

QUANTEN, INFORMATION UND WELTERKLÄRUNG

Über Experimentelle Metaphysik und Verborgene Variable

Jede Zeit hat ihre bevorzugte Rhetorik der Welt-Darstellung und –Erklärung. Diese ist eng an Marktverhältnisse und Machtdiskurse gekoppelt. So galt etwa vom 15. bis ins 18. Jahrhundert in den kontinentaleuropäischen Monarchien das *Uhrwerk* als die idealtypische Vorstellung vom Staat. Annähernd gleichzeitig etablierte sich auch ein mechanisch-deterministisches, „uhrwerkhaft“ dargestelltes Naturbild. In der deutschen Romantik wurde dann ein Wechsel vollzogen, der im 19. (insbesondere bei Marx und Engels) und auch noch im 20. Jahrhundert den idealen Staat als *Organismus* vorstellte. In den Wissenschaften erlangte, parallel zur Entwicklung von Dampfmaschinen und Elektrizität, der *Energiebegriff* zentrale Bedeutung. (Die Energiemetapher fand sogar Eingang in den geisteswissenschaftlichen Sprachgebrauch – man denke etwa an Freuds Auffassung der „Libido“ als Energieform.)

Charakterisieren Organismus und Energie in diesem Sinn die Metaphorik der „klassischen Moderne“, so lässt sich unschwer angeben, welcher Begriff seither dominiert. Angesichts der Revolutionen in elektronischer Datenverarbeitung und Telekommunikation sowie der damit beschleunigten Globalisierung, drängt sich hier die *Information* förmlich auf. In Relation zu ihrer Bedeutung ist allerdings einer breiten Öffentlichkeit kaum bekannt, dass es im Kern *eine* naturwissenschaftliche Disziplin ist, der wir diesen letzten Entwicklungsschritt weitgehend verdanken, nämlich der Quantenphysik: „Ohne Quantenmechanik gäbe es keine globale Ökonomie, denn die Elektronik-Revolution, die uns das Computer-Zeitalter brachte, ist ein Kind der Quantenmechanik, wie auch die Photonik-Revolution, die uns das Informations-Zeitalter brachte“, schreiben D. Kleppner und R. Jackiw in „One Hundred Years of Quantum Physics“ (*Science*, 11. 8. 2000).

Die modische Ontologisierung von „Information“

Parallel zur Etablierung der jeweiligen zeit-typischen Metaphorik gab es aber auch immer wieder die (naheliegenden) Bestrebungen, die Charakteristika der entsprechend dominanten Begrifflichkeiten gleich auch zum „tiefsten Wesen“ der Dinge selbst zu erklären. Dies äußerte sich unter anderem in Vorstellungen, dass die Welt eben ein einziger, gigantischer Mechanismus sei, oder die Natur ein riesiger Gesamt-Organismus. In der klassischen Physik wurde der „Energiesatz“ entdeckt bzw. postuliert, sodass seither die Welt im Wesentlichen als ein immenses Energiereservoir betrachtet wurde, dessen Dynamik bloß aus der Umwandlung von der einen in die andere Energieform resultieren sollte, zu der (nach Einsteins berühmter Formel $E = mc^2$) im 20. Jahrhundert auch die massenbehaftete Materie zu zählen ist.

Die bislang letzte Revolution wurde schon angesprochen. Vielleicht lässt sich im kulturellen Bereich die Ausstellung „Les Immatériaux“ im Pariser Centre Pompidou 1985 als Wendepunkt ausmachen, anlässlich der ja J.-F. Lyotard das Zeitalter der Postmoderne ausgerufen hatte. Die Ausstellung sollte ursprünglich „La matière dans tous ses états“ benannt werden (Die Materie in all ihren Zuständen), doch letztlich wurde die Entscheidung für das Wort „Immaterialien“ so begründet: „Das Materielle verschwindet als unabhängige Einheit. Das Prinzip, auf dem die Operationsstruktur [der Informatik, G.G.] aufgebaut ist, ist nicht das einer stabilen ‚Substanz‘, sondern einer unstabilen Menge von Interaktionen. Das Modell der Sprache ersetzt das Modell der Materie.“ (Ausstellungskatalog) Seither ist die Materie im Diskurs um die neuen Medien als „im Verschwinden“ begriffen, um einem diffuseren, selbstverständlich hochkomplexen, letztlich aber un-(be?)greifbaren Informationsbegriff zu weichen. Aber das hatten wir schon des Öfteren: So war es zum Beispiel Lenin selbst, der – angesichts elektromagnetischer Phänomene – heftig gegen das von Ernst Mach propagierte „Verschwinden der Materie“ polemisierte.

Halten wir fest: Der jeweils gerade modische Diskurs verleitet zu einer Ontologisierung seiner zentralen Begrifflichkeiten. Heute ist scheinbar „Information“ einfach alles. Aber kann eine derart einfache „große Erzählung“ (da ist sie wieder!) der unermesslichen Komplexität der Welt je gerecht werden? Ist keine Energie mehr in der Welt? Und lassen sich die Analog-Uhr oder ein Fahrrad nicht nach wie vor am Besten über deren Mechanismus beschreiben? In anderen Worten: Ist es ausgemacht, dass unser derzeitiges Instrumentarium zur Beschreibung von, sagen wir, Prozessen auf

Quanten-Niveau über einen abstrakten Informationsbegriff erfolgen *muss*? Ist die Welt mit Information gleichzusetzen, wie der Physiker John Wheeler in seinem Slogan des „It from the Bit“ suggeriert? Oder wäre nicht doch von einer existierenden, „materiellen“ Welt auszugehen, zu deren Beschreibung wir Informations-Systeme und –Maße konstruieren? Ein Blick auf die Entwicklung der Quantenmechanik bis zur Gegenwart zeigt, dass diese Fragen noch keinesfalls beantwortet sind. Allerdings ist klar erkennbar, dass jene Seite, die einem Primat der Beschreibung (bzw. Information) vor der Existenz der Materie das Wort redet, seit den Anfängen die Entwicklung dominiert. Sie tut dies mit allen Mitteln, bis hin zu Geschichtsfälschung und absichtlicher Fehldarstellung der Gegenseite. Vereinfacht ausgedrückt handelt es sich hier im Kern um die alte Kontroverse zwischen erkenntnistheoretischem Idealismus und Realismus. Genauer betrachtet, geht es um zwei grundverschiedene Weltbilder, die unter den Kürzeln „Kopenhagener Deutung“ und „Kausale Interpretation“ der Quantentheorie subsummiert werden können. In der Ersteren existiert die Welt letztlich nur in Form von Quanten-Information (wie sie der quantenmechanische Formalismus erlaubt), in der Zweiten existiert die Welt auch unabhängig von menschlichen Beobachtern und ihren Informations-Konstruktionen.

Nichtlokale Quanten-Korrelationen über 10 Kilometern

Die spektakulärste Entdeckung der Quantentheorie, die erst in den letzten Jahren experimentell nachweisbar und technologisch verwertbar wurde, basiert vornehmlich auf theoretischen Arbeiten des Physikers John Bell aus den Sechzigerjahren und ist im Begriff der sogenannten „Nichtlokalität“ verankert. Der Schwierigkeit, dieses Phänomen adäquat und vollständig zu erfassen, ist es zu verdanken, dass die Kontroversen darüber nun schon seit Jahrzehnten andauern. Im Wesentlichen geht es, so viel ist heute schon klar, um die Widerlegung eines im 20. Jahrhundert vorherrschenden Atomismus: dass die Welt „im Innersten“ aus kleinsten Teilchen aufgebaut sei, die, nur richtig zusammengesetzt, das „Gesamtgebäude“ ausmachen. Hingegen zeigt das Phänomen der sogenannten „verschränkten Zustände“ der Quantenmechanik, dass die Welt nichtlokal ist: Unter ganz spezifischen Umständen können zwei oder mehr Teilchen, zwischen denen riesige Distanzen liegen, derart zusammengehören, dass man versucht sein könnte, von „Magie“ zu sprechen: bei Manipulation eines von, sagen wir, zwei so „verschränkten“ Teilchen verhält sich das andere, entfernte Teilchen *sofort* so, als ob es die Manipulation am ersten Teilchen „gespürt“ hätte. (Dies lässt sich allerdings erst im Nachhinein feststellen, d.h. nachdem die Ereignis-Tabellen von beiden Orten zusammengebracht und verglichen werden.)

Den Entfernungsrekord hinsichtlich der Distanz zwischen den beiden Teilchen hält eine Forschergruppe unter Nicolas Gisin an der Universität Genf. Sie hat eine Quelle von verschränkten Photonenpaaren in Cornavin bei Genf eingerichtet, sowie je ein Analysatorgerät („Interferometer“) in den Dörfern Bellevue und Bernex (Foto). Die beiden letztgenannten Dörfer liegen 10,6 km auseinander: Diese Distanz ist es, bei der die bisher am weitesten entfernte instantane Beeinflussung eines Teilchens (in, sagen wir, Bellevue) durch die Manipulation am anderen (in Bernex) nachgewiesen wurde. Die Beeinflussung wird dadurch ausgelöst, dass ein Experimentator eine Messung an einem der beiden Arme des Analysators durchführt, die entweder den Zustand +1 oder – 1 anzeigt (Skizze). Werden die beiden Messreihen danach über einen Koinzidenz-Zähler verglichen, so können die quantenmechanischen nichtlokalen Korrelationen nachgewiesen werden.

Verborgene Variable

In einem Festvortrag an der Universität Wien im Jahre 1987, anlässlich des 100. Geburtstages von Erwin Schrödinger, hat der berühmte Physiker John Bell

den (wörtlich) „Skandal“ beklagt, dass die sogenannte „kausale Interpretation“ der Quantenmechanik (nach deBroglie und Bohm) nicht in gleichwertiger Weise mit der „Kopenhagener Interpretation“ behandelt und an den Universitäten gelehrt wird.

Warum sprach Bell in einem derart anklagenden Ton? Um dies zu sehen, ist ein Rückblick auf die Geschichte der Quantentheorie notwendig. Die zentrale mathematische Formulierung der Quantenmechanik ist in Form der sogenannten „Schrödinger-Gleichung“ von ihrem Namensgeber

postuliert worden, die quantenmechanische Zustände („Wellenfunktionen“) mittels komplexer Zahlen beschreibt. Nun sind komplexe Zahlen mathematische Werkzeuge, die es erlauben, zwei Gleichungen für die (herkömmlicheren) reellen Zahlen in eine einzige, kompaktere (und damit auch abstraktere) Gleichung umzuwandeln. Dem Physiker David Bohm (und vor ihm Louis de Broglie) war aber Folgendes aufgefallen: die (komplex-wertige) Schrödinger-Gleichung lässt sich zwar nicht anschaulich interpretieren, doch wenn man sie in ihre zwei äquivalenten (reell-wertigen) Gleichungen zerlegt, machen diese beiden plötzlich Sinn! Bohm veröffentlichte 1952 seine Theorie der „verborgenen Variablen“, die er als Erklärungsgrößen hinter diesen Gleichungen erkannte, im Glauben, dass nun die Physics Community sich dankbar darauf stürzen würde, um zu einem tieferen Verständnis zu gelangen. Die Hinweise auf verborgene Variable waren für Bohm, und in der Folge für seine Mitarbeiter, ein starkes Indiz dafür, dass die Quantenmechanik in der geläufigen („Kopenhagener“) Form letztlich unvollständig sei, und früher oder später mit dem Ansatz der kausalen Interpretation ein tieferes Verständnis erzielbar wäre. Im Zentrum dieses Ansatzes steht die Annahme der Existenz eines „Äthers“, der das Quanten-Vakuum erfüllt und letztlich für die (inzwischen beobachteten) nichtlokalen Korrelationen ("kausal") verantwortlich sein soll.

Um die Geschichte kurz zu machen (und dabei auch Bohms tragisches Forscherleben auszuklammern): Die kausale Interpretation wurde über viele Jahre hinweg von den führenden Wissenschaftlern ignoriert oder mitunter falsch dargestellt. Eine ernsthafte Auseinandersetzung mit der orthodoxen (Kopenhagener) Position fand nie statt. Bis John Bell 1964 in einer aufsehenerregenden Publikation zeigte, dass erstens ein „No-go-Theorem“ des Mathematikers John von Neumann gegenüber Theorien verborgener Variablen fehlerhaft war, und zweitens, dass die Quantenmechanik nichtlokale Korrelationen zeigen müsse. Bohms Theorie verborgener Variablen ist eine explizit nichtlokale Theorie und daher im Einklang mit Bells Argument und den nachfolgenden Beobachtungsdaten.

Was geschah seit Bells berühmten Publikationen hinsichtlich der Theorien verborgener Variablen? Nun, diverse Arbeitsgruppen zur Bohmschen Theorie konnten sich langsam etablieren und unter anderem eine „virtuelle“ Visualisierung von Quantenprozessen demonstrieren. Die Gegenseite wiederum blieb weitgehend bei ihrer strikt ablehnenden Haltung und übte sich – nachweislich sehr häufig – in der Rhetorik, dass die Bellschen Resultate (die übrigens ihrerseits aus einer Beschäftigung mit Bohms Theorie hervorgingen!) nunmehr endgültig zeigten, dass Theorien verborgener Variablen ausgeschlossen wären. (Letzteres trifft nur auf sogenannte „lokale“ Varianten zu, die aber mit der nichtlokalen Bohms nichts gemein haben.) Neuestes Beispiel: In der eingangs erwähnten Retrospektive über „One Hundred Years of Quantum Physics“ schreiben die Autoren über die jüngsten Experimente zum Nachweis der Nichtlokalität: „Ihre kollektiven Daten laufen im Wesentlichen darauf hinaus, dass sie in entscheidender Weise gegen die Möglichkeit verborgener Variablen sprechen. Für die meisten Wissenschaftler beseitigte dies jeden Zweifel über die Gültigkeit der Quantenmechanik.“ In dieses (schlicht falsche) Bild passt auch der Umstand, dass sich auf der Rednerliste der jüngst abgehaltenen Wiener Tagung anlässlich des 10. Todestages von John Bell kein einziger Repräsentant der kausalen, Bohmschen Theorie befand.

All dies sagt nicht nur etwas über Machtdiskurse im Wissenschaftsbetrieb, sondern auch über die Notwendigkeit einer grundsätzlichen Wachsamkeit gegenüber vereinfachender (oder gar verfälschender) Welterklärungs-Rhetorik. Jegliche Behauptung des Sieges einer metaphysischen Grundposition (wie der des Idealismus der orthodoxen Quantenmechanik) ist ganz einfach vermessen.

Gerhard Grössing

(Der Artikel ist erschienen in „Der Standard“ (Album, S. 3) vom 16.12.2000. Die hervorgehobenen Passagen, die konkrete Vorwürfe zum Inhalt haben, waren von der Redaktion entfernt worden.)