

Die großen Paradigmenwechsel der Physik in unserem Jahrhundert und ihre Konsequenzen

Herbert Pietschmann

Unser Thema ist ziemlich anspruchsvoll, aber ich werde versuchen, es Ihnen doch in einer Stunde näher zu bringen. Bevor wir die Konsequenzen der Paradigmenwechsel besprechen, müssen wir uns anschauen, was damit eigentlich gemeint ist. Kurz gesagt, ein "Paradigma" ist das, was unserem Denken und Handeln vorausgesetzt und meistens gar nicht reflektiert oder diskutiert wird. Es wird einfach außer Streit gestellt. Da gibt es eine ganze Menge von solchen Voraussetzungen, die in jeder Kultur anders sein können. Sie können sich nicht nur auf das Denken, sondern auch auf das Handeln beziehen und werden heute als "Paradigma" bezeichnet. Der Begriff stammt vom Wissenschaftstheoretiker Thomas Kuhn, der ihn allerdings zunächst auf die Wissenschaften bezogen hat, heute wird er aber allgemeiner gebraucht.

Die Vorgeschichte

Bevor wir uns dem Paradigmenwechsel, also dem Neuen der Physik des 20. Jahrhunderts, zuwenden, müssen wir uns kurz anschauen, was es denn vorher gab! Mir fällt dazu eine schöne Geschichte ein, wonach der Mathematiker und Astronom Bessel am Hof, an dem er gedient hat, einmal von seinem Herrscher gefragt wurde, was es denn Neues gäbe in der Astronomie. Daraufhin hat Bessel zurückgefragt: "Sire, kennen Sie das Alte?". Es hat ja gar keinen Sinn, vom Neuen zu sprechen, wenn man sich nicht überlegt, was denn vorher war.

Nun, das Ende des 19. Jahrhunderts kann ich wieder durch eine kleine Geschichte charakterisieren, wobei ich nicht überprüft habe, ob sie historisch ist, aber sie beschreibt die Stimmung in der Physik sehr gut. Demnach hat Max Planck, einer der großen Physiker, die am Beginn unseres Jahrhunderts einen Paradigmenwechsel eingeleitet haben, als Student seinen Professor gefragt, für welchen Beruf er sich entschließen soll; Max Planck war nämlich außer seiner Begabung als theoretischer Physiker auch ein hervorragender Pianist. Sein Professor soll ihm nach dieser Geschichte gesagt haben, er solle natürlich Pianist werden, denn in der Physik sei ja nichts wesentliches mehr zu machen. Das war die Einstellung am Ende des vorigen Jahrhunderts, die Physik sei eine abgeschlossene Wissenschaft.

Dazu müssen wir uns in Erinnerung rufen, daß das, was wir *heute* Physik nennen, erst im 17. Jh. entstanden ist. Schon Aristoteles hat ein großes Werk "Physik" geschaffen; es handelt aber nicht von dem, was wir heute unter "Physik" verstehen. Was wir heute als Physik bezeichnen, ist im 17. Jh. entstanden, in der ersten Hälfte die Methode, entwickelt von Galilei. In der 2. Hälfte wurde durch Newton das erste große Gebäude der Physik fertig erstellt, und zugleich die Idee der Vereinheitlichung begründet.

Die Voraussetzungen, die dabei angenommen wurden, hat Galilei sehr deutlich formuliert. Sie wissen ja, das war die Zeit - Galilei war ungefähr 36 Jahre alt - in der der Kampf um die Wahrheit mit der Kirche ausgetragen wurde. Galilei hat gewußt, die Wahrheit darf er nicht angreifen; es tobten ja die Religionskriege, Giordano Bruno wurde wegen dieses Deliktes im Jahre 1600 verbrannt! Das war also eine durchaus gefährliche Zeit und Galilei hat daher beschlossen, die Wahrheit nicht anzugreifen. Das ist ganz wichtig, denn es wird manchmal falsch dargestellt. Hätte Galilei die Wahrheit angegriffen, wäre er genauso verbrannt worden wie Giordano Bruno. Galilei hat deutlich gesagt, er greife die Wahrheit nicht an, die Wahrheit sei Sache des Heiligen Geistes und soll Sache des Heiligen Geistes bleiben.

Aber Galilei behauptete, eine Methode zu haben, um zu *Kenntnissen* über die Natur zu gelangen! In heutiger Sprache: die Gesetze der Materie in Raum und Zeit zu erkennen. Das hat nichts mit Geist zu tun, nichts mit Wahrheit, Galilei hat nur von *Wissen* und von *Kenntnissen* gesprochen. Damit hat er tatsächlich die Methode der modernen Naturwissenschaft begründet! Mittels eines Experimentes werden "Hypothesen" überprüft und jene aussortiert, welche dem Experiment widersprechen. Wenn dann nur eine überbleibt, können wir sie zu den neuen Kenntnissen über die Natur zählen. Die "Neue Wissenschaft", die Naturwissenschaft, beschränkt sich ausschließlich auf Materie in Raum und Zeit. Das war von allem Anfang an der Ansatz des Galilei.

Das mechanistische Weltbild

Die Trennung von Materie und Geist stammt von Galileis Zeitgenossen Rene Descartes, der es damals leichter gehabt hat, er bewegte sich im protestantischen Raum Europas, wo es nicht ganz so gefährlich war, einen neuen Zugang zur Wahrheit zu suchen. Während Galilei die Wahrheit unangetastet dem Heiligen Geist überließ, hat Descartes versucht, einen neuen Weg zur Wahrheit zu finden. Seine Methode war der Zweifel. Wenn alles angezweifelt wird und dennoch etwas übrig bleibt, dann muß es die Wahrheit sein. Aber das einzige, was an Wahrheit übriggeblieben ist, war das berühmte "cogito, ergo sum". Ich denke (oder ich zweifle), daher bin ich. Also hat Descartes geschlossen, die einzige Wahrheit, die ich finde, bezieht sich auf meinen Geist, aber das kann ja nicht genug sein. Wir müßten ja auch Materie in Raum und Zeit unbezweifelbar beschreiben können. (Er hat allerdings dafür einen Ansatz gewählt, von dem wir heute wissen, daß er nicht zielführend ist. Als Kriterium setzte er nicht das Experiment, sondern die Mathematik.)

Descartes hat jene Trennung eingeführt, die wir zwischen Geist und Materie finden, die Unterscheidung von "res cogitans" und "res extensa". Die Methode des Galilei hat sich nur auf die Materie bezogen, war dort aber unglaublich erfolgreich. Sie war so erfolgreich, daß man am Beginn des 19. Jh. die Meinung vertreten konnte, wir wissen jetzt alles, denn in

Dieser Artikel ist eine vom Autor redigierte Abschrift nach freiem Vortrag

Bezug auf Materie in Raum und Zeit können wir tatsächlich alles, was wir wissen müssen, herausfinden! Und was wir jetzt noch nicht wissen, werden wir einmal wissen! Das war in Bezug auf Materie in Raum und Zeit durchaus ein Anspruch, der nicht von dummen Leuten erhoben wurde, der sicherlich zu rechtfertigen war, aber eben nur in Bezug auf Materie in Raum und Zeit.

Damit hat sich etwas herausgebildet, was ich den "neuzeitlichen Denkraum" nenne. Man hat nämlich gesagt, wenn wir jetzt stillschweigend die Voraussetzung aufnehmen, das einzig real Existierende sei die Materie, dann sind wir tatsächlich allmächtig. Dieses Weltbild wurde bis zum Ende des 19. Jh. ausgebaut, ich muß dazu sagen, es waren nicht etwa die Physiker, die das propagiert haben! Voltaire war zum Beispiel einer der großen Vertreter, der dieses Weltbild propagiert hat, nachdem er die Physik Newtons kennengelernt hat. Er meinte, jetzt hätten wir eine neue Religion, jetzt bräuchten wir die Kirche nicht mehr. Jetzt können wir alle Naturgesetze, alles über Materie in Raum und Zeit herausfinden.

Man war damals der Meinung, daß die Mechanik der Massenpunkte in Raum und Zeit und die Kräfte zwischen ihnen die Grundlage der Physik sein müsse, es war ja die erste Disziplin, die geschaffen worden war. Man war daher der Meinung, daß man die Welt verstehen könne als ein großes Uhrwerk. Das Weltbild war mechanistisch und deterministisch! Laplace hat gesagt, wenn die Welt wirklich ein großes Uhrwerk ist, die Teilchen des Universums wirklich das einzige sind was es gibt, werden wir mit Hilfe der Physik alles, was in dieser Welt geschieht erfassen können. Er hat es so ausgedrückt: Wenn es einen Geist gäbe, der in einem einzigen Augenblick alle Orte und Geschwindigkeiten sämtlicher Teilchen des Universums kennte, könnte er aus einer einzigen Formel berechnen, was jemals geschehen ist und was jemals geschehen wird. Es ist der berühmte "Laplace'sche Dämon", Ausdruck des Materialismus und Determinismus. Damals haben sich auch die Herrscher für die Neue Methode interessiert. Napoleon hat Laplace gefragt, wo bleibt in dieser Theorie Gott? und Laplace hat folgerichtig geantwortet: Sire, diese Hypothese benötige ich nicht mehr!

Das war so die Stimmung bis ins Ende des vorigen Jh. Einer der großen Erfolge der mechanistischen Sichtweise geht auch auf einen Österreicher zurück, auf Ludwig Boltzmann, der auch in Graz lehrte.

Er führte die Wärmelehre auf die Mechanik zurück! Auch der Begründer der elektrodynamischen Theorie, James Clark Maxwell, hat mechanistisch gedacht! Wenn Sie ein elektrisches Gerät kaufen, werden Sie gefragt, für welche Spannung. (220 Volt bei uns). Spannung ist ein Begriff aus der Mechanik. In der Elektrodynamik wurden einfach die Begriffe der Mechanik übernommen.

Die Krise der klassischen Physik

Am Ende des vorigen Jahrhunderts sind zwei Ereignisse eingetreten, die das ganze Gebäude radikal umgeworfen haben. (So radikal, daß es bis heute Kollegen und Kolleginnen gibt, die das bedauern.) Zu jener Zeit, als man dachte, die Physik sei im wesentlichen eine abgeschlossene Wissenschaft, sind verschiedene Experimente gemacht worden, die im Widerspruch zu dem geschlossenen Gebäude gestanden sind. Newton hatte

ja zur Beschreibung der Materie in Raum und Zeit gefordert: es gibt den "absoluten Raum" und die "absolute Zeit", Materie ist gewissermaßen "im" absoluten (leeren) Raum und "daneben" verfließt die absolute Zeit.

Nachdem die Elektrodynamik gefunden war, und man festgestellt hat, daß elektromagnetische Wellen sich in diesem Raum ausbreiten, hat man sich den Raum vorgestellt als erfüllt mit "Äther", dem Medium, in dem sich elektromagnetische Wellen ausbreiten, etwa wie Wellen auf einer Wasseroberfläche. Und da wollte man feststellen, wie groß die Geschwindigkeit des Sonnensystems und der Erde in diesem Medium, dem Äther, sei. Dabei hat sich herausgestellt, daß die Erde in diesem Äther scheinbar ruht, ihre Geschwindigkeit sei Null! Stellen sie sich das vor! Angefangen hat doch alles mit Galilei, mit der großen Auseinandersetzung um die Frage der Bewegung der Erde! Galilei hat sich auf Kopernikus berufen. Kopernikus - übrigens ein Mann der Kirche - hatte die Hypothese vertreten, die Sonne stehe im Mittelpunkt und die Erde bewege sich um die Sonne, während nach Aristoteles und Ptolemäus die Erde ruht und die Sonne umläuft. Und jetzt kommt man auf einmal darauf, die Erde ruht im Äther! Man hat dann die tollsten Experimente gemacht, ich kann sie Ihnen gar nicht alle schildern. Alle diese Experimente haben gezeigt, daß die Erde keine feststellbare Bewegung gegen den Äther aufweist.

Im Grunde genommen gab es einen Widerspruch zwischen Mechanik und Elektrodynamik. Denn die Elektrodynamik fordert den Äther als raumfestes Medium und die Mechanik postuliert den leeren Raum, in dem es eigentlich nur Relativbewegungen gibt. (Sie kennen das aus dem Erlebnis in einem Zug, wenn der Zug am Nebengeleise anfährt und Sie meinen, selbst in Bewegung zu geraten)

Diesen Widerspruch zwischen Mechanik und Elektrodynamik mußte man irgendwie loswerden, damit die Physik eine einheitliche Wissenschaft bleibt. Selbstverständlich war man der Meinung, die jüngere Elektrodynamik müsse sich anpassen, um den Widerspruch zu eliminieren, denn die Mechanik war ja schließlich die Grunddisziplin der Physik. Die Welt war die Materie in Raum und Zeit, und wir Menschen sind sozusagen irgendwelche Zuschauer (oder auch Akteure) und wir schauen nur an, was an sich schon da ist, unabhängig davon, ob wir da sind oder nicht.

Bevor ich Ihnen die Lösung dieses ersten Widerspruches sage, erzähle ich Ihnen gleich den zweiten, der am Ende des vorigen Jahrhunderts auftauchte. Man ist nämlich auch draufgekommen, daß der Atombegriff nicht so einfach zu handhaben ist, wie man sich das gedacht hat. In der Physik hat man sich seit Demokrit unter Atom das kleinste, unteilbare Teilchen vorgestellt. (Kleine, unteilbare Kugel sozusagen). Damit ist ein Problem verbunden, das man einfach weggeschoben hat. Denn es ist ein wesentliches Bestimmungsstück der Ausdehnung, daß alles, was ausgedehnt ist, auch teilbar sein muß. Es ist fast ein Synonym. Was aber nicht ausgedehnt - also punktförmig, diskret - ist, kann unmöglich die kontinuierlich ausgedehnte Materie erfüllen. Demokrit hat dieses Problem mit dem Begriff des "Atomon" beiseite geschoben und der Große Newton ist ihm noch ausgewichen, indem er gesagt hat, was Gott am Anfang aller Zeiten unteilbar geschaffen hat, das kann der Mensch nicht teilen.

Am Ende des vorigen Jahrhunderts ist dieses Problem aufgebrochen, als man feststellte, daß scheinbar kontinuierliche Meßgrößen wie die elektrische Ladung oder der Energieinhalt von Strahlung einer bestimmten Wellenlänge nur diskrete Werte annehmen können.

Spezielle Relativitätstheorie

Der erste Paradigmenwechsel ist aus dem Widerspruch zwischen Mechanik und Elektrodynamik entsprungen. Erstere kannte - wie schon gesagt - nur Relativbewegung, letztere ein raumfestes, durch den ruhenden Äther ausgezeichnetes System. Nach den Gesetzen der klassischen Mechanik sollte das Licht im Äther genau die "Lichtgeschwindigkeit" haben, in jedem relativ dazu bewegten jedoch eine andere. Ein Beispiel soll dies erläutern: Wenn Sie sich einen Zug vorstellen, der 100 km/h fährt, und Sie gehen von hinten nach vor in den Speisewagen mit 4 km/h, dann bewegen Sie sich gegenüber dem Bahnsteig mit 104 km/h, und wenn Sie wieder zurückgehen mit 96 km/h. Das scheint trivial. Nun sind aber die Physiker schon vor Einstein daraufgekommen, daß dem nicht so ist. Das Licht hat immer die gleiche Geschwindigkeit, völlig unabhängig davon, wie sich die Lichtquelle und wie Sie selbst sich bewegen. Das war etwas Faszinierendes, Unerwartetes, das einen gewaltigen Widerspruch bedeutete. Lorentz hat - schon vor Einstein - vorgeschlagen, bewegte Gegenstände könnten sich verkürzen, um den Widerspruch zu eliminieren. Aber die Lösung ist dann erst von Einstein gekommen.

Vielleicht darf ich Ihnen kurz von Einstein erzählen. Er hat ja in Zürich an der Universität studiert. Eine Bemerkung nebenbei: Albert Einstein hat am Ende des vorigen Jahrhunderts dort seine Frau kennengelernt, eine Mathematikerin. Sie war Serbin, mußte aber in Zürich studieren, weil die Universität in Zürich die einzige Universität Europas war, an der damals schon Frauen zugelassen waren.

Einstein war ein genialer "Feuergeist", den man auch als "Wirrkopf" sehen konnte. Seine Professoren an der Universität haben ihn daher für eine wissenschaftliche Laufbahn ungeeignet erachtet. Er wurde dann Beamter des Patentamtes in Bern und in meinem Institut in Wien hängt ein vergrößerter Ausschnitt einer Tageszeitung, in der Albert Einstein annoncierte, er gäbe Nachhilfestunden in Mathematik. In seiner Zeit im Patentamt hat er offenbar einen sehr gütigen Chef gehabt, der ihn im Jahre 1905 drei Arbeiten veröffentlichen ließ. Jede einzelne für sich hätte alleine schon die Physik revolutioniert. Eine davon war über die spezielle Relativitätstheorie. Der Grundgedanke dieser Arbeit ist der erwähnte Paradigmenwechsel. Einstein hat nämlich gesagt, die von Lorentz vorgeschlagene Verkürzung bewegter Gegenstände löst den Widerspruch nicht auf. Denn wenn die Bewegung relativ ist, dann sagt der Bahnhofsvorstand der Zug wird kürzer, und der Schaffner sagt der Bahnhof wird kürzer. Einstein fragte also, wie kann man das lösen.

Die Formeln für die Größe der Verkürzung, die sogenannte "Lorentz-Kontraktion" sind übrigens schon von Lorentz gefaßt worden. Aber erst Einstein hat sie erklärt und verstanden. Deshalb gilt Einstein als Gründer dieser Theorie.

Einstein ist behutsam vorgegangen und hat die Voraussetzungen aller Begriffe hinterfragt! Eine davon war doch: Die Materie befindet sich in Raum und Zeit völlig unabhängig davon,

ob wir sie beobachten oder nicht, wir können Messungen an ihr vornehmen. Das mag trivial erscheinen, mußte aber nun hinterfragt werden. Das Neue, der Paradigmenwechsel, besteht nun darin, daß in alle Überlegungen einbezogen wird, es macht keinen Sinn irgend etwas anzunehmen, was grundsätzlich nicht erkannt werden kann. Es ist heute wieder sehr wichtig, darauf hinzuweisen, weil es einen gewissen Zweig in der Esoterik gibt, der über Dinge redet, die man grundsätzlich nicht beobachten kann. Das ist ein Rückfall ins vorige Jahrhundert. Denn die entscheidende Beobachtung Einsteins war gerade, sich zu überlegen, was denn *grundsätzlich* beobachtbar oder meßbar ist. Nur davon kann man auch sinnvollerweise reden.

Es kann freilich sein, daß man irgend etwas gerade einmal nicht messen kann, weil etwa die Geräte nicht ausreichen; es geht aber nun um die *grundsätzliche* Meßbarkeit. Man kann etwa Längen jederzeit mittels eines Maßstabes messen. Das ist kein Problem, wenn der zu messende Gegenstand ruht. Was ist aber, wenn ich die Länge eines bewegten Gegenstandes messen will? Etwa einen Zug, der mit 100 km/h durch den Bahnhof fährt. Es genügt nicht, einen Maßstab hinzulegen, sondern ich muß auch *gleichzeitig* vorne und hinten ablesen oder ein Stricherl machen! Wenn vorne - bei der Lok - das Stricherl ein bißchen zu spät gemacht wird, dann ist der Zug länger, und wenn es ein bißerl zu früh gemacht wird, ist der Zug kürzer. Wenn das nur ein Fehler ist, kann man den Fehler ausmerzen. Aber Einstein hat gezeigt, daß es *grundsätzlich* unmöglich ist, in relativ zueinander bewegten Systemen Uhren zu synchronisieren. Die Idee, daß es den absoluten Raum gibt und die absolute Zeit quasi daneben abläuft, war zu naiv. Die Zeit ist eine ungeheuer komplizierte Sache. Es gibt keine absolute Zeit, sondern die Zeit ist ein Maß, das für jeden bewegten Beobachter anders abläuft. Deswegen ist das was am Bahnhof gleichzeitig ist, im Zug nicht gleichzeitig und umgekehrt. *Deswegen* wird die Länge eines Gegenstandes, der sich bewegt, kürzer sein, weil die Gleichzeitigkeit eine andere ist.

Wie lange ist der Maßstab nun wirklich? Diese Frage ist seit Einstein verboten! Weil für Materie nun gilt, wirklich ist das, was wir messen. Eine Wirklichkeit darüber hinaus ist nicht sinnvollerweise zu postulieren. Das war der Paradigmenwechsel, den Einstein verursacht hat. Ein Jahr später, im Jahre 1906, ist die berühmte Formel $E = mc^2$ daraus entstanden. Das ist die Einsteinsche Formel. Die Grundgleichungen der speziellen Relativitätstheorie, die sogenannte "Lorentz-Transformation", stammen nicht von Einstein, aber erst er hat sie richtig interpretiert und verstanden. Erst dieses Verständnis führte zum Paradigmenwechsel, daß es *in der Physik* nicht sinnvoll ist, *Meßgrößen* zu definieren, die grundsätzlich nicht meßbar sind. Nur das was ich messen kann, kann ich als *Physikalische Wirklichkeit* annehmen.

Allgemeine Relativitätstheorie

Der Vollständigkeit halber sei auch die Allgemeine Relativitätstheorie erwähnt, obwohl ich sie hier nur oberflächlich streifen kann.

Während Einstein mit der speziellen Relativitätstheorie den Begriff der "absoluten Zeit" eliminiert hat, tat er Ähnliches mit der Allgemeinen Relativitätstheorie bezüglich des "absoluten Raumes". (Erstere ist eine Theorie der Kinematik aller Gebiete

der Physik, letztere ist die Theorie der Gravitation, die Newtons klassische Gravitationstheorie ersetzt.) Vielleicht darf ich einen Einstein zugeschriebenen Ausspruch zitieren: Demnach hat Einstein selbst seine Allgemeine Relativitätstheorie folgendermaßen charakterisiert: Vor der Allgemeinen Relativitätstheorie glaubte man, daß der leere Raum übrig bleibt, wenn man die Materie aus der Welt entfernt; seit der Allgemeinen Relativitätstheorie wissen wir, daß mit der Materie auch Raum und Zeit verschwinden!

Quantenmechanik

Das Wesentliche des Paradigmenwechsels ist - wie gesagt - daß das *grundsätzlich* Unmessbare keinen physikalischen Wirklichkeitsanspruch als *Meßgröße* hat. Es ist dies nicht mit dem philosophischen Positivismus zu verwechseln! Hier geht es um die Konstruktionselemente der physikalischen Wirklichkeit (oder des Modells der Physik). Das wurde noch deutlicher beim zweiten großen Paradigmenwechsel. Dieser Schritt war so gewaltig, daß er nicht mehr von einem Einzelnen vollzogen werden konnte. Für die Relativitätstheorie war Einstein ja der alleinige "Vater". Die Quantenmechanik war das Werk einer ganzen Physikergeneration unter der "väterlichen" Obhut von Niels Bohr.

Ursprung und treibende Kraft dieses Paradigmenwechsels war der Widerspruch, der auftaucht, wenn wir nach den letzten Bausteinen der Materie fragen, wie wir schon erwähnt haben. Demokrit hat sie schon vor zweieinhalb Jahrtausenden "Atome" genannt, die unteilbaren letzten Teilchen der Materie. Wenn nun diese "kleinsten" Teilchen selbst noch ausgedehnt sind, dann sind sie weiter teilbar. Wenn wir sie nicht ausgedehnt, also punktförmig auffassen, dann können wir die Materie nicht mehr aus ihnen aufbauen. Denn aus punktförmigen, also ausdehnungslosen, "diskreten" Objekten kann kein Kontinuum zusammengesetzt werden.

Wir wissen freilich heute, daß die Atome nicht die letzten Bausteine der Materie darstellen; aber das soeben Gesagte gilt weiterhin, immer für die jeweils "kleinsten" Bausteine der Materie, zum Beispiel Elementarteilchen.

Physikalisch hat sich dieser Widerspruch erst geäußert, als man die Frage nach der Natur der Atome stellen konnte. Am Ende des vorigen Jahrhunderts war die Physik schön eingeteilt in die verschiedenen Gebiete, die entweder ein Kontinuum beschrieben (wie etwa die Elektrodynamik) oder mit diskreten Objekten arbeiteten (wie etwa die Mechanik der Massenpunkte). Diese beiden unterschiedlichen Gebiete der Physik benutzten verschiedene Begriffe. Die Mechanik der Massenpunkte zum Beispiel Energie und Impuls; in der Kontinuumsphysik waren die typischen Begriffe etwa Dichte, Wellenlänge, Frequenz und dergleichen. Die Experimente, die für beide Gebiete charakteristisch sind, unterscheiden zugleich ganz eindeutig diskrete und kontinuierliche Phänomene. In der Physik der Massenpunkte (oder Teilchen) sind es Stoß- und Streuexperimente, in der Physik des Kontinuums (dazu gehören Wellenphänomene) sind es Interferenz und Beugung, sowie die Bestimmung von Verteilungen (etwa einer Ladung).

Am Ende des vorigen Jahrhunderts ist diese schöne Einteilung zusammengebrochen, und zwar das erste Mal durch die Entdeckung der elektrischen Elementarladung. (Das Elektron wurde 1897 entdeckt). Denn nach der Kontinuumshypothese

kann die elektrische Ladung jeden beliebigen Wert annehmen. Mit der Entdeckung der elektrischen Elementarladung (der Ladung eines einzelnen Elektrons) ist man draufgekommen, daß das nicht stimmt. Jede elektrische Ladung, die es irgendwo gibt, ist immer ein ganzzahliges Vielfaches der Elementarladung. Das war der erste große Schritt. Die elektrische Elementarladung ist gewissermaßen ein "Atom" der Ladung, das nicht weiter geteilt werden kann, obwohl es selbst keine verschwindend kleine Größe darstellt. Damit war der Demokritsche Ansatz zwar nicht in räumlicher Hinsicht, aber doch erstmalig realisiert.

Bald darauf stellte sich die Frage, was ist das Atom. J. J. Thomson, der das Elektron entdeckt hatte, mußte sich ein Modell vom Atom machen, das einerseits die Elektronen als "Quanten" der elektrischen Ladung enthielt, andererseits aber die experimentell gesicherte Kugelgestalt der Atome wiedergab. Er stellte sich das Atom als positiv geladenes Kügelchen vor, in dem - wie in einem Rosinenkuchen (oder eigentlich Gugelhupf) - die Elektronen wie die Rosinen stecken. Man nennt dieses - heute freilich überholte - Modell daher auch das "Rosinenkuchen-Modell" des Atoms. Darin sind diskrete Elemente (Elektronen) mit kontinuierlichen (positiver Körper) schön vereint.

1911 hat Rutherford mit seinen berühmten Streuexperimenten den Atomkern entdeckt. Er ist draufgekommen, daß die Masse des Atoms (und damit auch die positive Ladung) selber quasi punktförmig im Atomkern vereint ist. Als punktförmig können wir den Atomkern bezeichnen, weil für die damalige Zeit eine weitere Auflösung aus technischen Gründen noch nicht möglich war. Damit hat man ein großes Problem gehabt, denn nun waren die notwendigen kontinuierlichen Aspekte im Atommodell verloren gegangen. In dieser verzweifelten Situation hat sich Rutherford gesagt, wenn wir punktförmige Elektronen, und für die damalige Begriffe punktförmige Atomkerne haben, dann bleibt als einzige Möglichkeit, sich ein Atom wie ein kleines Planetensystem vorzustellen, wo die Elektronen wie Planeten um den Kern kreisen. Rutherford hat aber gewußt, daß das in physikalischer Hinsicht ein Blödsinn ist. Aber als Experimentalphysiker hat er einen jungen, sehr begabten theoretischen Assistenten beauftragt, die Mängel auszumerken. Dieser junge Mann war Niels Bohr, der zunächst mittels der Planckschen Quantenhypothese an das Problem heranging.

Max Planck hatte schon 1900 entdeckt, daß nicht nur die elektrische Ladung quantenartige Züge trägt, daß vielmehr auch die elektromagnetische Strahlung ähnlichen Prinzipien folgt. Bei Absorption und Emission von Strahlung sollte die Energie bei gegebener Wellenlänge (oder auch Frequenz) immer nur in ganzzahligen Quanten aufgenommen oder abgegeben werden. Dabei bildete der Quotient aus Energie dieser Quanten und ihrer Frequenz eine neue elementare Naturkonstante, das Plancksche Wirkungsquantum h . ($E = h \cdot f$)

Damit war erstmalig eine Querverbindung zwischen Größen der Kontinuumsphysik (Frequenz f) und der Physik diskreter Teilchen (Energiequantum E) hergestellt! Niels Bohr erweiterte solche Überlegungen durch einige ad hoc Hypothesen, um das Rutherfordsche Atommodell zu retten, aber es konnte nicht gelingen! Denn ein Atom, das so aussieht wie ein Planetensystem, ist ein völliger Unsinn und widerspricht allen experimentell gesicherten Eigenschaften des Atoms. Aber es

wird heute noch so an den Schulen unterrichtet, weil es historisch das letzte anschauliche Modell des Atoms ist.

Bei der Weiterentwicklung des Atommodells trat erneut die Frage auf, welche physikalischen Meßgrößen *grundsätzlich* zugänglich sind. Heisenberg konnte in seiner berühmten Unschärfe-Relation zeigen, daß Ort und Impuls eines Teilchens nicht gleichzeitig beliebig genau gemessen werden können und daß daher der Begriff der "Bahn" eines Teilchens im Mikrokosmos unphysikalisch wird. So wie beim Paradigmenwechsel zur Relativitätstheorie mußte also auch hier auf lieb gewordene Begriffe wie "Bahn" eines Teilchens verzichtet werden. Aber die Entfernung von klassischen Vorstellungen ging nun noch viel weiter! In konsequenter Verfolgung der Atomvorstellungen mußte schließlich angenommen werden, daß nicht von Eigenschaften der Teilchen gesprochen werden darf, wenn diese nicht gemessen werden. Damit ging der alte Begriff einer vom Beobachter unabhängig vorhandenen "Realität" verloren. Es hat sich weiters herausgestellt, daß die beiden Aspekte "Welle" und "Teilchen" (oder Kontinuum und diskreter Massenpunkt) nicht im Entweder-oder-Verhältnis stehen, sondern daß auf allen Gebieten der Mikrophysik, die man damals kannte, beide zutrafen. Auch was man als Teilchen gekannt hat, dem konnte man eine Wellenlänge und eine Frequenz zuordnen und auch was man einmal als Welle gekannt hat, dem konnte man lokalisiert Impuls und Energie zuordnen, wobei die Energie nicht wie bei klassischen Wellen dem Quadrat der Amplitude, sondern der Frequenz proportional ist. Das heißt, diese beiden Bilder sind völlig ineinander geflossen.

Wolfgang Pauli, einer der großen österreichischen Nobelpreisträger, hat auf die Frage: "Wie sieht ein Elektron aus?", einfach geantwortet: "Ein Elektron sieht nicht aus!" Er meinte damit, diese Frage darf ich gar nicht stellen.

Jetzt hat sich also herausgestellt, daß die Bausteine der Materie und alles, was wir im Mikrokosmos vorfinden, sowohl diskrete als auch kontinuierliche Eigenschaften haben. Nun gibt es aber physikalisch eine eindeutige Möglichkeit herauszufinden, was Teilchen und was Welle ist. Ich mache mit einem Objekt ein Interferenzexperiment und wenn ich Interferenzen beobachte, dann ist es ein kontinuierliches Objekt (eine Welle). Ich kann ebenso die Frage stellen, ob es sich bei einem physikalischen Objekt um ein Teilchenphänomen handelt, und zwar durch Stoß- oder Streuexperimente. Nun ist diskret und kontinuierlich in der Logik im Entweder-Oder Bereich. Etwas ist entweder diskret oder kontinuierlich. Es ist entweder ein Teilchen, oder eine Welle. Logisch gibt es keine andere Möglichkeit. Aber das Experiment sagt in beiden Fällen "ja". Man hat die unglaublichsten Experimente erdacht und doch entschied die Natur immer für beides. Unsere Logik reicht also nicht aus, um die Materie in Raum und Zeit zu beschreiben, so kann man das sagen. Das war freilich eine Verabschiedung, die noch viel dramatischer war, als jene, die Einstein durch seine Relativitätstheorie ausgelöst hat. Sie hat alles aufgelöst, was man bisher für unantastbar gehalten hat. Max Planck, Albert Einstein, Louis de Broglie, Walter Nernst und Erwin Schrödinger haben zu dieser Entwicklung je einen wesentlichen Schritt beigetragen und dafür einen Nobelpreis bekommen. Alle fünf haben sich aber später von dieser Entwicklung distanziert! Schrödinger hat in Graz bei der Antrittsvorlesung gesagt, "die Wahrheit

liegt nicht in der Mitte", man muß sich für eine Seite, also Teilchen oder Welle, entscheiden!

Wolfgang Pauli beschreibt Einsteins Haltung so: *"Einstein sagte oft 'in der Tiefe ist es falsch, wenn auch empirisch und logisch richtig'. Ein Denken in Gegensatzpaaren, anschauliche Bilder, die von der Wahl der Versuchsanordnung abhängen, primäre Wahrscheinlichkeiten, das konnte Einstein nicht akzeptieren.... 'Physik ist doch die Beschreibung des Wirklichen', sagt er zu mir und fuhr mit einem sarkastischen Blick auf mich fort: 'oder soll ich vielleicht sagen, Physik ist die Beschreibung dessen, was man sich bloß einbildet?' Diese Frage zeigt deutlich Einsteins Besorgnis, daß durch eine Theorie vom Typus der Quantenmechanik der objektive Charakter der Physik verlorengehen könnte, indem durch deren weitere Fassung der Objektivität einer Naturerklärung der Unterschied der physikalischen Wirklichkeit von Traum oder Halluzination verschwommen werden könnte."*[1]

Das sind wahrlich Urängste, das sind Ich-Auflösungs-Ängste, wenn Wirklichkeit und Traum ineinander fließen. Wir haben eine physikalische Theorie gewonnen, die uns erlaubt, die Materie in einer Weise zu verstehen, die vorher völlig ungeahnt war! Wir können verstehen, wie Physik und Chemie zusammengehören. Wir können Fernseher, Computer, Handy und all die technischen Sachen entwickeln, aber Einstein hatte Angst, daß der Unterschied zwischen Traum und Halluzination einerseits und der Wirklichkeit auf der anderen Seite verschwindet. Auch in einem Brief an Schrödinger hat er gesagt: "Du bist neben Laue der einzige der sieht, daß man um die Setzung der Wirklichkeit nicht herumkommen kann, wenn man ehrlich ist. Die meisten sehen gar nicht, was für ein gewagtes Spiel sie mit der Wirklichkeit treiben."

Die Konsequenzen

Ich muß zum letzten Teil kommen, zur Konsequenz. Die besprochenen physikalischen Theorien haben uns Möglichkeiten eröffnet, die Materie in einer Weise zu beherrschen, die vorher nicht einmal erahnt werden konnte. Alle die Geräte, die wir heute wie selbstverständlich gebrauchen, sind in der einen oder anderen Weise Erfüllungen von alten Träumen der Menschheit (Fliegen, Allgegenwart durch Fernsehen, Telekommunikation und dergleichen!). Und die dazu notwendigen technischen Elemente wie Transistoren, Datenspeicher und dergleichen, würden wir nicht verstehen, wenn wir sie nicht mittels der Quantenmechanik beschreiben könnten.

Nach meiner Einschätzung wird die nächste große Revolution im Informationswesen darin bestehen, daß man Computer nicht nur hinsichtlich ihrer Bauelemente auf die Quantenmechanik zurückführt, sondern daß man sie auch hinsichtlich ihrer Logik quantenmechanisch ausstattet, die dann Dinge können, die nach unserer klassischen Logik völlig unmöglich sind, wie z.B. in ein und demselben Bauelement mehrere Rechnungen gleichzeitig auszuführen. So großartig die Paradigmenwechsel auch sind, wir wissen heute, daß viele Hoffnungen, aber auch Befürchtungen, überzogen waren. Die Ängste Einsteins waren nicht begründet, wir können zwischen Traum und Halluzination und der Wirklichkeit auch nach der Quantenmechanik unterscheiden. Aber auch die Hoffnungen, die viele großen Physiker der damaligen Zeit gehabt haben, daß wir nun eine mathematische Theorie haben, die letzten

Endes auch nicht-materielle Aspekte des Menschen beschreiben wird, haben sich nicht erfüllt. Heisenberg ist ja soweit gegangen, daß er gemeint hat, vielleicht könnte man bis hin zur Religion mathematische Erklärungen finden, wo man doch komplementäre Aspekte mittels der Quantenmechanik erfassen konnte. Das alles waren überzogene Vorstellungen.

Trotzdem gibt es immer wieder Hoffnungen, die wegen dieser großartigen Leistungen darauf setzen, daß wir eines Tages alle menschlichen Probleme mit Hilfe naturwissenschaftlicher Methoden lösen werden. Was ich jetzt sage, ist meine persönliche Einschätzung der Situation, Sie können auch anderer Meinung sein. Ich halte dafür, daß es in der heutigen Situation zwei große Fehler gibt, vor denen wir uns beim Gang in eine neue Zeit hüten sollten. Der eine Fehler ist der, daß man sagt die naturwissenschaftliche Methode ist so großartig, daß das, was wir mit ihr nicht erfassen können, einfach weniger wichtig, weniger bedeutsam, weniger "real" sei. Der zweite Fehler ist der, daß man sagt, die naturwissenschaftliche Methode ist so großartig, daß sie alles, was für den Menschen wichtig ist, erfassen muß, also auch geistige und seelische Phänomene, und zwar mit Hilfe derselben Methode mit der wir die Materie erfassen.

Um das ein bißchen deutlicher zu machen, möchte ich Ihnen aus meiner Sicht die sechs Voraussetzungen des naturwissenschaftlichen Denkrahmens zusammenstellen und überlegen, was damit erfaßt werden kann. Naturwissenschaftliches Denken gründet auf Logik und Experiment. Die Logik fordert von uns Eindeutigkeit der Begriffe und Widerspruchsfreiheit der Aussagen und außerdem (seit dem 17. Jh.), nur kausale Begründungen zuzulassen. Jede Wissenschaft, die sich als Naturwissenschaft versteht, muß sich dem unterwerfen, also dürfen wir in der Biologie nicht sagen, die Insekten haben Flügel, damit sie fliegen können, denn das wäre eine finale Begründung. Kepler hat noch die Gesetze der Planeten final begründet: Die Bahnen der Planeten sind Ellipsen, weil Gott in ihnen die Harmonie der Welt ausdrücken wollte. Darum ist nicht Kepler, sondern Galilei der Urheber der modernen Naturwissenschaft.

Die zweite Wurzel ist das Experiment, wie Galilei es definiert hat. Es ist bestimmt durch die Forderungen nach Reproduzierbarkeit, Quantität (messen!) und Analyse. Die Methode funktioniert freilich nicht für die Welt, in der wir leben. (Das ist auch ein Grund, warum es so schwer ist, Physik zu unterrichten.) Physik ist nämlich keine Erfahrungswissenschaft, sondern eine experimentelle Wissenschaft und dieser Unterschied kann nicht deutlich genug gemacht werden. Der Satz des Galilei "Alle Körper fallen gleich schnell" ist nirgends in unserer Erfahrung zu bestätigen. Wenn Sie spazieren gehen, werden Sie feststellen, Kastanien fallen schnell, Blätter fallen langsam und Rauch steigt auf, so wie es Aristoteles als Fallgesetz formuliert hat. Galilei sagt, unsere Welt ist zu kompliziert, um einfache Naturgesetze zu finden. Daher muß sie zunächst vereinfacht werden, im genannten Fall muß der Luftwiderstand weggedacht werden; dies ist die Forderung der Analyse.

Kurz gesagt, die moderne Naturwissenschaft beruht auf der Erkenntnis, daß es genügt, vereinfachte Modelle unserer Welt zu beschreiben und trotzdem Aussagen über die Welt, in der wir leben, daraus ableiten zu können. Die sechs Forderungen nenne ich den Denkrahm der Neuzeit:

Eindeutigkeit
Widerspruchsfreiheit
Kausale Begründung
Reproduzierbarkeit
Quantifikation
Analyse

Der Denkrahm der Neuzeit ist einerseits großartig, weil er einfach und flexibel ist und auf alle Probleme Antworten erlaubt. Aber zugleich beschreibt er nur Materie in Raum und Zeit. Das was den Menschen erst zum Menschen macht, wird dabei nicht erfaßt! Was ist denn das Gegenteil von Eindeutigkeit? Mehrdeutigkeit? Ambivalenz? Vielleicht offen, bunt? Jedenfalls *Qualitäten*, die zum Menschen wesentlich dazugehören.

Das Gegenteil von Widerspruchsfreiheit ist Leben im Sinne der Philosophie. Hegel sagt, etwas ist lebendig, nur insofern es den Widerspruch in sich enthält. (Und die *Kraft des Lebendigen* sei es, den Widerspruch in sich zu fassen und auszuhalten!) Im Sinne der Biologie ist Leben *Überleben*, im Sinne des Menschen heißt leben *in der Fülle der Zeit sein*.

Die Reproduzierbarkeit schließt das Einmalige aus. Kant hat schon so schön gesagt, die Würde des Menschen liegt in seiner Einmaligkeit, in seiner Unauswechselbarkeit. Im Bereich des Menschen hat alles entweder einen Preis oder eine Würde. Das was ersetzbar ist, hat einen Preis, das was in stiller Einmaligkeit nicht ersetzbar ist, hat Würde. Ich mache das als irdischer Naturwissenschaftler deutlich mit dem Begriffspaar Sexualität und Liebe. In der Sexualität ist der Partner auswechselbar, aber die Liebe, die den Partner meint, hat im selben Geschehen Würde.

Quantität ist nicht Qualität. Im Bereich des Menschen ist aber Qualität das wichtigere.

Es ist mit der Quantenmechanik ein einziges Mal gelungen, die Widerspruchsfreiheit etwas zu erweitern, durch die Komplementarität zum Dualismus. Darauf gründete ja die besprochene Hoffnung, daß wir damit auch den menschlichen Bereich, den Bereich des Nicht-Materiellen, naturwissenschaftlich erfassen können. Und im Umkehrschluß: daß wir alles nicht so Erfassbare ableugnen dürfen. Ich sage das mit einer gewissen Vehemenz, weil es mir nicht um theoretische Überlegungen geht, sondern um das praktische Verhalten der Menschen.

Ich bin häufig zu Vorträgen in der Ganzheitsmedizin eingeladen, da geht es genau um diese Probleme[2]. Heute wird zum Beispiel die Homöopathie ausgegrenzt, nur weil sie keine kausale Begründbarkeit nachweisen kann. Ob sie Menschen helfen kann, ist dann bereits eine sekundäre Frage! Der offizielle Gesundheitsbegriff wird streng im Denkrahm der Neuzeit gefaßt, er folgt den Axiomen naturwissenschaftlichen Denkens. Aber auch die WHO, die Weltgesundheitsorganisation definiert Gesundheit nicht als Abwesenheit von Störungen, sondern als ein gesamtes Wohlbefinden sozialer und psychischer Natur in unserer Gesellschaft.

Zwei Bereiche menschlicher Existenz

Der Denkrahm der Neuzeit zieht also eine Grenze zwischen zwei Bereichen. Innerhalb des Rahmens liegt alles, was sich mittels der naturwissenschaftlichen Methode erfassen läßt.

Nun dürfen wir aber nicht einfach sagen, außerhalb sei alles andere, denn es gibt ja die Behauptung, außerhalb sei Nichts! Sie beruht auf der richtigen Erkenntnis, daß Alles auch eine Komponente hat, die materiell ist oder zumindest durch die naturwissenschaftliche Methode erfaßt werden kann. Die Frage ist nur, ob diese Beschreibung - wie im Falle der Ganzheitsmedizin - für ein gegebenes Problem die beste ist!

Wenn Sie diese beiden Bereiche genauer betrachten, können Sie ihnen verschiedene Begriffspaare zuordnen. Sehr wichtig ist das Paar Sorgfalt und Verantwortung. Im Bereich des Denkrahmens gibt es Sorgfaltspflicht, dort liegen Regeln und Normen vor (z.B. Naturgesetze), die Voraussagen über den Ausgang von Handlungen gestatten. Da müssen Sie sorgfältig trachten, keinen Fehler zu machen. Verantwortung dürfen Sie nur dann übernehmen, wenn es nicht möglich ist, über Naturgesetze oder Experten herauszufinden, was die richtige Entscheidung ist. Nur wenn das nicht möglich ist, dürfen Sie Verantwortung übernehmen. Ansonsten müssen Sie Sorgfalt walten lassen!

Wir können diese beiden Bereiche auch (mit Kant) als Bereiche der *Heteronomie* (Naturnotwendigkeit und anerkannte Ordnung) und der *Autonomie* (Freiheit) bezeichnen. Im Bereich der Naturnotwendigkeit sind wir fremdbestimmt. Dort gelten die Naturgesetze. Im Bereich der Freiheit sind wir selbstbestimmt. Dort müssen wir selbst Entscheidungen treffen. Da dürfen Sie die Verantwortung nicht an Experten delegieren.

Nun gibt es zwei Merksätze:

Selbstbestimmung im Bereich der Naturnotwendigkeit ist dumm!

Beispiel: Wenn man auf der Autobahn mit 130 km/h fährt und es leuchtet ein Warnlämpchen auf, und man sagt sich: ich bin ein freier selbstbestimmter Mensch, ich ignoriere es, dann ist das schlicht dumm.

Fremdbestimmung im Bereich der Freiheit ist feige!

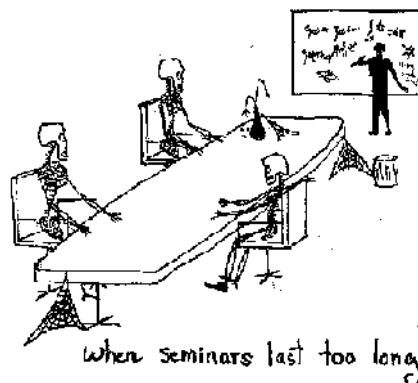
Freiheit ist nicht nur das, was manchmal in akademischen Diskussionen darunter verstanden wird (daß ich in Handlungen freie Entscheidung habe). Freiheit ist etwas viel höheres. Wenn Sie in einer guten Zweierbeziehung leben, und es tritt ein dritter Mensch in dieses Leben, dann *müssen* Sie eine Entscheidung fällen, die alle drei Menschen betreffen wird. Diese Entscheidung müssen Sie selbst treffen, auch wenn Sie sich mit anderen beraten. Wenn Sie die Entscheidung delegieren, dann entschlagen Sie sich aus Ängstlichkeit Ihrer Verantwortung.

Also Selbstbestimmung im Bereich der Naturnotwendigkeit ist dumm und Fremdbestimmung im Bereich der Freiheit ist feig, aber das Problem ist nun, die Grenze zwischen den Bereichen zu erkennen.

Unser Weg durchs Leben ist eine Gratwanderung zwischen den Bereichen und das macht das Salz und die Würde im Leben aus. Die Möglichkeit des Scheiterns ist Voraussetzung dafür, daß das Leben auch glücken kann! Wenn wir uns immer nur zurückziehen auf die äußeren Gesetze, dann verhindern wir vielleicht, daß unser Leben scheitert, aber es kann dann auch nicht glücken, denn ein erfülltes Leben setzt das Risiko des Versagens voraus. Damit möchte ich schließen.

Anmerkungen

- [1] Wolfgang Pauli: *Physik und Erkenntnistheorie*, Vieweg Verlag, Braunschweig 1984, p. 89
weitere Zitate siehe Herbert Pietschmann: *Phänomenologie der Naturwissenschaft*, Springer Verlag, Berlin 1996, Kap. 7.2.5
- [2] Herbert Pietschmann: *Zum Voraussetzungsproblem der Komplementärmedizin*, *Forschende Komplementärmedizin* 2 (1995) 72-77



Für Nobelpreisträger Robert B. Laughlin war nicht jedes Seminar spannend genug.