



**Abb. 1** Schrödingers Katze. Sobald das Metall Strahlung aussendet, registriert dies der Geigerzähler und gibt den Hammer frei, sodass das Zyanid freigesetzt und die Katze getötet wird.

und konnte überzeugend darlegen, dass es tiefgreifende Probleme im Kern der Quantenmechanik gibt, die beantwortet werden müssen. Die Frage nach der Realität einfach als „unwissenschaftlich“ abzutun, wie es manche von Schrödingers Gegnern machten, ist eine unhaltbare Position, die eine veraltete Philosophie als Grundlage hat. Manche Abweichler haben alternative Ansätze für die Quantenmechanik entwickelt, die klar erklären, was in der Welt vor sich geht, ohne die Genauigkeit der Theorie zu opfern.

Die Existenz dieser gangbaren Alternativen hat gezeigt, dass es nicht stimmt, dass wir die Realität in der Quantenphysik aufgeben müssen. Trotzdem hängen die meisten Physiker noch in gewisser Weise an dieser Idee. Sie wird immer noch in den Vorlesungssälen gelehrt und es ist immer noch das Bild, das für die Öffentlichkeit gemalt wird. Selbst wenn die Alternativen erwähnt werden, geschieht das eben nur als Alternativen zum Standard – trotz der Tatsache, dass der Standard überhaupt nicht funktioniert. Deshalb wissen wir selbst ein Jahrhundert nach der ersten Entwicklung der Quantenmechanik – die die Welt und das Leben jedes einzelnen Individuums darin sowohl zum Guten als auch zum Schlechten gründlich verändert hat – immer noch nicht, was sie uns über die Natur der Realität verrät. Diese durch und durch seltsame Geschichte ist das Thema dieses Buches.

Das ist eine erstaunliche Sachlage und kaum jemand außerhalb der Physik weiß darüber Bescheid. Warum sollte das auch jemanden interessieren? Die Quantenphysik funktioniert ja zweifellos. Warum sollten sich dann Physiker damit beschäftigen? Ihre mathematischen Berechnungen ergeben sehr genaue Vorhersagen, reicht das nicht? Doch in der Wissenschaft geht es um mehr als nur um Mathematik und Vorhersagen – es geht darum, ein Bild dafür zu schaffen, wie die Natur funktioniert. Und dieses Bild, diese Geschichte über die Welt, informiert uns sowohl über die alltägliche Praxis der Wissenschaft als auch über die zukünftige Entwicklung wissenschaftlicher Theorien, ganz zu schweigen von dem Tun der Menschen außerhalb der Wissenschaft. Für jede gegebene Menge von Gleichungen gibt es eine Unzahl von Geschichten darüber, was diese Gleichungen bedeuten. Eine gute Geschichte zu nehmen und dann nach den Löchern in dieser Geschichte zu suchen führt dazu, dass die Wissenschaft Fortschritte macht. Die Geschichten, die von den besten wissenschaftlichen Theorien erzählt werden, entscheiden auch über die Experimente, die Wissenschaftler auswählen, und die Art und Weise, wie diese Experimente interpretiert werden. Wie Einstein schon warnte: „Erst die Theorie entscheidet darüber, was man beobachten kann.“<sup>3</sup>

Die Wissenschaftsgeschichte bestätigte das immer wieder. Galileo war nicht der Erfinder des Teleskops – aber er kam als erster auf die Idee, ein gutes Modell davon auf Jupiter auszurichten, weil er glaubte, dass Jupiter ein Planet wie die Erde sei und um die Sonne wandere. Danach wurden Teleskope regelmäßig dafür genutzt, um Kometen, Sternnebel oder Sternhaufen zu beobachten. Doch niemand dachte daran, ein Teleskop dafür zu benutzen, um während einer Sonnenfinsternis herauszufinden, ob die Gravitation der Sonne das Licht der Sterne ablenkt – erst als die allgemeine Relativitätstheorie Einsteins so einen Effekt vorhersagte, und das war drei Jahrhunderte nach Galileos Entdeckung.<sup>4</sup> Unser wissenschaftliches Vorgehen selbst hängt vom gesamten Inhalt unserer besten wissenschaftlichen Theorien ab – nicht nur von der Mathematik, sondern von der Geschichte

---

<sup>3</sup>Werner Heisenberg 1971, *Der Teil und das Ganze*, Piper, München, S. 92.

<sup>4</sup>vgl. Stanley L. Jaki 1978, „Johann Georg von Soldner and the Gravitational Bending of Light, with an English Translation of His Essay on It Published in 1801“, *Foundations of Physics* 8 (11/12):927–950. Das Experiment wäre Jahrzehnte vor Einstein möglich gewesen – und wurde auch tatsächlich hundert Jahre vor Einstein von Johann Soldner als Test für die Newton'sche Physik vorgeschlagen. Doch niemand interessierte sich dafür, bis Einstein eine Konkurrenztheorie zur Newton'schen Gravitation vorschlug, die auf diese Art und Weise überprüft werden konnte.

der Welt, die zu dieser Mathematik gehört. Diese Geschichte ist ein entscheidender Teil der Wissenschaft und des Wegs, der über die existierende Wissenschaft hinaus zur nächsten Theorie führt.

Die Story spielt auch jenseits der Grenzen der Wissenschaft eine wichtige Rolle. Die Geschichten, die uns die Wissenschaft über die Welt erzählt, haben auch in der weiteren Kultur Auswirkungen. Sie verändern die Art und Weise, wie wir die Welt um uns herum und unseren Platz darin betrachten. Die Entdeckung, dass sich die Welt nicht im Mittelpunkt des Universums befindet, Darwins Evolutionstheorie, der Urknall und das expandierende Universum, das fast 14 Mrd. Jahre alt ist und Hunderte von Milliarden von Galaxien enthält, jede mit Hunderten von Milliarden von Sternen – all diese Ideen haben das Bild verändert, wie sich die Menschheit selbst wahrnimmt.

Die Quantenmechanik funktioniert, doch wenn wir ignorieren, was sie uns über die Realität verrät, bedeutet das, dass wir ein Loch im Verständnis der Welt einfach mit einem Blatt Papier zukleistern – und dabei eine große Geschichte über die Wissenschaft als einen menschlichen Vorgang ignorieren.

Vor allem ignorieren wir damit auch eine Geschichte über das Versagen: das Scheitern, über Disziplinen hinweg zu denken, das Scheitern, spezielle wissenschaftliche Zielsetzungen von dem bestechenden Einfluss des großen Geldes und der militärischen Verträge zu isolieren, das Scheitern beim Versuch, nach den Idealen der wissenschaftlichen Methode zu leben. Und dieses Versagen geht jeden denkenden Bewohner unserer Welt an, einer Welt, in der es keine Ecke mehr gibt, die nicht durch die Wissenschaft verändert wurde.

Dies ist eine Geschichte über die Wissenschaft als das menschliche Streben – nicht nur eine Geschichte darüber, wie die Natur funktioniert, sondern auch darüber, wie Menschen funktionieren.

## Prolog – Alles Unmögliche ist getan

Das erste Mal kam John Bell als Student der Universität Belfast mit der Mathematik der Quantenmechanik in Kontakt und war gar nicht glücklich über das, was er da fand. Für Bell war die Quantenphysik ein schleierhaftes Durcheinander. „Ich zögerte zu denken, sie sei falsch“, sagte Bell, „aber ich *wusste*, dass sie *scheußlich* war.“<sup>5</sup>

Der Pate der Quantenphysik, Niels Bohr, sprach über eine Spaltung zwischen der Welt der großen Objekte, über die die klassische Newton'sche Physik herrscht, und der kleinen Objekte, wo die Quantenmechanik regiert. Aber Bohr war unerträglich vage darüber, wo er die Grenze zwischen diesen Welten setzen wollte. Und auch Werner Heisenberg, der Erste, dem eine vollständige mathematische Formulierung der Quantenphysik gelang, war nicht viel besser. Bohrs und Heisenbergs Ansatz für die Quantenphysik – bekannt unter dem Namen *Kopenhagener Deutung* nach dem Sitz von Bohrs berühmten Institut – war von der gleichen Verschwommenheit durchdrungen, die Bell in seinen Quantenphysikvorlesungen kennengelernt hatte.

Kurz bevor Bell 1949 promovierte, stolperte er über ein Buch von Max Born, einem anderen Architekten der Quantenphysik. Es trug den Titel *Natural philosophy of cause and chance* und machte großen Eindruck auf Bell – vor allem die Ausführungen zu einem Beweis des großen Mathematikers und Physikers John von Neumann. Born zufolge hatte von Neumann

---

<sup>5</sup>„but I knew it was rotten“: Jeremy Bernstein 1991, *Quantum Profiles* (Princeton University Press), S. 20. Die Betonung von „wusste“ stammt nach Bernstein von Bell, die Betonung von „scheußlich“ wurde in diesem Zusammenhang von Bernstein eingeführt: „Bell betonte das Wort „scheußlich“ ziemlich genussvoll.“

bewiesen, dass die Kopenhagener Deutung die einzig mögliche Art und Weise war, die Quantenphysik zu verstehen. Entweder war also die Kopenhagener Deutung richtig oder die Quantenphysik war falsch. Angesichts des Erfolgs der Quantenmechanik sah es so aus, als würden die Kopenhagener Deutung und ihre Verschwommenheit bestehen bleiben.

Bell war nicht in der Lage, von Neumanns Originalbeweis selbst zu lesen, denn dieser war nur auf Deutsch veröffentlicht worden, was Bell nicht beherrschte. Nachdem Bell Borns Beschreibung gelesen hatte, „machte er mit praktischeren Dingen weiter“,<sup>6</sup> statt sich weiter um seine Bedenken und die Kopenhagener Deutung zu kümmern. Von nun an beschäftigte er sich mit dem Atomenergieprogramm Großbritanniens und schob seine Zweifel an der Quantenmechanik beiseite. Doch 1952 zerschmetterte eine neue Veröffentlichung seine kurzzeitige Gleichgültigkeit hinsichtlich der Probleme der Kopenhagener Deutung und er „erkannte ..., wie das Unmögliche getan werden konnte.“<sup>7</sup>

Trotz des Beweises durch von Neumann hatte der Physiker David Bohm eine andere Möglichkeit gefunden, die Quantenphysik zu verstehen. Wie das? Wo hatte sich der gewaltige von Neumann geirrt? Und hatte es vor Bohm niemand bemerkt? Ohne von Neumanns Beweis zu lesen, konnte Bell diese Frage nicht beantworten. Aber bis drei Jahre später von Neumanns Buch ins Englische übersetzt wurde, hatte sich das Leben eingemischt: Bell hatte geheiratet und war nach Birmingham gezogen, um in Quantenmechanik zu promovieren. Bohms Veröffentlichung „ist mir nie vollständig aus dem Kopf gegangen“, sagte Bell. „Ich wusste immer, dass sie auf mich wartet.“<sup>8</sup> Mehr als ein Jahrzehnt später kehrte Bell schließlich dazu zurück – und machte die tiefgreifendste Entdeckung über die Natur der Realität seit Einstein.

---

<sup>6</sup>John S. Bell 2004, *Speakable and Unspeakable in Quantum Mechanics*, 2. Aufl. (Cambridge University Press), S. 160.

<sup>7</sup>Bell 2004, S. 160.

<sup>8</sup>Charles Mann und Robert Crease 1988, „Interview: John Bell.“ OMNI, Mai, 90.