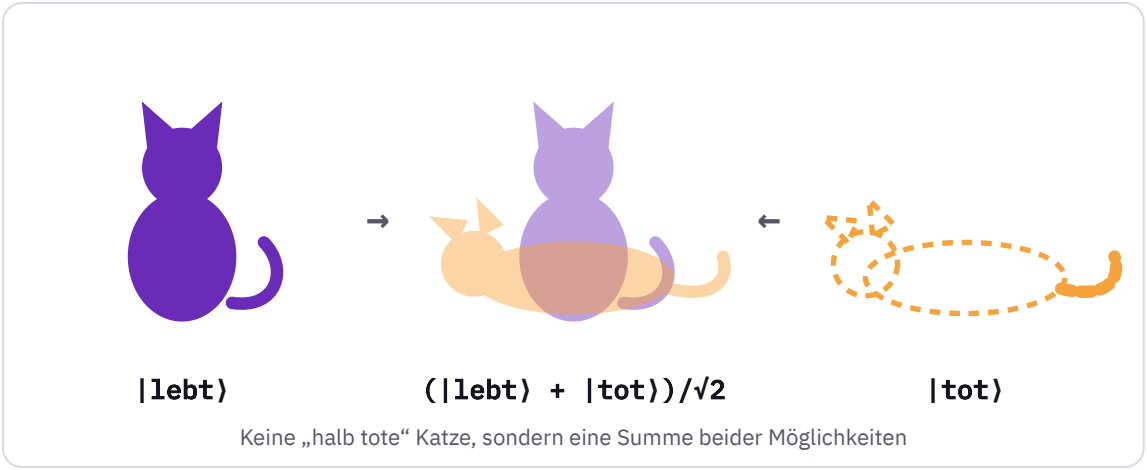

Abb. 3: Symbolbild zu Gleichung (4): Vor dem Öffnen der Kammer beschreibt die Quantenmechanik die Katze als Überlagerung beider Zustände. Eigene Darstellung.

Eine Vereinfachung sei offen zugegeben: Gleichung (3) ist ein Modell mit nur zwei Zuständen. Ein realer Zerfall erzeugt Zerfallsprodukte mit vielen möglichen Energien und Richtungen, und das exponentielle Zerfallsgesetz gilt nur näherungsweise. An der Aussage des Gedankenexperiments ändert das nichts.

Und was findet, wer nach der Stunde den Deckel hebt? Nie eine „halb tote“ Katze, sondern immer eines der beiden Ergebnisse. Mit welcher Wahrscheinlichkeit welches, gibt die Bornsche Regel an, nach der man das Betragsquadrat der Amplitude des jeweiligen Ausgangs bildet:

$$P_{\text{lebt}} = |\langle \text{intakt, lebt} | \Psi \rangle|^2 = e^{-\lambda t} \tag{5}$$

Heraus kommt wieder das Zerfallsgesetz (1), die Häufigkeiten sagt die Quantenmechanik also korrekt voraus. Worüber sie schweigt, ist die Frage, was zwischen dem Schließen und dem Öffnen der Kammer „wirklich“ der Fall ist.

Zeiger statt Katze: von Neumanns Messkette

Man kann die Katze auch wieder aus der Rechnung nehmen, denn sie ist nur die drastischste Verpackung eines ganz allgemeinen Problems. John von Neumann hatte es schon 1932 in seinem Lehrbuch über die mathematischen Grundlagen der Quantenmechanik formuliert [19], und er kam dabei mit drei Zutaten aus. Die erste ist ein Messobjekt in einer Überlagerung zweier Zustände $|a\rangle$ und $|b\rangle$:

$$|\psi\rangle = \alpha|a\rangle + \beta|b\rangle, \qquad |\alpha|^2 + |\beta|^2 = 1 \tag{6}$$

Die zweite ist ein Messgerät, etwa ein Zeiger, der anfangs in der Ruhestellung $|M_0\rangle$ steht. Taugt das Gerät etwas, schlägt der Zeiger bei $|a\rangle$ auf „a“ und bei $|b\rangle$ auf „b“ aus:

$$
\begin{aligned}
|a\rangle|M_0\rangle &\longrightarrow |a\rangle|M_a\rangle \\
|b\rangle|M_0\rangle &\longrightarrow |b\rangle|M_b\rangle
\end{aligned}
\tag{7}
$$

Die dritte Zutat muss man nicht eigens mitbringen, sie steckt schon in der Schrödinger-Gleichung (2), nämlich deren Linearität. Weil sich eine Überlagerung als Ganzes weiterentwickelt, steht am Ende kein Zeiger auf „a“ *oder* auf „b“, sondern eine Überlagerung beider Zeigerstellungen:

$$
\begin{aligned}
&(\alpha|a\rangle + \beta|b\rangle)|M_0\rangle \\
&\longrightarrow \alpha|a\rangle|M_a\rangle + \beta|b\rangle|M_b\rangle
\end{aligned}
\tag{8}
$$

Nur hat das noch nie jemand gesehen. Jedes reale Messgerät zeigt ein eindeutiges Ergebnis, und zwar mit den Wahrscheinlichkeiten $|\alpha|^2$ und $|\beta|^2$. Stellt man ein zweites Gerät dazu, das den Zeiger abliest, oder einen Menschen, der hinschaut, wird die Kette bloß länger, denn auch sie gerät nach Gleichung (8) in eine Überlagerung. Von Neumann half sich, indem er an irgendeiner Stelle dieser Kette einen Sprung annahm, der sich aus der Schrödinger-Gleichung nicht ableiten lässt, den **Kollaps**[19]. Schrödinger brauchte in Gleichung (8) im Grunde nur eine Katze für den Zeiger einzusetzen, und schon war zu sehen, wie unbefriedigend diese Lösung ist.

Lebendig oder tot, wir wissen es nur nicht?

An dieser Stelle meldet sich fast immer der Einwand, den Sie vielleicht schon vor der verschlossenen Kammer hatten. Die Katze ist doch einfach lebendig oder tot, und uns fehlt bloß die Information. Das klingt vernünftig, beschreibt physikalisch aber einen anderen Zustand, ein sogenanntes **Gemisch**. Worin der Unterschied besteht, macht die Dichtematrix ρ sichtbar:

$$
\begin{aligned}
\rho_{\text{Überlagerung}} &= |\Psi\rangle\langle\Psi| = \frac{1}{2}\begin{pmatrix} 1 & 1 \\ 1 & 1 \end{pmatrix} \\
\rho_{\text{Gemisch}} &= \frac{1}{2}\begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}
\end{aligned}
\tag{9}
$$

Auf der Diagonale stehen in beiden Fällen dieselben Wahrscheinlichkeiten, je ½ für „lebt“ und „tot“. Die Überlagerung besitzt aber zusätzlich Einträge außerhalb der Diagonale, die **Interferenzterme**, und die besagen, dass beide Möglichkeiten noch miteinander interferieren können. Bei einzelnen Atomen, Photonen und Molekülen lässt sich diese Interferenz messen, und eben darin unterscheidet sich eine Überlagerung von bloßem Nichtwissen (Abb. 4).

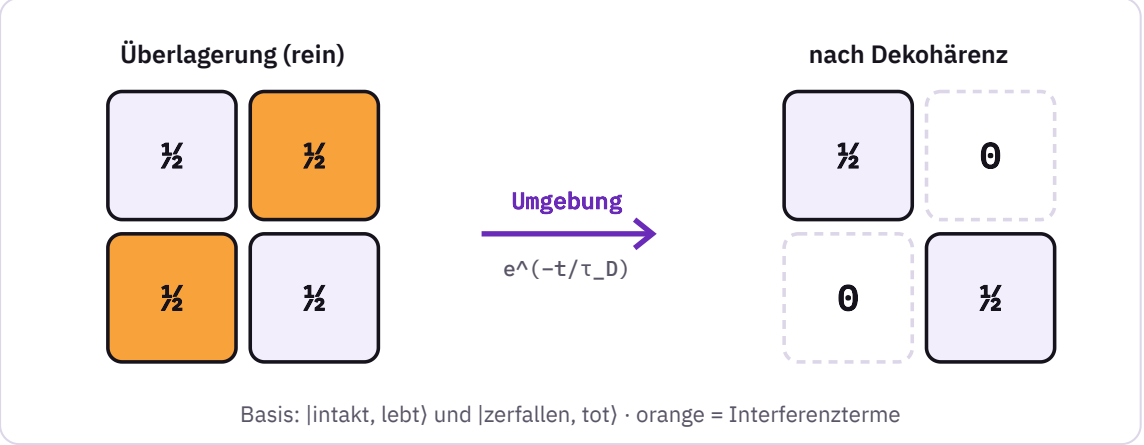

Abb. 4: Dichtematrix des Zustands aus Gleichung (4) vor und nach Dekohärenz, vgl. Gleichungen (9) und (10). Eigene Darstellung.

Muss jemand hinsehen?

In vielen populären Darstellungen entscheidet erst der Mensch, der in die Kiste schaut, über das Schicksal der Katze. Aus der Luft gegriffen ist das nicht, die Idee hat tatsächlich eine Geschichte in der Physik, nur eine andere als die, die man meistens zu hören bekommt.

Weil sich die Kette aus Gleichung (8) beliebig verlängern lässt, schlugen Fritz London und Edmond Bauer 1939 vor, sie ende erst im Bewusstsein des Beobachters [20]. Eugene Wigner spitzte das 1961 mit einem eigenen Gedankenexperiment zu, das heute als **Wigners Freund** bekannt ist. Ein Freund misst in einem abgeschlossenen Labor, Wigner selbst steht draußen. Von außen betrachtet müsste sich das Labor samt Freund in einer Überlagerung befinden, obwohl der Freund drinnen längst ein Ergebnis kennt [21]. Wigner schloss daraus, dass dem Bewusstsein beim Messprozess eine besondere Rolle zukommt.

Mit der Kopenhagener Deutung, wie Niels Bohr sie verstand, hat das allerdings wenig zu tun. Bohr bestand darauf, dass Messgeräte mit den Begriffen der klassischen Physik beschrieben werden müssen; eine Rolle des Bewusstseins sah er darin nicht, und die Gleichsetzung von „Kopenhagen“ mit „der Beobachter erschafft die Wirklichkeit“ ist erst später entstanden [22]. Heute vertreten nur noch wenige Physiker die Bewusstseins-These. Die Dekohärenz, um die es weiter unten geht, zeigt nämlich, dass schon die Wechselwirkung mit Zählrohr, Luft und Licht die Interferenzterme praktisch vollständig beseitigt, lange bevor jemand den Deckel hebt [9],[11].

Vier Lesarten derselben Gleichung

Wie also soll man Gleichung (4) lesen? Dass darüber so ausdauernd gestritten wird, liegt auch daran, dass alle gängigen Deutungen für heute durchführbare Experimente dieselben Vorhersagen machen wie die Standard-Quantenmechanik. Nur die objektiven Kollapsmodelle scheren aus, weil sie die Theorie selbst verändern. Uneins sind sich die

Deutungen vor allem darüber, was in der Kammer vor sich geht, solange niemand hineinsieht.

Kopenhagener Deutung

In ihrer verbreiteten Lehrbuchfassung beschreibt die Wellenfunktion unser Wissen über das System. Bei einer Messung „kollabiert“ sie auf ein eindeutiges Ergebnis. Wo genau die Grenze zwischen Quantensystem und Messgerät liegt, bleibt dabei offen.

Viele-Welten-Deutung

Nach Hugh Everett gibt es keinen Kollaps. Die Wellenfunktion entwickelt sich immer nach Gleichung (2), und jedes mögliche Ergebnis ist in einem eigenen Zweig verwirklicht: In einem lebt die Katze, im anderen ist sie tot. [4]

Bohmsche Mechanik

Nach David Bohm haben Teilchen stets genaue Orte, die von der Wellenfunktion gelenkt werden. Die Katze ist zu jedem Zeitpunkt entweder lebendig oder tot. Der Preis dafür ist eine ausdrücklich nichtlokale Dynamik. [5]

Objektive Kollapsmodelle

Ghirardi, Rimini und Weber erweitern die Schrödinger-Gleichung um seltene, spontane Lokalisierungen. Für einzelne Teilchen sind sie vernachlässigbar, für makroskopische Körper beenden sie Überlagerungen sehr schnell. Diese Modelle sind experimentell prüfbar. [6]

Dekohärenz: Die Umgebung sieht immer mit

Genau besehen ist die Katze in ihrer Stahlkammer gar nicht allein, und kein makroskopisches Objekt ist wirklich isoliert. Luftmoleküle, Wärmestrahlung und Licht treffen ständig auf sie und tragen Information über ihren Zustand in die Umgebung hinaus. Diesen Vorgang nennt man **Dekohärenz**. Die Idee geht auf H. Dieter Zeh (1970) zurück, ausgearbeitet hat sie vor allem Wojciech Zurek [7],[8],[9]; wer tiefer einsteigen will, findet einen umfassenden Überblick im Lehrbuch von Joos, Zeh und Kollegen [24].

In der Sprache der Dichtematrix heißt das, dass die Interferenzterme aus Abb. 4 rasch verschwinden. Für ein einfaches Modell gilt näherungsweise [8],[9]:

$$\rho_{12}(t) \approx \rho_{12}(0)\, e^{-t\,/\,\tau_D}$$
$$\tau_D \approx \tau_R \left(\frac{\lambda_{\mathrm{dB}}}{\Delta x} \right)^2 \qquad (10)$$

Darin ist τ_D die Dekohärenzzeit, τ_R die Relaxationszeit des Objekts, λ_{dB} seine thermische De-Broglie-Wellenlänge und Δx der Abstand der beiden überlagerten Zustände. Wie schnell das geht, hat Zurek an einem Objekt von 1 Gramm bei 300 Kelvin mit $\Delta x = 1$ Zentimeter vorgeführt. Dort ist τ_D rund 10^{40}-mal kürzer als τ_R, und selbst wenn die Relaxation so lange dauerte wie das Alter des Universums (etwa 10^{17} Sekunden), wäre die Kohärenz nach etwa 10^{-23} Sekunden verloren [10].

Da die thermische De-Broglie-Wellenlänge mit $1/\sqrt{(m\,T)}$ abnimmt, lässt sich aus Gleichung (10) eine Faustregel ablesen: τ_D ist proportional zu $\tau_R / (m \cdot T \cdot \Delta x^2)$. Je schwerer und wärmer ein Objekt ist und je weiter die überlagerten Zustände auseinanderliegen, desto schneller geht die Kohärenz verloren. Eine feinere Seite dieser Geschichte hat Zurek 2001 beschrieben. In ausgedehnten Überlagerungen, etwa in chaotischen Systemen, bilden sich im Phasenraum Strukturen, die weit unterhalb der durch das Plancksche Wirkungsquantum gesetzten Skala liegen, und sie bestimmen, wie empfindlich ein System auf Störungen von außen reagiert und damit, wie wirksam Dekohärenz ist [23].

Wie viele Atome stecken eigentlich in einer Katze?

Eine Hauskatze wiegt rund 4 kg. Nehmen wir an, sie sei chemisch ähnlich zusammengesetzt wie der menschliche Körper, nach Masse also etwa 65 % Sauerstoff, 18 % Kohlenstoff, 10 % Wasserstoff und 3 % Stickstoff. Dann wiegt ein Atom in ihr im Mittel etwa 6,3 atomare Masseneinheiten, das sind rund $1{,}05 \cdot 10^{-26}$ kg, und die Division ist schnell erledigt:

$$N \approx \frac{4\ \mathrm{kg}}{1{,}05 \cdot 10^{-26}\ \mathrm{kg}} \approx 4 \cdot 10^{26}$$

Das sind rund 400 Quadrillionen Atome; ein einzelnes Kohlenstoffatom wiegt zum Vergleich etwa $2 \cdot 10^{-26}$ kg. Gegenüber dem 1-Gramm-Objekt aus Zureks Beispiel ist die Katze außerdem rund 4000-mal schwerer, und nach der Faustregel oben zerfällt ihre Überlagerung bei sonst gleichen Bedingungen deshalb noch einmal rund 4000-mal schneller. *Eigene Überschlagsrechnung.*

Warum wir im Alltag keine Überlagerungen zu sehen bekommen, erklärt die Dekohärenz damit sehr gut. Ob sie auch das Messproblem vollständig löst, ist dagegen umstritten, denn sie macht verständlich, warum die Interferenzterme verschwinden, aber nicht ohne Weiteres, warum am Ende genau ein bestimmtes Ergebnis eintritt [11].

Katzen aus Ionen, Licht und Molekülen

Mit einer Katze ist das alles aussichtslos, mit kleineren, sehr gut isolierten Systemen dagegen gelingt es. Physiker sprechen dann von **Schrödinger-Katzen-Zuständen**, wann immer sich ein System in einer Überlagerung zweier deutlich verschiedener Zustände befindet.

Den Anfang machten 1996 gleich zwei Gruppen. Monroe, Meekhof, King und Wineland brachten ein einzelnes Beryllium-Ion in eine Überlagerung zweier räumlich getrennter Wellenpakete, ein Atom also an zwei Orten [12]. Brune, Haroche und Kollegen erzeugten im selben Jahr Überlagerungen eines Mikrowellenfelds in einem Resonator und verfolgten, wie die Interferenz mit wachsendem Abstand der Zustände immer schneller verloren ging, sahen der Dekohärenz also gewissermaßen bei der Arbeit zu [13].

Danach wurden die Katzen größer. 1999 wiesen Arndt, Zeilinger und Kollegen Interferenz an C_{60}-Molekülen nach, fußballförmigen Gebilden aus 60 Kohlenstoffatomen [14]. Im Jahr 2000 beobachteten Friedman und Kollegen in einem supraleitenden Ring (SQUID) eine Überlagerung von Strömen im Mikroampere-Bereich, die gleichzeitig im und gegen den Uhrzeigersinn flossen [15]. Vlastakis und Kollegen erzeugten 2013 mit einem supraleitenden Qubit Katzenzustände von Mikrowellenfeldern mit rund 100 Photonen [16], und 2019 zeigten Fein, Arndt und Kollegen Quanteninterferenz von Molekülen aus bis zu 2000 Atomen, mit Massen über 25 000 atomaren Masseneinheiten [17].

Seitdem sind die Katzen weiter gewachsen. 2023 brachte eine Gruppe an der ETH Zürich einen 16 Mikrogramm schweren Kristall in eine Überlagerung zweier entgegengesetzter Schwingungszustände [25]. Anfang 2026 berichtete die Wiener Gruppe um Markus Arndt von Interferenz mit Natrium-Nanoteilchen aus 5000 bis 10 000 Atomen und mehr als 170 000 atomaren Masseneinheiten [26].

Für bahnbrechende experimentelle Methoden zur Messung und gezielten Manipulation einzelner Quantensysteme erhielten Serge Haroche und David J. Wineland 2012 den Nobelpreis für Physik [18]. 2025 ging der Preis an John Clarke, Michel Devoret und John Martinis, die schon in den 1980er-Jahren gezeigt hatten, dass sich ein ganzer elektrischer Schaltkreis wie ein einzelnes Quantenobjekt verhalten kann [27].

Die Geschichte in Jahreszahlen

Jahr	Ereignis
1926	Schrödinger veröffentlicht die Wellengleichung (2).
1932	John von Neumann formuliert das Messproblem mathematisch. [19]
1935	Einstein, Podolsky und Rosen bezweifeln die Vollständigkeit der Quantenmechanik. [3]
1935	Schrödinger stellt die Katze vor und führt den Begriff „Verschränkung“ ein. [1]
1939	London und Bauer bringen das Bewusstsein des Beobachters ins Spiel. [20]
1952	David Bohm veröffentlicht seine Deutung mit verborgenen Variablen. [5]
1957	Hugh Everett formuliert die Grundlage der Viele-Welten-Deutung. [4]
1961	Eugene Wigner beschreibt das Gedankenexperiment „Wigners Freund“. [21]
1970	H. Dieter Zeh beschreibt erstmals die Rolle der Umgebung (Dekohärenz). [7]
1986	Ghirardi, Rimini und Weber stellen ein objektives Kollapsmodell vor. [6]
1996	Erste Katzenzustände mit einem Ion und einem Mikrowellenfeld. [12], [13]
1999	Interferenz von C_{60}-Molekülen. [14]
2000	Überlagerung makroskopischer Ströme in einem SQUID. [15]
2001	Zurek zeigt, wie feine Strukturen im Phasenraum die Dekohärenz bestimmen. [23]
2012	Nobelpreis für Haroche und Wineland. [18]
2013	Katzenzustände mit rund 100 Photonen. [16]
2019	Interferenz von Molekülen aus bis zu 2000 Atomen. [17]

Jahr	Ereignis
2023	Katzenzustand eines 16 Mikrogramm schweren Kristalls. [25]
2025	Nobelpreis für Clarke, Devoret und Martinis (makroskopisches Quantentunneln). [27]
2026	Interferenz von Nanoteilchen mit mehr als 170 000 atomaren Masseneinheiten. [26]

Vom Einwand zur Technik: das Qubit

Was 1935 als Einwand gedacht war, ist heute die Grundlage einer Technologie. Ein Quantencomputer rechnet mit **Qubits**, die sich, ganz wie die Katze, in einer Überlagerung befinden können:

$$|\psi\rangle = \alpha|0\rangle + \beta|1\rangle, \qquad |\alpha|^2 + |\beta|^2 = 1 \tag{11}$$

Die komplexen Zahlen α und β heißen Amplituden, und ihre Betragsquadrate geben nach der Bornschen Regel die Wahrscheinlichkeiten für die Messergebnisse 0 und 1 an. Die größte technische Hürde ist ausgerechnet jene Dekohärenz, die der Katze ihre Überlagerung so schnell nimmt. Ein Qubit muss so gut von seiner Umgebung abgeschirmt sein, dass seine Überlagerung lange genug für eine Rechnung erhalten bleibt. In Mikrowellenresonatoren werden Katzenzustände inzwischen sogar gezielt genutzt, um Quanteninformation darin zu kodieren [16].

Was die Katze nicht beweist

Zurück zur Stahlkammer und zu Ihrer Hand am Riegel. Wer die vorangegangenen Abschnitte im Kopf hat, kann einige verbreitete Lesarten des Gedankenexperiments getrost beiseitelegen.

Am hartnäckigsten hält sich die Vorstellung, die Katze sei vor dem Öffnen wirklich halb tot und halb lebendig. Für ein echtes Tier sorgt die Dekohärenz aber praktisch sofort für einen eindeutigen Zustand [9],[10]. Was das Gedankenexperiment zeigt, ist das Ergebnis, das eine wörtliche Anwendung der Formeln ergäbe, und gerade dieses Ergebnis hielt Schrödinger für unhaltbar. Beweisen wollte er also keineswegs, dass Katzen Quantenobjekte sind; im Gegenteil sollte die Katze vorführen, dass eine naive Deutung der Quantenmechanik zu absurden Folgerungen führt [1],[2].

Ebenso wenig braucht es Sie als Beobachterin oder Beobachter, damit sich das Schicksal der Katze entscheidet. Eine „Messung“ im physikalischen Sinn kommt ohne menschlichen

Zuschauer aus, denn schon die Wechselwirkung mit Zählrohr und Umgebung zerstört die Interferenzterme praktisch vollständig [9],[11]. Woher die Idee mit dem Bewusstsein stammt, steht im Abschnitt Muss jemand hinsehen? weiter oben. Und wer sich um das Tier sorgt, kann beruhigt sein, denn mit Tieren ist der Versuch nie durchgeführt worden, er ist ein reines Gedankenexperiment geblieben. Katzenzustände untersucht man ausschließlich an Ionen, Photonen, Molekülen und supraleitenden Schaltkreisen [12],[13],[14],[15],[16],[17].

Einzelnachweise und Literatur

1. E. Schrödinger: *Die gegenwärtige Situation in der Quantenmechanik.* In: Die Naturwissenschaften 23 (1935), Heft 48, S. 807–812, doi:10.1007/BF01491891; Heft 49, S. 823–828, doi:10.1007/BF01491914; Heft 50, S. 844–849, doi:10.1007/BF01491987.
2. E. Schrödinger: *The Present Situation in Quantum Mechanics.* Übersetzt von J. D. Trimmer. In: Proceedings of the American Philosophical Society 124 (1980), Nr. 5, S. 323–338.
3. A. Einstein, B. Podolsky, N. Rosen: *Can Quantum-Mechanical Description of Physical Reality Be Considered Complete?* In: Physical Review 47 (1935), S. 777–780, doi:10.1103/PhysRev.47.777.
4. H. Everett: *„Relative State“ Formulation of Quantum Mechanics.* In: Reviews of Modern Physics 29 (1957), S. 454–462, doi:10.1103/RevModPhys.29.454.
5. D. Bohm: *A Suggested Interpretation of the Quantum Theory in Terms of „Hidden“ Variables. I.* In: Physical Review 85 (1952), S. 166–179, doi:10.1103/PhysRev.85.166.
6. G. C. Ghirardi, A. Rimini, T. Weber: *Unified dynamics for microscopic and macroscopic systems.* In: Physical Review D 34 (1986), S. 470–491, doi:10.1103/PhysRevD.34.470.
7. H. D. Zeh: *On the interpretation of measurement in quantum theory.* In: Foundations of Physics 1 (1970), S. 69 ff., doi:10.1007/BF00708656.
8. W. H. Zurek: *Decoherence and the Transition from Quantum to Classical.* In: Physics Today 44 (1991), Nr. 10, S. 36–44, doi:10.1063/1.881293.
9. W. H. Zurek: *Decoherence, einselection, and the quantum origins of the classical.* In: Reviews of Modern Physics 75 (2003), S. 715–775, doi:10.1103/RevModPhys.75.715.
10. W. H. Zurek: *Decoherence and the transition from quantum to classical – revisited.* Überarbeitete Fassung von [8], 2003, arXiv:quant-ph/0306072.

11. M. Schlosshauer: *Decoherence, the measurement problem, and interpretations of quantum mechanics.* In: Reviews of Modern Physics 76 (2005), S. 1267–1305, doi:10.1103/RevModPhys.76.1267.
12. C. Monroe, D. M. Meekhof, B. E. King, D. J. Wineland: *A „Schrödinger Cat“ Superposition State of an Atom.* In: Science 272 (1996), S. 1131–1136, doi:10.1126/science.272.5265.1131.
13. M. Brune, E. Hagley, J. Dreyer, X. Maître, A. Maali, C. Wunderlich, J. M. Raimond, S. Haroche: *Observing the Progressive Decoherence of the „Meter“ in a Quantum Measurement.* In: Physical Review Letters 77 (1996), S. 4887–4890, doi:10.1103/PhysRevLett.77.4887.
14. M. Arndt, O. Nairz, J. Vos-Andreae, C. Keller, G. van der Zouw, A. Zeilinger: *Wave–particle duality of C_{60} molecules.* In: Nature 401 (1999), S. 680–682, doi:10.1038/44348.
15. J. R. Friedman, V. Patel, W. Chen, S. K. Tolpygo, J. E. Lukens: *Quantum superposition of distinct macroscopic states.* In: Nature 406 (2000), S. 43–46, doi:10.1038/35017505.
16. B. Vlastakis, G. Kirchmair, Z. Leghtas, S. E. Nigg, L. Frunzio, S. M. Girvin, M. Mirrahimi, M. H. Devoret, R. J. Schoelkopf: *Deterministically Encoding Quantum Information Using 100-Photon Schrödinger Cat States.* In: Science 342 (2013), S. 607–610, doi:10.1126/science.1243289.
17. Y. Y. Fein, P. Geyer, P. Zwick, F. Kiałka, S. Pedalino, M. Mayor, S. Gerlich, M. Arndt: *Quantum superposition of molecules beyond 25 kDa.* In: Nature Physics 15 (2019), S. 1242–1245, doi:10.1038/s41567-019-0663-9.
18. Königlich Schwedische Akademie der Wissenschaften: *Pressemitteilung zum Nobelpreis für Physik 2012.* nobelprize.org.
19. J. von Neumann: *Mathematische Grundlagen der Quantenmechanik.* Springer, Berlin 1932. Nachdruck Springer, Berlin/Heidelberg 1996, doi:10.1007/978-3-642-61409-5.
20. F. London, E. Bauer: *La théorie de l’observation en mécanique quantique.* Hermann, Paris 1939.
21. E. P. Wigner: *Remarks on the Mind-Body Question.* In: I. J. Good (Hrsg.): The Scientist Speculates. Heinemann, London 1961. Nachdruck in: E. P. Wigner: Philosophical Reflections and Syntheses (The Collected Works of Eugene Paul Wigner, Teil B, Band VI), Springer, Berlin/Heidelberg 1995, S. 247–260, doi:10.1007/978-3-642-78374-6_20.
22. D. Howard: *Who Invented the „Copenhagen Interpretation“? A Study in Mythology.* In: Philosophy of Science 71 (2004), S. 669–682, cambridge.org.

23. W. H. Zurek: *Sub-Planck structure in phase space and its relevance for quantum decoherence.* In: Nature 412 (2001), S. 712–717, doi:10.1038/35089017.

24. E. Joos, H. D. Zeh, C. Kiefer, D. Giulini, J. Kupsch, I.-O. Stamatescu: *Decoherence and the Appearance of a Classical World in Quantum Theory.* 2. Auflage, Springer, Berlin/Heidelberg 2003, doi:10.1007/978-3-662-05328-7. Weiterführendes Lehrbuch.

25. M. Bild, M. Fadel, Y. Yang u. a.: *Schrödinger cat states of a 16-microgram mechanical oscillator.* In: Science 380 (2023), S. 274–278, doi:10.1126/science.adf7553.

26. S. Pedalino, B. E. Ramírez-Galindo, R. Ferstl, K. Hornberger, M. Arndt, S. Gerlich: *Probing quantum mechanics with nanoparticle matter-wave interferometry.* In: Nature 649 (2026), S. 866–870, doi:10.1038/s41586-025-09917-9.

27. Nobel Prize Outreach: *The Nobel Prize in Physics 2025* (J. Clarke, M. H. Devoret, J. M. Martinis). nobelprize.org/prizes/physics/2025.

Zitiervorschlag

```
quanten.de: Schrödingers Katze. Stand: Oktober 2026. URL:
https://quanten.de/schroedingers_katze.html (PDF:
https://quanten.de/pdf/schroedingers_katze.pdf)
```

Texte und Abbildungen © 2026 quanten.de. Nutzung mit Quellenangabe und Link gern, kommerzielle Nutzung nach Absprache: info@quanten.de

Weiterlesen: Was sind Quanten? · Die Unschärferelation · Quantenteleportation · Quantencomputer