

1

Einleitung

Von frühester Jugend an machen wir die Erfahrung, dass wir nur zwei Möglichkeiten haben, um mit einem Objekt zu interagieren, das sich außerhalb unserer Reichweite befindet. Entweder wir bewegen uns bis zu diesem Objekt hin, auf allen Vieren, wie ein Kleinkind, oder wir benutzen einen Gegenstand, zum Beispiel einen Stock, um unseren Arm zu verlängern und dadurch das Objekt zu erreichen. Wenn wir größer werden, erkennen wir, dass auch komplexere Mechanismen eingesetzt werden können – zum Beispiel zur Beförderung eines Briefes, den wir in einen Briefkasten werfen. Der Brief wird von einem Postangestellten abgeholt, manuell oder maschinell sortiert, mit einem Transporter, Zug oder Flugzeug befördert und schließlich dem Empfänger zugestellt. Das Internet, das Fernsehen und unzählige andere Beispiele aus dem Alltag lehren uns, dass sich jede Wechselwirkung und jede Kommunikation zwischen zwei voneinander entfernten Objekten kontinuierlich nach und nach ausbreitet – und zwar gemäß einem Mechanismus, der komplex sein kann, aber immer eine stetige Bahn beschreibt, die man zumindest im Prinzip in Raum und Zeit rückverfolgen kann.

Die Quantenphysik – die sich mit einer Welt beschäftigt, die wir nicht direkt wahrnehmen können – behauptet,

dass räumlich weit voneinander entfernte Objekte mitunter eine Einheit bilden können. Wenn man eines dieser Objekte berührt, dann erzittern alle beide – unabhängig von ihrer Entfernung! Was soll man von einer solchen Sache halten? Ist eine derartige Behauptung überprüfbar? Wie ist dieser Sachverhalt überhaupt zu verstehen? Und ist dank dieser merkwürdigen Quantenphysik eine Fernkommunikation über diese voneinander-entfernten-aber-eine-Einheit-bildenden Objekte möglich?

Das sind die Hauptfragen, mit denen wir uns in diesem Buch beschäftigen.

Ich werde versuchen, Sie an der faszinierenden Entdeckung einer Welt teilhaben zu lassen, die nicht mit Wechselwirkungen beschrieben werden kann, die sich nach und nach ausbreiten – eine Welt, in der so genannte „nichtlokale“ Korrelationen vorkommen können. Wir werden Begriffen wie „echter Zufall“, Korrelation, Information und sogar „freier Wille“ begegnen. Wir werden sehen, wie Physiker nichtlokale Korrelationen erzeugen, wie sie diese dazu verwenden, unknackbare Kryptographieschlüssel herzustellen, und wie diese fabelhaften Korrelationen die „Quantenteleportation“ ermöglichen. Ein weiteres Ziel dieses Buches besteht darin, eine wissenschaftliche Herangehensweise zu illustrieren. Wie kann man sich davon überzeugen, dass eine vollkommen kontra-intuitive Sache stimmt? Welchen Beweis braucht man für einen Paradigmenwechsel und um eine konzeptuelle Revolution zu akzeptieren? Aus einer etwas übergeordneten Perspektive werden wir erkennen, dass die Geschichte der Nichtlokalität der Quantenphysik letztendlich ziemlich einfach und sehr menschlich ist und dass die Natur Zufälle hervorbringt (echte Zufälle!), die sich an

mehreren, sehr weit voneinander entfernten Orten manifestieren können, ohne sich nach und nach von einem Ort zum anderen auszubreiten. Wir werden sehen, dass es der Zufall auch verhindert, dass diese Form der Nichtlokalität zu Kommunikationszwecken genutzt wird – er lässt die Verletzung eines der Gesetze der Relativitätstheorie nicht zu, jenes Gesetzes nämlich, das besagt, dass Kommunikation nicht mit Überlichtgeschwindigkeit erfolgen kann.

Wir leben in einer außergewöhnlichen Zeit: Vor unseren Augen deckt die Physik auf, dass unsere am tiefsten verankerte Intuition nicht stimmt – nämlich die Intuition, dass eine „Interaktion“ zwischen Objekten über eine Entfernung hinweg nicht möglich ist. Ich habe „Interaktion“ in Anführungszeichen gesetzt, weil wir noch präzisieren müssen, was das tatsächlich bedeuten soll. Physiker erforschen die Welt der Quantenphysik, eine Welt, die von Atomen, Photonen und anderen, in unseren Augen geheimnisvollen Objekten bevölkert ist. Dieser Revolution keine Beachtung zu schenken und sich nicht dafür zu interessieren, wäre genauso schade, wie wenn Zeitgenossen der Darwin'schen oder der Newton'schen Revolution diese Umwälzungen ignoriert hätten.

Die jetzt ablaufende konzeptuelle Revolution ist nämlich nicht weniger bedeutsam – sie verändert grundlegend das Bild, das wir uns von der Natur machen, und wird alle möglichen Technologien hervorbringen, die wir uns noch gar nicht vorstellen können.

In Kap. 3 kommen wir zum Kern der Sache: Wir stellen das Konzept der Korrelation mit Hilfe eines Spiels vor, das wir Bell-Spiel nennen wollen. Dieses Spiel wird zeigen, dass gewisse Korrelationen nicht möglich sind, wenn man

lediglich Wechselwirkungen verwendet, die sich allmählich ausbreiten. Dieses Kapitel ist für die nachfolgenden wesentlich, obwohl es keinerlei Quantenphysik enthält. Kapitel 3 ist wahrscheinlich auch das schwierigste, aber der Rest des Buchs wird Ihnen beim Verständnis helfen.

Anschließend fragen wir uns, wie man damit umgehen soll, wenn jemand im Bell-Spiel gewinnt – ein scheinbar unmögliches Ergebnis, das aber dank der Quantenphysik eintreten kann. Danach befassen wir uns mit dem Konzept des „echten Zufalls“ (Kap. 4) und mit der Unmöglichkeit, ein Quantensystem zu klonen (Kap. 5). Die beiden nachfolgenden Kap. 6 und 7 geben eine Einführung in diese seltsame Quantenphysik – zunächst führen wir das theoretische Konzept der Verschränkung ein, danach stellen wir die Experimente vor und ziehen die Schlussfolgerung, die sich aufdrängt: *Die Natur ist nichtlokal*.

Bevor wir diese Schlussfolgerung akzeptieren, fragen wir uns, ob sie tatsächlich unvermeidlich ist. In Kap. 10 werden einige Beispiele der Erfindungsgabe vorgestellt, mit der Physiker versucht haben, zu einer lokalen Beschreibung der Natur zurückzukehren. Dieses Eisen ist noch heiß, sehr aktuell und zeigt, was es bedeutet, „gewitzt wie ein Physiker“ zu sein. Wir setzen unsere Geschichte in Kap. 11 fort mit der Schilderung einiger spannender Forschungsrichtungen. Damit stoßen wir das Tor auf zur aktuellen Forschung.

1.1 Wozu ist das gut?

„Wozu ist das gut?“ ist die Frage, die mir am häufigsten gestellt wird. Allem Anschein nach darf man nichts tun, was keine unmittelbare Anwendung hat. Ich könnte antworten: „Wozu ist es gut, ins Kino zu gehen?“ Es stimmt, dass ich bezahlt werde, um meine geliebte Forschung zu treiben, während ich für das Kino selbst zahlen muss. Ich versuche also, eine politisch korrekte Antwort zu finden. Aber die beste Antwort lautet einfach, dass das Thema faszinierend ist!

Ich leite zwar eine Forschungsgruppe für angewandte Physik. Dennoch stehe ich nicht jeden Morgen auf, um einen tollen Apparat zu erfinden, sondern weil mich die Physik fasziniert! Die Natur zu verstehen – insbesondere wie sie nichtlokale Korrelationen hervorbringen kann – ist ein Ziel, das für sich genommen schon ausreicht. Aber warum arbeite ich dann in einer Gruppe für angewandte Physik? Aus einfachem Opportunismus? Es gibt einen sehr guten Grund, sich für Anwendungen zu interessieren, sogar und vielleicht besonders dann, wenn sich unsere innerste Motivation um Konzepte dreht: Ein wirklich stichhaltiges und neues Konzept zieht zwangsläufig Folgen nach sich und eröffnet notwendigerweise neue praktische Perspektiven. Je revolutionärer ein Konzept, desto futuristischer die Anwendungen. Der riesige Vorteil der Arbeit an potenziellen Anwendungen besteht darin, ein Werkzeug zu haben, um die Konzepte zu testen. Hat man darüber hinaus erst einmal eine Anwendung identifiziert, dann kann niemand mehr die Wichtigkeit des Konzeptes bestreiten: Wie will

man die Bedeutsamkeit eines Konzeptes in Abrede stellen, das die Grundlage für eine Anwendung in der realen Welt bildet?

Die Quantennichtlokalität ist ein ausgezeichnetes Beispiel dafür. Bis zur ersten Anwendung hat die überwiegende Mehrheit der Physiker die Verschränkung und die Nichtlokalität weitgehend ignoriert, wenn nicht sogar als rein philosophisch verunglimpft. Vor 1991 brauchte es Mut, wenn nicht gar Verwegenheit, um sich dafür zu interessieren¹. Es gab nahezu keine akademischen Stellen für diese Forschungsrichtung, während sich heute alle dafür interessieren. Die Motivation der Regierungen, die diese Forschungszentren finanzieren, ist offensichtlich stärker auf die Quantentechnologien zurückzuführen als auf die ihnen zugrunde liegenden Konzepte. Wichtig ist aber, dass die Studenten an diesen Zentren diese neue Physik lernen.

Kapitel 8 stellt zwei nunmehr bereits kommerzialisierte Anwendungen vor: die Quantenkryptographie und die auf der Quantenphysik beruhenden Zufallszahlengeneratoren. Und schließlich berichten wir in Kap. 9 von der wohl überraschendsten Anwendung, der Quantenteleportation.



<http://www.springer.com/978-3-662-43957-9>

Der unbegreifliche Zufall
Nichtlokalität, Teleportation und weitere Seltsamkeiten
der Quantenphysik

Gisin, N.

2014, XXV, 223 S. 13 Abb., Hardcover

ISBN: 978-3-662-43957-9