

Der Mensch und die moderne Naturwissenschaft¹

Von
W. HEITLER

In einer Zeit, in der die Wissenschaft in immer rapiderem Masse und immer tiefer in unser Leben eingreift, ist das Verhältnis von Wissenschaft zu Mensch ein Thema, über das sicherlich jeder denkende Mensch sich Fragen stellen muss. Wir alle kommen ja von Tag zu Tag mehr in Kontakt mit der Wissenschaft, und das in solchem Masse, dass wir manchmal fürchten, dass sie und ihre Anwendung, die Technik, unser Meister wird, statt umgekehrt: Wir fahren gern im Auto und im Flugzeug und huldigen einem unserer Abgötter, der Geschwindigkeit. Gleichzeitig schimpfen wir über den wachsenden Verkehrslärm, der uns auf die Nerven geht. Um unsern immensen Hunger nach Energie zu befriedigen, suchen wir neue Quellen in Form von Atomenergie, aber wir fürchten uns (mit Recht) vor den radioaktiven und anderen Strahlen, deren böse Wirkung auf alles Lebendige, bis in die kommenden Geschlechter hinein, wir in der letzten Zeit kennen gelernt haben. Wir brauchen Massnahmen, die uns vor unseren eigenen Erfindungen schützen. Wir könnten – ohne grosse Anstrengung – das Leben auf dieser Erde vernichten oder Generationen minderwertiger Lebewesen erzeugen, aber wir können bis jetzt keine einzige lebende Zelle erschaffen. Schliesslich verspricht man unserer Neugier eine baldige Fahrt auf den Mond, aber wer die Angst auf dem Gesicht jenes kleinen Affen gesehen hat, der als erster unfreiwillig eine kleine Fahrt von der Erde weg gemacht hat, wird kaum glauben, dass eine solche Reise eine Erholungsreise sein wird. Irgendwie haben wir das Gefühl, dass all diese Dinge, die uns Reichtum und Macht geben, uns Menschen, und dem Leben überhaupt, nicht allzu freundlich gesinnt sind. Es ist deshalb schon ein Gemeinplatz geworden, dass die angewandte Wissenschaft eine Verantwortung trifft wie nie zuvor. Wieso kommt das? muss man wohl fragen. Wissenschaft ist die Erkenntnis der Gesetze der Natur, in der wir leben. Warum also führt die Aufdeckung dieser geheimen Naturgesetze so oft zu Anwendungen, die uns selbst gefährlich sind? Ich gebe nicht vor, eine end-

¹ Aulavortrag, gehalten an der Universität Zürich, am 28. Januar 1960 (im Rahmen des Zyklus: Der Mensch im Kosmos). Der vorliegende Text ist gegenüber dem Vortrag leicht abgeändert und erweitert

gültige Antwort auf diese Frage geben zu können. Der Leser, der das folgende liest, wird aber wohl Andeutungen finden, die ihn zu weiterem Nachdenken veranlassen können.

Unser Thema soll in einer anderen Richtung liegen. Es sind nicht die Anwendungen, von denen hier in erster Linie die Rede sein soll, sondern die reine Wissenschaft selber, die ja Voraussetzung und Grundlage aller Anwendungen ist, und ihr Verhältnis zum Menschen. Das wird uns noch vor wesentlich tiefere, auf lange Sicht vielleicht auch wichtigere Fragen stellen.

Zu unserem Zwecke müssen wir die logische Struktur der heutigen Wissenschaft näher ins Auge fassen. Ich muss mich dabei im wesentlichen auf die exakten Wissenschaften beschränken, vornehmlich auf mein eigenes Gebiet, die Physik. Wir wollen versuchen, das für uns Wesentliche an wissenschafts-historisch bedeutsamen Ereignissen und Kontroversen herauszuschälen, an denen die Beziehung zum Menschen deutlich wird. Allerdings werden dabei wohl mehr Fragen auftauchen als ich beantworten kann.

Unsere Wissenschaft nimmt, wenn man von einzelnen antiken Vorläufern absieht, ihren Anfang in der Renaissance. Jedes Schulkind kennt den Namen KEPLER, als einen der grossen Forscher, die den Grund zur heutigen Astronomie und Mechanik gelegt haben. Lesen wir einmal bei KEPLER nach, wie und was er dachte. Wir finden alles, nur keinen Wissenschaftler im modernen Sinn. KEPLER war eher Mystiker mittelalterlicher Tradition, als Gelehrter – was scharfes logisches Denken keineswegs ausschliesst. Wir finden bei ihm zum Beispiel Betrachtungen über die «Erdseele», auf die die Aspekte der Planeten astrologisch wirken. Astrologie war für ihn Tatsache, auch wenn er heftig gegen die astrologischen Quacksalber seiner Zeit Stellung nimmt. Er wollte sie nur in ihre Schranken verweisen. Wir finden lange Betrachtungen über die fünf regulären Körper, im Zusammenhang mit dem Planetensystem, in platonischem Geist. Das alles war aber nicht die Hauptsache. KEPLER hatte ein grosses Ziel: Er wollte die kosmischen Harmonien der Pythagoräer im Planetensystem entdecken. KEPLER war zutiefst überzeugt, dass solche Harmonien, das heisst einfache ganzzahlige Verhältnisse, wie sie in den Intervallen der Musik vorkommen, im Planetensystem zu finden seien. Zu diesem einen Zweck studierte er jahrzehntelang die Planetenbewegungen, eine intensive, mühsame Arbeit. Dabei entdeckte er – nebenbei möchte man sagen – auch das, was wir jetzt die Keplerschen Gesetze nennen, also die Ellipsenbahnen usw. Für ihn war das aber nur eine erste Stufe, nicht das Endziel. Schliesslich, nach vielen Fehlschlägen, fand er seine Harmonien, in den Verhältnissen der Planetengeschwindigkeiten, im Perihel und Aphel. Und dann fand er die ganze Dur- und Moll-Tonleiter am Himmel wiedergegeben. Dies war sein Ziel und Triumph. Warum hat KEPLER sich dieses Ziel gesteckt, das uns heute so merkwürdig anmutet? Er war überzeugt, dass Gott, der Schöpfer, die Welt nach harmonischen Gesichtspunkten – durchaus in musikalischem Sinn – geschaffen hat, denn Harmonie war für ihn Vollendung. Und der Schöpfer hat so gehandelt, d a m i t die Harmonien erklingen mögen – natürlich für übersinnliche Ohren, wer diese auch besitzen mag.

Das Ganze ist eine durch und durch teleologische Betrachtungsweise, das heisst nach einem Zweck ausgerichtet. Die Welt ist so wie sie ist, d a m i t etwas sei, und nicht w e i l es irgendeinen Grund dafür gibt. Es ist auch eine menschlich-nahe, wenn auch stark theologisch gefärbte Betrachtung. Der Schöpfer verfährt nach einem Plan, wie ein irdischer Baumeister, der ein vollendetes Kunstwerk zu schaffen beabsichtigt.

Von alledem hat unsere Wissenschaft so gut wie nichts übernommen. Die «Keplerschen Gesetze» sind geblieben, weil sie aus ganz anderen Prinzipien heraus begründet werden konnten.

Die Wendung zur modernen Wissenschaft geschah ein halbes Jahrhundert später, durch NEWTON, und zwar durch völlige Umkehrung der Betrachtungsweise. NEWTON ist der Entdecker der k a u s a l - d e t e r m i n i s t i s c h e n oder d i f f e r e n t i e l l e n Gesetze. Die Newtonschen Bewegungsgesetze sind das Gegenteil von teleologisch. Es sind Gesetze, die das Verhalten der Körper in jedem Zeitmoment nur für den unmittelbar folgenden Zeitmoment festlegen (daher differentiell). Ein Körper bewegt sich so, dass in jedem Augenblick die Änderung seiner Geschwindigkeit durch die wirkende Kraft bestimmt wird. Der Planet weiss nicht, dass er sich auf einer Ellipse bewegen wird, er erfährt nur in jedem Moment die Kraftwirkung, der er gehorchen m u s s. Die ganze Bahn ergibt sich erst nachträglich durch Integration aller dieser Wirkungen. Tatsächlich bestimmen die Newtonschen Gesetze die Planetenbahnen nicht vollständig. Sie bestimmen nur mögliche Bahnen, alle möglichen Ellipsen, von denen die wirklichen Bahnen eine zufällige Auswahl sind. Was wir die Keplerschen Gesetze nennen, ist eine Folge der Newtonschen. Dagegen folgen nicht die harmonischen Verhältnisse; sie sind nach NEWTON Zufall oder etwa durch den etwas nebelhaften Ursprung des Planetensystems bestimmt. Hätte KEPLER die Newtonschen Gesetze gekannt, so hätte er an seinem ganzen Gebäude gar nichts zu ändern brauchen. Er hätte einfach gesagt, was nach NEWTON als Zufall erscheint, ist das beabsichtigte Werk des Schöpfers. In diesem Fall wenigstens besteht a priori kein Widerspruch zwischen der Teleologie KEPLER's und der Kausalität NEWTON's.

Mit der Entdeckung kausaler Gesetze beginnt erst der eigentliche Siegeszug der Physik und der exakten Wissenschaften überhaupt. Erst diese kausalen Gesetze erlauben es uns, die Bewegung eines Körpers, und allgemein physikalische Vorgänge, exakt v o r a u s z u s a g e n. Sie sind daher deterministisch. Nur seit etwa 35 Jahren hat sich daran innerhalb der Physik etwas geändert – doch davon später.

Was Erfolg hat, macht aber auch Schule. Die kausal-deterministische Betrachtungsweise greift nun immer mehr und mehr auf andere Wissenschaften über, ab 19. Jahrhundert auch auf Geisteswissenschaften. Ein paar Beispiele: Von Kindheit an sind uns Naturbetrachtungen geläufig, wie etwa: der Frosch ist grün, d a m i t er von seinen Feinden im Gras nicht leicht gesehen wird. Dies ist ein teleologisches Argument, wie es ja an tausend Beispielen in der Natur in die Augen springt. Die neuere Biologie ersetzt solche Argumente, wo irgend möglich, durch kausale. Der Neo-Darwinismus ist eine geistreiche Anwendung dieses

Prinzips. Der Frosch ist jetzt grün, nicht d a m i t, sondern we il rote Frösche schon längst im Kampf der Natur mit sich selbst aufgeessen sind oder wären. Die Geschichtsauffassung von KARL MARX: Geschichte als ein Spiel gegenseitig wirkender wirtschaftlicher Kräfte mit folglich zwangsläufigem Ablauf, ist eine Übertragung kausaler Ideen auf Geschichtsvorgänge. Man könnte die Beispiele noch beliebig vermehren. Und vieles was hier noch genannt werden könnte, ist mehr Pseudowissenschaft als echte Wissenschaft.

Man fühlt wohl schon, dass mit dem Einbruch dieser kausalen Ideenwelt in fast alle Gebiete ein Schritt vollzogen wurde, der vom Menschlichen wegführt. Im gewöhnlichen Leben kommt es uns nicht in den Sinn, dass wir etwas tun, weil wir nach irgendwelchen Naturgesetzen unausweichlich gezwungen sind. Wir handeln vielmehr nach einem Ziel und fühlen uns frei, so oder auch anders zu handeln, selbst wenn wir uns eines Einflusses bewusst sind. Wie stark – und katastrophal — die Kausalidee in das Menschliche eingreifen würde, sehen wir, wenn wir sie konsequent zu ihrem letzten Ende führen: Nehmen wir an, dass a l l e s, auch der Mensch, seine Gedanken, seine Psychologie völlig kausal-deterministisch verlaufen – ein Mechanismus, der nun einmal da ist, und notwendig so und nicht anders abläuft. Eine Übertreibung, gewiss, aber es gibt genug Wissenschaftler, die tatsächlich bewusst oder unbewusst so denken. Von Freiheit, auf die wir mit Recht so viel Wert legen, wäre nichts mehr übrig. Von Ethik gar nicht zu reden. Das Strafgesetzbuch würde seinen Sinn verlieren, denn wir können eine Maschine nicht dafür bestrafen, dass sie nach den Naturgesetzen abläuft. Unser ganzer sozialer Organismus würde zusammenbrechen. Determinismus und Freiheit vertragen sich nun einmal nicht. Ein kleines, recht harmloses Beispiel möge zeigen, wie die Wissenschaft, oft unbewusst, in diese Richtung tendiert. Wir lesen von den wunderbaren Rechenmaschinen, die man «Elektronengehirn» nennt. Die Bezeichnung soll wohl suggerieren, dass unser menschliches Gehirn auch n u r ein solcher elektronischer Mechanismus ist und nichts anderes. Natürlich vergessen die Autoren dieser Bezeichnung, dass es kein Elektronengehirn gäbe, wenn es nicht von einem genialen und freien menschlichen Gehirn entworfen worden wäre.

Hüten wir uns also davor, unsere aus der exakten Wissenschaft entsprungene kausal-deterministische Denkweise auf Dinge anzuwenden, wo sie nicht hingehört. Sie hat in der Wissenschaft, deren Gegenstand die Materie ist, das heisst in den exakten Wissenschaften, ihre Gültigkeit – und auch da nur in beschränktem Masse, wie wir noch sehen werden. Wenn wir sie aber zum allgemeinen Prinzip erheben, führt sie zu einem absurden Materialismus. Ich erachte diese Denkrichtung – auf längere Sicht betrachtet – als eine der gefährlichsten Tendenzen unserer Zeit. Sie kann nur, wenn nicht rechtzeitig in Schach gehalten, dazu führen, aus dem Leben eine riesenhafte, unausweichliche Maschine zu machen. (Die apokalyptischen Phantasmagorien ORWELL's (1984) enthalten eine Darstellung dieser Menschheits-Maschine, die als letzte konsequente Anwendung des Determinismus entstehen würde.)

Wir wollen nun ein zweites, sehr wesentliches Charakteristikum der Physik betrachten. Wenn wir Naturforschung betreiben, so sind wir zunächst auf

unsere Sinneswahrnehmungen angewiesen. Wir beobachten die Phänomene, erweitern sie dann durch Experimente, rufen dadurch neue Phänomene hervor und verarbeiten dann das Beobachtete, bis wir eine zusammenhängende Theorie erhalten. Die Frage, die wir zunächst aufwerfen wollen, ist die: verwenden und verwerten wir dabei alle auf physikalische Phänomene bezüglichen Beobachtungen oder treffen wir eine Auswahl? Wir wollen die Fragestellung am Beispiel des Lichtes und der Farben illustrieren. Die Physik lehrt, dass Licht eine elektromagnetische Wellenbewegung ist. Wellen einer bestimmten Wellenlänge entsprechen einer bestimmten Farbe. Weisses Licht ist eine Überlagerung aller Wellenlängen, also aller Farben. Objekt der Physik sind allein die Wellen, aber nicht die Farben. Man kann sagen, dass es in der modernen Physik gar keine Farben mehr gibt. Sie werden in das Gebiet der Physiologie und Psychologie verwiesen: Die Welle erzeugt im Auge, dann im Sehnerv, dann in irgendwelchen Gehirnzellen gewisse physiologische Vorgänge – die wir auch studieren. Dann aber kommt der mysteriöse Punkt, wo alle diese Vorgänge zur Farbempfindung «grün» werden. Und dieser Punkt ist auf keine Weise physikalisch-physiologisch zu erklären, weil «grün» eben eine völlig andere Kategorie ist, als eine Welle und alle physiologischen Vorgänge, die sie bewirkt. Wenn wir aber unvoreingenommen die Dinge betrachten, so stehen wir hier einfach zwei ganz verschiedenartigen Beobachtungen gegenüber: Wir stellen einmal fest, dass es grünes Licht ist, und dann stellen wir mit Hilfe eines komplizierten Instrumentes fest, dass das Licht eine in Zentimeter angebbare Wellenlänge hat. Für die Zwecke der Physik verwenden wir nur die zweite Feststellung. Der Grund ist offensichtlich: Nur die Welle ist m e s s b a r, durch Mass und Zahl ausdrückbar. «Grün» kann man nicht messen. Grundsätzlich ist Gegenstand physikalischer Forschung nur, was durch Mass und Zahl ausdrückbar ist, also quantitativ verwertbare Beobachtungen. Wir w ä h l e n also unter unseren Sinneswahrnehmungen (vor allem durch apparative Erweiterungen) die q u a n t i t a t i v e n a u s. Nur sie schreiben wir der objektiven Wirklichkeit zu, alles andere verweist man in das Subjektive, in die Psychologie. Aus diesem Grund ist ja auch die ganze Physik in mathematischer Form formulierbar.

Andererseits muss man aber sagen, dass wir als naive Menschen gar nicht so reagieren, wie wenn das «Grün» nur ein subjektiv-psychologisches Phänomen wäre. Wir sagen ja einfach, dies ist g r ü n, und nicht: dieses Licht ruft in mir die Empfindung grün hervor (wie wir etwa sagen: wir e m p f i n d e n eine Freude usw.). Wir schreiben das «Grün» durchaus der Aussenwelt zu. Wir stossen hier also noch auf ein anderes Problem: Die Frage der Trennung von Subjekt und Objekt. Wir sprechen von einer Aussenwelt und unserem Innenleben. Aber wo liegt die Grenze, und ist sie überhaupt scharf zu ziehen? Vielleicht besteht eine gewisse Willkür in bezug auf die Grenzziehung? Schon die Tatsache, dass das Licht Farbempfindungen in uns auslöst und also mit unserm Innenleben unmittelbar in Wechselwirkung steht, lässt Zweifel daran aufkommen, ob eine solche Grenzziehung ganz frei von Willkür sein kann. Die Frage ist von Philosophen immer wieder gestellt und, soviel ich weiss, nie beantwortet

worden. (Es gibt sogar Philosophien, die die Existenz einer objektiven Aussenwelt grundsätzlich leugnen.) Wir werden auch noch sehen, dass hier selbst innerhalb der Physik Überraschungen auf uns warten. Vorderhand aber ist die Antwort der Physik sehr kurz und einfach: nur was quantitativ messbar ist, ist Aussenwelt und Gegenstand der Physik, andere Sinneswahrnehmungen gehören zur «Psychologie». Die Berechtigung zu diesem Vorgehen liegt wohl in erster Linie in dem ungeheuren Erfolg, den die Physik zu verzeichnen hat. Es ergab sich auf diese Weise ein in sich logisch abgeschlossenes mathematisch behandelbares Bild. Das aber ist zwar ein starkes, aber kaum ein schlusskräftiges Argument, und es ist eigentlich schwer zu sehen, was Aussenwelt mit quantitativ zu tun hat. Jedenfalls hat es Leute gegeben, die anderer Meinung waren. Zu diesen gehörte, unter andern, auch GOETHE. Wir wollen auf seinen Standpunkt etwas eingehen, weil hier eine Art Gegenstück zur Physik vorliegt, das den ganzen Fragenkomplex beleuchtet.

GOETHE wurde bei seinen Naturbetrachtungen auf die Farberscheinungen geführt, und hierbei stiess er auf die Lehre NEWTON's. Schon NEWTON hatte die Theorie aufgestellt, weisses Licht bestehe aus einer Mischung aller Farben. Die übrigen, unhaltbaren, Vorstellungen NEWTON's auf diesem Gebiet brauchen uns nicht zu interessieren. Diese Theorie rief aber bei GOETHE den heftigsten Widerspruch hervor. Der Grund hierfür ist sehr deutlich aus seinen Schriften zu ersehen – sie sind übrigens in einer reizvollen, oft wenig akademischen Sprache abgefasst: Ihm war der Mensch am nächsten. Physikalisch einfach war, was für u n s e r e S i n n e einfach ist. Die einfachste Lichtwahrnehmung ist weiss, und es war ihm völlig zuwider, dass Weiss aus Gelb, Grün usw. zusammengesetzt sei. Wir empfinden es ja auch nicht so. Er nennt diese Mischung das «ekelhafte Newtonsche Weiss». Seine Opposition führte ihn dazu, seine eigene Farbenlehre aufzustellen, was ihn gut ein Jahrzehnt hindurch beschäftigte, und auf die er schliesslich stolzer war als auf seinen ganzen Faust. Betrachten wir diese Farbenlehre ein wenig: Wie der Physiker mit einem nicht näher begründeten Grundgesetz anfängt, aus dem alles andere folgt, so GOETHE mit dem, was er Urphänomen nennt. Dies ist durchweg eine für die Sinne direkte, e i n f a c h e Wahrnehmung. In der Farbenlehre ist es die Tatsache, dass weisses Licht, durch ein trübes Medium gesehen, gelb bis rot erscheint, während das seitwärts gestreute Licht, gegen einen dunklen Hintergrund gesehen, blau ist. Dies ist für GOETHE überhaupt der Ursprung der Farben. (Der Physiker andererseits beweist auf komplizierte Weise, dass kurze Wellen [blaue] stärker gestreut werden als lange [rote]. Wenn aus der Mischung aller Farben [weiss] das Blau entfernt wird, bleibt eben gelb bis rot übrig.)

Auf diesem «Urphänomen» aufbauend, werden dann andere Farberscheinungen abgeleitet, die Farbphänomene werden direkt miteinander verknüpft. Gegenstand der Betrachtung sind immer nur die Farben, und es wird kein Gebrauch gemacht von einem dahinterliegenden, selbst unsichtbaren «Träger des Lichts», wie es damals die Lichtkugelchen NEWTON's waren und heute die elektromagnetischen Wellen sind. So etwas war GOETHE – in seinen eigenen Worten – «widerlich».

Überhaupt wendet er sich gegen eine «übertriebene Anwendung der Messkunst» (wieder seine eigenen Worte), die er zwar in Gebieten wie der Mechanik, bewundert, aber nicht auf so unmittelbar wahrgenommene, qualitative Phänomene wie die Farben, und erst recht nicht auf die Biologie, angewandt wissen wollte.

Es kommt uns nicht darauf an, was diese Farbenlehre im einzelnen enthält; sondern nur auf den allgemeinen Gesichtspunkt. Es ist kein Zweifel, dass GOETHE die Farbe selbst zur objektiven Aussenwelt rechnete, oder besser gesagt: Licht und Farbwahrnehmung sind für ihn überhaupt eine selbstverständliche Einheit. Die scharfe Trennung von Aussenwelt und Sinnesempfindung, wie sie die Physik durchführt, war ihm fremd (sofern es sich um objektive Vorgänge handelt; reine Sinnestäuschungen weiss er natürlich sehr wohl zu unterscheiden). Offenbar war es sein Hauptziel, diese Einheit von Phänomen und menschlicher Wahrnehmung unter allen Umständen zu wahren.

Die Goethesche Farbenlehre betrifft also jenen Bezirk, wo Licht und Wahrnehmung unmittelbar zusammentreffen (was nicht heisst, dass dieser Bezirk schon irgendwie – durch GOETHE oder sonst jemand – näher erforscht wurde). Sie steht damit im Gegensatz – aber nicht im Widerspruch – zur Physik, die die Farbwahrnehmung ignoriert. (Wo GOETHE NEWTON kritisiert, hat er natürlich Unrecht, das beruht auf seinem Missverständnis der damals schon angebahnten physikalischen Entwicklung. Umgekehrt dürften viele der physikalischen Kritiker GOETHE's dessen Ziele, die eben nicht Physik im modernen Sinn waren, missverstanden haben.) Wir sehen an diesem Gegensatz, wie scharf die Grenze ist, die unsere bewusst quantitative Wissenschaft für die physikalische Welt zieht. Sie macht Halt, wo der Mensch beginnt.

Auf die oben gestellte Frage muss ich natürlich eine endgültige Antwort schuldig bleiben. Es war die Frage nach der Grenze zwischen Aussenwelt und Innenwelt. Wir kennen die Antwort der Physik, haben aber Zweifel, ob das die einzig mögliche Antwort ist. In der Grenzziehung der Physik liegt sicher eine gewisse zweckbedingte Willkür – der Zweck ist die mathematische Behandelbarkeit. Wir haben am Beispiel der Goetheschen Farbenlehre gesehen, dass man auch eine andere Ansicht vertreten kann. Es bleibt offen, ob sie wissenschaftlich entwicklungsfähig ist. (Wenn das der Fall ist, so bestünde Raum für Forschung in ganz anderer, bisher fast nicht begangener Richtung.) Die Frage dürfte kaum in absehbarer Zeit beantwortet werden, denn die Tendenz unserer Zeit liegt ganz in der Richtung der quantitativen Wissenschaft. Wie dem auch sei, klar ist jedenfalls eines: Mit Physik und Physiologie können wir niemals jenes Wechselspiel begreifen, das zwischen dieser, physikalisch abgegrenzten Aussenwelt und den Lebewesen besteht, wie es sich zum Beispiel in den rein qualitativen Farbwahrnehmungen äussert, schon deshalb, weil der Begriff Farbe in diesen Wissenschaften gar nicht vorkommt. Wo immer auch die Grenze liegen möge, die Erkenntnisse, die Physik (und alle nach ähnlichen Prinzipien arbeitenden Wissenschaften) vermitteln, sind begrenzt, so gewaltig sie auch sein mögen.

Das wird noch deutlicher, wenn wir uns kurz den biologischen Wissenschaften zuwenden. Die Biologie hat, in Anwendung von Methoden, die denen der Physik wohl im grossen und ganzen ähnlich sind, die also in kausaler und womöglich quantitativer Richtung liegen, wunderbare Fortschritte erzielt. Die physikalischen, chemischen Vorgänge im lebenden Körper, die materiellen Grundlagen der Vererbung usw. werden und sind teilweise erforscht. Trotzdem bleibt die Frage offen, ob damit gerade die wesentlichen Züge des Lebendigen erfasst werden. Hier gehen die Meinungen der Biologen stark auseinander. Der Verfasser ist überzeugt, dass das nicht der Fall ist: Zunächst zeigt schon die blossе Existenz von Bewusstsein, in Mensch und Tier, unmittelbar eine Grenze für physikalisch-chemische Methoden auf. Aber es scheint auch unwahrscheinlich, dass man den lebenden Körper selbst auf diese Weise v ö l l i g verstehen kann. (Ganz abgesehen davon, dass Bewusstsein und Körper natürlich gar nicht unabhängig voneinander sind.) Um nur zwei Probleme zu nennen:

Ein Charakteristikum des lebenden Körpers ist zum Beispiel eine typische Form und eine endliche (innerhalb enger Grenzen schwankende) Grösse. Beides ist vererbbar, und die Erb-Information steckt in einigen wenigen grossen Molekülen. Makroskopische Form und Grösse sind aber der Physik wesentlich fremd. Ein fester Körper kann jede Grösse und Form haben, ein Blatt oder ein Finger nicht. Die Physik ist differentiell, ihre Gesetze bestimmen von Raumpunkt zu benachbartem Raumpunkt, was geschieht. Es ist schwer vorstellbar, wie auf rein physikalische Weise von einem Molekül Aussagen über eine makroskopische Grösse ausgehen können.

Zweitens die Evolution zu höheren, komplizierteren und vollkommeneren Lebewesen: Ohne im geringsten der Darwinschen «Auswahl der Tüchtigsten» Abbruch zu tun, stehen wir vor dem Problem, die Entwicklung von einem niederen zu einem höheren Lebewesen selbst zu verstehen. Es ist die Meinung vertreten worden, dass diese auf den seltenen, z u f ä l l i g günstigen, Mutationen beruht. Die zahlreichen ungünstigen werden nach DARWIN ausgeschieden. Als Z u f a l l aufgefasst, wären aber solche Mutationen wahrscheinlich viel zu selten, als dass sie für ein Verständnis der Evolution genügen könnten, insbesondere, wenn man die raffiniert zweckmässige Kompliziertheit eines Organs in einem höheren Tier in Betracht zieht. Man wird schon an die bekannte Frage erinnert, ob der Faust-Monolog durch eine zufällige Zusammenstellung von Buchstaben entstehen kann. Hier drängt sich also doch eher eine teleologische (oder eine ähnliche) Art der Betrachtung auf.²

Wie dem auch sei, es ist wohl klar genug, dass der kausal-quantitativen Forschungsmethode, insbesondere der Verwendung von Physik und Chemie, definitive Grenzen gesetzt sind. Was uns unsere jetzige Wissenschaft schenkt, ist nicht ein vollständiges Weltbild, sondern eine Art Projektion der Welt auf eine kausal-quantitative Ebene. Ein «Weltbild der Physik» gibt es also nicht.

² Vergleiche dazu das schöne Buch von TEILHARD DE CHARDIN, *Le phénomène humaine*, deutsch: *Der Mensch im Kosmos*, das dem Aulazyklus, zu dem dieser Vortrag gehört, den Titel geliehen hat.

Die genannten Grenzen zu überschreiten, dürfte wesentlich andere Denk- und Forschungsmethoden erfordern. Es ist auch nicht einzusehen, warum nur das, was kausal und quantitativ ist, den Namen Wissenschaft verdienen sollte und warum zum Beispiel teleologische Argumente von vornherein ausgeschlossen sein sollen. Es ist aber bezeichnend für unsere Zeit, dass oft schon alles, was nicht kausal und quantitativ ist, als anthropomorph und unwissenschaftlich (gehören beide Attribute zusammen?) bezeichnet und abgelehnt wird.

Kehren wir zur heutigen Wissenschaft zurück. Das Bild, das uns diese Wissenschaft (und das gilt für die Physik bis etwa 1925) zeichnet, ist das einer völlig vom Menschen losgelösten Aussenwelt, die für sich mathematisch formulierten, quantitativen und streng deterministischen Gesetzen gehorcht. Sie ist damit ausgesprochen nicht-menschlich geworden (um nicht das Wort unmenschlich zu gebrauchen, das schon einen übertragenen Sinn hat). Wir haben aber auch gesehen, dass wir damit sicher nicht die ganze Wahrheit erfassen. Die quantitative und deterministische Wissenschaft kann also nicht Grundlage zu einer allgemeinen Weltanschauung werden. Sonst würden wir notwendigerweise in eine Art Schizophrenie (im populären Sinn des Wortes) gedrängt werden: Unsere Weltanschauung soll «wissenschaftlich» sein; aber als Menschen handeln und empfinden wir natürlich weder deterministisch noch quantitativ.

Eine solche, nur aufs Quantitative bedachte Denkweise führt dann auch zu Erscheinungen, die man schon als Degenerationserscheinung in der Wissenschaft bezeichnen muss. Dazu vielleicht noch ein kleines Beispiel. Vor einigen Jahren erschien in einer vielgelesenen Zeitschrift ein Aufsatz: Wieviel ist der Mensch wert? Antwort: zwei bis drei Dollar, genau ausgerechnet aus dem Wert der Chemikalien, aus denen der menschliche Körper besteht.

Unsere Betrachtungen sind keine Kritik an der jetzigen Wissenschaft, wohl aber eine Kritik an der zügellosen Übertragung von Prinzipien, die der exakten Wissenschaft entnommen sind, auf alles und jedes, insbesondere auf Menschliches. Die Wissenschaft können und wollen wir nicht mehr aus unserem Leben wegdenken. Sie hat uns ungeahnt tiefe Erkenntnisse geschenkt. Wenn sie uns aber nicht über den Kopf wachsen und alles Menschliche in uns abtöten soll, dann ist es wesentlich, dass wir verstehen, dass diese Wissenschaft – jedenfalls so wie sie jetzt ist – nur einen, nämlich den kausal-quantitativen Aspekt der Welt betrifft.

Es sei noch kurz eine andere Betrachtung eingeschaltet, die ebenfalls zeigt, dass der Mensch kaum so völlig losgelöst von einer physikalisch ablaufenden Aussenwelt ist. Schon manche grosse Physiker haben ihr Erstaunen über folgende Tatsache ausgedrückt: Die physikalischen Gesetze verlangen zu ihrer Formulierung die höchsten Gebiete der Mathematik. Die Mathematik ist aber eine reine Schöpfung des menschlichen Geistes, ohne Bezug auf Erfahrung, etwa wie ein Kunstwerk. Was hat die Natur aber mit dieser unserer eigenen Gedankenschöpfung zu tun? Es ist ein wirkliches Wunder, dass die Naturgesetze so parallel zu unserer Gedankentätigkeit verlaufen. Es ist auch schon ein Wunder, dass wir sie überhaupt mit unsern Gedanken erkennen können. Das wird

nur verständlich, wenn unser Geist selbst aufs innigste mit dieser Aussenwelt zusammengewachsen ist.

Dies wird uns auch eindrücklich durch die neueste Phase der Physik gezeigt, zu der wir uns nun wenden.

Wir haben zwei wesentliche Charakteristiken der Physik kennen gelernt: Die Physik ist kausal-deterministisch und quantitativ. Dies gilt für diejenigen Gebiete der Physik, die bis etwa 1925 bekannt waren. Zu diesem Zeitpunkt trat eine Änderung ein, als es nach jahrzehntelangen Bemühungen gelang, die Atomphysik zu erfassen. Sie betrifft vor allem die Frage der Kausalität. Wir beherrschen jetzt die Vorgänge im Innern eines Atoms mit der gleichen Präzision, wie wir seit NEWTON die Planetenbewegung beherrschen. Die Mechanik, die aber hier gültig ist, ist grundverschieden von der Newtonschen. Man nennt sie Quantenmechanik. Auf eine Begründung irgendwelcher Art kann hier natürlich nicht eingegangen werden; wir müssen uns damit begnügen, einige Tatsachen einfach festzustellen. In der populären Presse sind oft Bilder zu sehen, die ein Atom darstellen sollen: Kleine Kügelchen, die Elektronen, die auf schönen Ellipsen um einen Kern kreisen. Solche Vorstellungen haben historisch eine wichtige Rolle gespielt; es ist auch wahr, daß ein Atom aus einem Kern und einigen Elektronen besteht. Sonst aber ist an diesen Bildern fast nichts wahr.

Stellen wir uns die einfache Frage: Wie sieht ein Atom aus? Die einzig richtige Antwort lautet: Es sieht gar nicht aus, weil es kein räumlich darstellbares Bild gibt, das ein Atom widerspiegelt; ebensowenig gibt es räumlich verfolgbare Bahnen, die die Elektronen beschreiben. Wir könnten etwa versuchen, in einem Mikroskop nachzusehen, wie ein Atom aussieht. Der Physiker weiss aber, dass für so kleine Objekte selbst die raffiniertesten Mikroskope versagen müssen. Dagegen kann man sich Apparate ausdenken, die es gestatten, den Ort eines Elektrons zu einem bestimmten Zeitpunkt wirklich zu bestimmen. In manchen Fällen ist das auch de facto möglich. Wir können damit dann den Raumpunkt fixieren, wo sich das Elektron etwa eines Wasserstoffatoms in einem bestimmten Augenblick befindet. Machen wir den Versuch mit einer grösseren Anzahl von Atomen, so finden wir jeweils das Elektron an einer andern Stelle, immer in der Nähe des Kerns. Es gibt eine statistische Verteilung, die sich über ein Raumgebiet erstreckt – etwa von der Grösse eines 10-Millionstel-Millimeters (Abb. 1). Wesentlich für diesen Versuch ist, wie wir sehen werden, dass die Atome alle vorher unberührt waren, und wir mit ihnen noch keine Experimente, auch keine solche Ortsbeobachtungen angestellt haben. Diese statistische Verteilung der Elektronen ist charakteristisch für das Wasserstoffatom; sie ist das einzige räumliche Bild, das einige Berechtigung hat, aber es bezieht sich nicht auf ein Atom, sondern auf viele.

Nun möchten wir gerne etwas über die Bahnbewegung des Elektrons erfahren. Zu diesem Zweck wiederholen wir unsere Ortsmessung in regelmässigen kleinen Zeitabständen und beobachten, wie sich das Elektron weiterbewegt. Wir wählen die Zeitabstände so, dass sich das Elektron jeweils ein kleines sichtbares Stück weiterbewegt hat. Nennen wir das kurz eine Atomsekunde, es ist gleichgültig, wie lang diese wirklich ist. Und nun wiederholen wir die

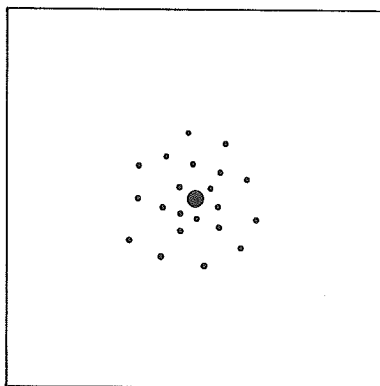


Abb. 1 Ortsmessung an vielen Wasserstoffatomen: statistische Verteilung des Elektronenorts.

Ortsbestimmung mehrmals, immer nach einer Atomsekunde. Was wir finden, hat mit einer vernünftigen Bahnkurve keine Ähnlichkeit. Es ist eine völlig unregelmässige Zickzackkurve, die Wegstücke sind bald kurz, bald lang. Es sieht so aus, als besteshe keinerlei Gesetz und Regel, als herrsche der Zufall (Abb. 2).

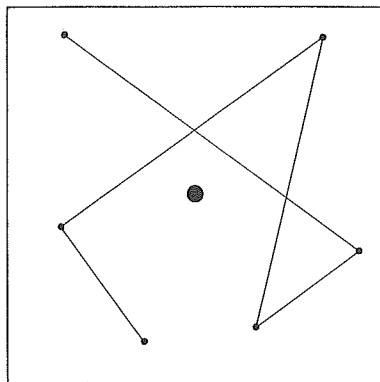


Abb. 2 In gleichen Zeitabständen wiederholte Ortsmessung des Elektrons in einem H-Atom.

Wenn wir den Versuch an einer grösseren Anzahl von Atomen machen, erhalten wir ganz verschiedene Zickzackkurven, selbst dann, wenn wir nur diejenigen Atome auswählen, bei denen bei der ersten Ortsmessung das Elektron zufällig an derselben Stelle war. Während von einer erkennbaren Gesetzmässigkeit im Einzelfall keine Rede ist, bestehen präzise statistische Gesetze. Bei der Ortsmessung an jungfräulichen Atomen (an denen noch keine Messung gemacht war), bestand eine ganz bestimmte Verteilung, die für das Atom charakteristisch ist. Auch kann man ähnliche statistische Gesetze für die

Zickzackkurven aufstellen. Es folgt daraus zunächst, dass im Einzelfall kein strenger Determinismus mehr besteht. Das Verhalten des Elektrons lässt sich nicht mehr exakt vorhersagen, wie es in der Newtonschen Mechanik der Fall war. Es lassen sich nur Wahrscheinlichkeitsaussagen machen: unter gegebenen Bedingungen ist mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit damit zu rechnen, dass das Elektron bei der Ortsmessung an der einen Stelle, mit einer andern Wahrscheinlichkeit an der andern Stelle zu finden ist usw. So ist es auch ganz allgemein bei andern Messungen, die wir etwa am Atom vornehmen können. Zum Beispiel können wir die Geschwindigkeit des Elektrons messen. Auch hier gibt es am Einzelatom nur Wahrscheinlichkeiten für die verschiedenen Messresultate. (Es gibt allerdings Fälle, wo die Wahrscheinlichkeit zur Sicherheit wird; das sind aber Ausnahmefälle, die natürlich für den Physiker auch besonders wichtig sind.)

Aber noch eine zweite wichtige Tatsache können wir feststellen. Wir haben gesehen, dass wir eine bestimmte Ortsverteilung erhalten, wenn wir an einer grossen Zahl von jungfräulichen Atomen eine Ortsmessung vornehmen. Wir wollen jetzt an allen diesen Atomen nach einer Atomsekunde noch einmal eine Ortsmessung vornehmen. Wir halten es wohl für selbstverständlich, dass wir dieselbe Verteilung erhalten wie zuerst. Wir betrachten ja die gleichen Atome, und die zuerst beobachtete Verteilung war für sie charakteristisch. Wir haben nichts weiter getan, als dass wir sie – beobachtet haben. Aber das ist ganz und gar nicht der Fall. Die neue Verteilung ist von der ersten verschieden, und um so mehr verschieden, je mehr Zeit wir zwischen den beiden Messungen vergehen lassen. Die zweite Verteilung ist viel ausgedehnter, ja viele Elektronen sind vom Kern so weit entfernt, dass wir sagen müssen, sie gehören nicht mehr zum Atom, das entsprechende Atom ist zerstört (Abb. 3). Das bedeutet aber etwas grundlegend Neues. Es bedeutet, dass die erste Ortsmessung das Atom, also unser Objekt, beeinflusst hat; es ist etwas anderes geworden als was es vor der Messung war (manchmal sogar zer-

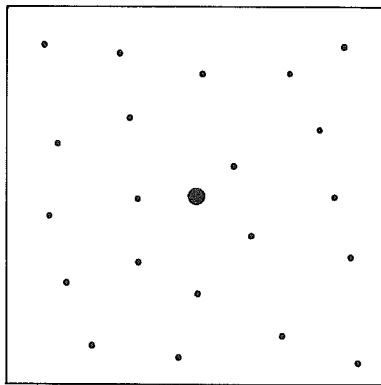


Abb. 3 Wie Abb. 1, aber nachdem schon eine Ortsmessung vorhergegangen war.

stört). In unserer gewöhnlichen Welt kann man sich das kaum vorstellen. Die Vorgänge hängen ja nicht davon ab, ob wir sie beobachten oder nicht. In der Mikrowelt der Atome und Moleküle ist das anders. Eine Beobachtung, das ist irgendeine physikalische Messung, ist ein kräftiger Eingriff in das Objekt selbst.

Aus dem Gesagten, insbesondere dem Auftreten der Wahrscheinlichkeiten (an Stelle *b e s t i m m t e r* Vorhersagen) folgt noch etwas für uns sehr Wichtiges. Nehmen wir an, von dem Eintreten eines gewissen Ereignisses, etwa von einem bestimmten Messresultat, hängen weitere Konsequenzen ab. Und nehmen wir an, dieses Ereignis ist bei einer Messung mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit zu erwarten. Wenn zum Beispiel eine Ortsmessung ergibt, dass der Abstand vom Kern sehr gross ist, dann können wir mit Sicherheit schliessen, dass das Atom zerstört ist (woraus natürlich noch mehr folgt). Um diese weiteren Konsequenzen nun bestimmt vorherzusagen, ist es notwendig, dass das Messresultat auch wirklich vom Beobachter *b e w u s s t* zur Kenntnis genommen wird. Es genügt offenbar nicht, nur einen Messapparat hinzustellen, der die Messung ausführt, ohne dass wir das Resultat auch ablesen: denn dann wissen wir ja immer noch nicht, ob das erwartete Ereignis auch wirklich eingetreten ist, und unsere Schlüsse über die weiteren Konsequenzen bleiben unbestimmt. Erst wenn wir das Messresultat auch kennen, können wir diese weiteren Schlüsse ziehen. Der Sinn einer Messung ist ja, Sicherheit über das Resultat zu gewinnen. Hier heisst das, die Wahrscheinlichkeit in Sicherheit zu verwandeln. Erst nach bewusster Kenntnisnahme des Resultats ist das aber der Fall, erst dann ist die Messung vollständig vollzogen. Erst dann wissen wir auch, wie die Messung das Atom beeinflusst hat.

Es ist also an dieser Stelle, wo doch wieder der Mensch in Erscheinung tritt, und zwar als bewusster Beobachter. Für die logische Abgeschlossenheit des ganzen wunderbaren Gebäudes der Quantenmechanik ist der Beobachter ein wesentliches Glied. Wir sind damit offenbar wieder bei der alten Frage, Objekt — Subjekt, angelangt. Hier in der atomaren Welt lässt sich diese Trennung nicht mehr so scharf durchführen, wie es in der vorquantenmechanischen Physik der Fall war. Das Verhalten eines Atoms hängt ja jetzt wesentlich davon ab, ob und welche Beobachtungen an ihm gemacht wurden, Beobachtung heisst aber auch Kenntnisnahme des Resultats.

Es mag wohl auch noch die Frage auftauchen, wie sich ein Atom verhält, wenn wir gar keine Messungen ausführen, also auch das Atom nicht beeinflussen. In diesem Fall ist es allerdings so, dass das Atom strengen Gesetzen unterliegt, die auch kausal sind. Nur beziehen sich diese Gesetze ganz und gar nicht auf räumliche Dinge wie der Ort des Elektrons. Sie sind überhaupt nur in der Sprache der Mathematik zu fassen. Aus ihnen lassen sich die Wahrscheinlichkeiten für eventuelle Messresultate berechnen, falls irgendwann eine Messung ausgeführt wird. Durch die Messung zwingen wir sozusagen das Atom in die Ebene der räumlichen Beobachtung, und hier treten dann die nicht-kausalen Erscheinungen zutage.

Die Physik seit NEWTON zeigte die stets stärker werdende Tendenz, eine objektive Aussenwelt zu supponieren, die, völlig losgelöst vom Menschen, als

ein blinder Mechanismus streng deterministischen Gesetzen folgt. Hier, in der Physik kleinster Gebilde ist eine bedeutsame Wandlung eingetreten; ein Schritt in der umgekehrten Richtung ist vollzogen. Sobald wir an solchen Gebilden Beobachtungen machen, folgen diese nicht mehr streng kausalen Gesetzen; statt ihnen tritt der Wahrscheinlichkeitsbegriff an fundamentale Stelle. Der Philosophie des strengen Determinismus ist hiermit jeder Boden entzogen. Der Beobachter, der die Messung ausführt, ist nicht mehr blosser Zuschauer von Ereignissen ausserhalb von ihm. Er beeinflusst den Gang der Ereignisse und kann also nicht mehr ignoriert werden.

Es ist wohl noch zu früh, darüber zu spekulieren, wie sich diese Erkenntnisse weiterhin auf unsere Wissenschaftsphilosophie auswirken werden. Sie sind philosophisch noch kaum richtig ausgewertet worden. Wir leben in einer Zeit rapiden materiellen und technischen Fortschritts, begleitet aber auch von einem Sich-Breitmachen eines oft oberflächlichen, sich wissenschaftlich nennenden Materialismus. Es ist das Nachspiel zu dem Ideengut der exakten Wissenschaft der letzten zweieinhalb Jahrhunderte, das uns, nun schon manchmal in degenerierter Form, entgegentritt. Die Mühlen des Geistes mahlen aber langsam. Die Frage drängt sich auf, ob die neuen Erkenntnisse der Atomphysik in einer wohl noch nicht sehr nahen Zukunft zu einer anderen, weniger deterministischen und daher auch weniger materialistischen Einstellung führen werden.