

ZB MED - Informationszentrum Lebenswissenschaften

Die Naturwissenschaft auf dem Wege zur Religion

Bavink, Bernhard

Frankfurt am Main, 1937

III. Der Abbau des mechanistischen Weltbildes

[urn:nbn:de:hbz:38m:1-125129](https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:hbz:38m:1-125129)

versuchen, dem Leser in ganz kurzen Zügen zu zeigen, wie im Laufe der Jahre das alte Bild zuerst allmählich abgebaut wurde, bis endlich vor etwa fünf Jahren sein endgültiger Zusammenbruch erfolgt ist.

III. Der Abbau des mechanistischen Weltbildes

Wir können in diesem Abbauprozess eine Anzahl verschiedener sich mehr oder minder deutlich abzeichnender Stufen unterscheiden, wobei wir aber nicht verfehlen wollen zu bemerken, daß diese nicht streng zeitlich hintereinander, sondern größtenteils sich überdeckend durchlaufen worden sind. Folgendes dürften die wichtigsten Stationen dieses Weges sein: die endgültige Verselbstständigung des Elektromagnetismus und die Einbeziehung der Lichttheorie in diesen (statt in die Mechanik), hiermit zugleich die Anerkennung eines real existierenden Etwas (des sog. „Feldes“), das mit der „Substanz“ der Mechanik nur noch wenig Berührungspunkte gemein hat, weiter die Einführung statistischer Gesetze neben den alten streng „dynamischen“ der klassischen Mechanik und Elektrizitätslehre, dann die elektrische Theorie der Materie und zuletzt die Relativitäts- und die Quantenlehre. Über die letztere wird unten ausführlicher zu reden sein, die ersteren müssen wir hier so summarisch als möglich abmachen, um nicht allzuviel Raum dafür zu beanspruchen.

Der grundlegende Begriff der heutigen Theorien der Elektrizität und des Magnetismus ist der des elektrischen bzw. magnetischen „Feldes“ (nicht der der „Ladungen“ bzw. „Pole“). Was ein magnetisches Feld ist, ist am einfachsten an dem bekannten Versuch mit den Eisenfeilspänen klarzumachen. Es ist ein eigentümlicher Zustand des den magnetischen Körper umgebenden Raumes, der sich durch das Bild der sogenannten „Kraftlinien“ unmittelbar anschaulich klarlegen läßt. Es ist grundverkehrt, sich zwecks Klarlegung dieses Begriffes dann doch wieder auf mechanistische Anschauungen zu beziehen, etwa den fraglichen Zustand mit dem Zustande einer seitlich gezerrten Gummiplatte zu vergleichen. Die Sache wird dadurch um nichts klarer, daß man Erfahrungen an elastischen Körpern zum Vergleich heranzieht. Denn wenn man die „Spannungen“ in einem solchen elastischen Körper auch „direkt fühlen“ kann (man braucht nur an einem Gummischlauch zu ziehen, um sie wahrzunehmen), so muß man sich doch sagen, daß ganz das gleiche auch von den magnetischen Kräften gilt. Jeder, der einmal einen Magneten und den Anker dazu in den beiden Händen gehalten hat, hat die fragliche Wirkung auch direkt gespürt. Man mache sich also grundsätzlich klar, daß die hier in der Lehre vom Elektromagnetismus auftretenden Begriffe wie „Feld“, „Kraftlinien“ usw. Grundbegriffe sui generis sind, die ebensogut selber als Erklärungsgrundlage alles möglichen anderen angesehen werden können, wie die gewohnten mechanischen Begriffe.

Nun haben aber die elektrischen und magnetischen Felder die sonderbare Eigenschaft, daß sie auch im sogenannten leeren Raume existieren, ja daß

sie sich sogar nur durch diesen hindurch völlig ungestört ausbreiten. Wer am mechanistischen Bilde klebt, wird deshalb immer wieder versuchen, diesem leeren Raume zunächst sozusagen eine Füllung mit irgendeiner Substanz zuzuschreiben, damit dann zweitens in oder an dieser jener Zustand existieren könne, den wir das „Feld“ nennen. Wer vernünftig ist, wird sich dagegen klarmachen, daß das lediglich eine überflüssige Verdoppelung des Objekts bedeutet. Das einzige, was wir wissen, ist dies, daß in dem betreffenden Raumteile eben das fragliche „Feld“ vorhanden ist. Die Frage, worin es denn eigentlich bestehe, ist zwar nicht sinnlos, aber es ist nicht notwendig, daß sie vorab beantwortet sein müßte, ehe man weiter mit dem Feldbegriff arbeiten kann. Lassen wir es einstweilen daran genug sein, daß es solche „Felder“ gibt, daß sie sich in Zeit und Raum ändern können, daß solche Änderungen sich im leeren Raum mit einer ganz bestimmten, aus gewissen elektromagnetischen Messungen zu ermittelnden Geschwindigkeit $c = 300\,000$ km/sec ausbreiten, und daß es demzufolge auch „Wellen“ in diesen Feldern („elektromagnetische Wellen“) gibt, d. h. mit der angegebenen Geschwindigkeit sich ausbreitende periodische Veränderungen der Feldgrößen. Der Rundfunk macht die Existenz solcher Wellen heute auch dem einfachsten Menschen sinnfällig. Leider wird auch hier die richtige und nüchterne Einsicht immer aufs neue durch das überflüssige Hineinziehen mechanistischer Bilder getrübt. Man redet von „Ätherwellen“ und dergleichen, indem man sich wiederum den Raum mit der bewußten, eigens zu diesem Zwecke erfundenen „Substanz“, dem „Äther“, ausgefüllt denkt, der dann wieder so eine Art von elastischen Schwingungen ausführen soll. Durch dieses Bild wird das klare Verständnis der Dinge nur verbaut. Eine „elektromagnetische Welle“ ist keine mechanische Schwingung, sondern eine periodische Änderung des Feldes (man denke dabei an das Kraftlinienbild), die nur in den formalen Ausbreitungsgesetzen mit den Ausbreitungsgesetzen von „Wellen“ im gewöhnlichen (mechanischen) Sinne übereinstimmt. Wer sich dies nicht klarmacht, wird niemals die moderne Physik verstehen. Es ist eine weitere grundlegend wichtige Erkenntnis der Physik, daß auch das Licht in Wellen dieser Art (nicht, wie Fresnel meinte, mechanischer Art) besteht. Die Lichtwellen unterscheiden sich von den Rundfunkwellen lediglich durch ihre erheblich größere Schwingungszahl oder — was auf dasselbe hinauskommt — kleinere Wellenlänge. Der besseren Übersicht halber setzen wir hier eine kurze Tabelle des Gesamtgebiets der elektrischen Schwingungen (Wellen) her, in die zugleich auch die anderen bekannten Teile der Wellenskala aufgenommen sind. Der Leser wolle wohl beachten, daß es sich dabei stets um elektromagnetische Wellen in dem vorgenannten Sinne handelt, und daß also die Schallwellen als mechanische Schwingungen der Materie im gewöhnlichen Sinne nicht hierher gehören, sondern vollkommen anderer Art sind. Die Frage, wieso der Rundfunk dann Schall übertragen könne, kann hier nicht erörtert werden.

Schwingungszahl (ν)	Wellenlänge (λ)	Art und Erzeugungsweise der Wellen
10 — 10^5 pro Sek.	30 000 — 3 km	Wechselstrommaschine
10^5 — 10^{10}	3 km — 3 cm	Rundfunk und Kurzwellen
10^{10} — $1,5 \cdot 10^{12}$	3 cm — 0,2 mm	Hertz'sche Wellen
10^{12} — $4 \cdot 10^{14}$	0,3 mm — 0,76 μ	Ultrarot
$4 \cdot 10^{14}$ — $8 \cdot 10^{14}$	760 — 380 $\mu\mu$	Sichtbares Licht
$8 \cdot 10^{14}$ — $1,5 \cdot 10^{16}$	380 — 20 $\mu\mu$	Ultraviolett
10^{16} — $3 \cdot 10^{20}$	30 — 0,001 $\mu\mu$	Röntgenstrahlen
bis $0,5 \cdot 10^{24}$	bis 0,6 $\mu\mu\mu\mu$	Höhenstrahlung

(1 μ = 0,001 mm; 1 $\mu\mu$ = 0,001 μ ; 1 $\mu\mu\mu\mu$ = 0,000 001 $\mu\mu$.)

Bei jeder Wellenbewegung ist $c = \nu \cdot \lambda$.)

Wenn nun der Elektromagnetismus auf diese Weise (seit Maxwell 1860 die elektromagnetische Lichttheorie aufstellte) sich die Optik einverleibte und diese damit der Mechanik endgültig entriß, so blieb es natürlich auf die Dauer doch ein unbefriedigender Zustand, daß jetzt zwei völlig getrennte Gebiete der Physik so nebeneinanderstehen sollten. Und dies war um so unmöglicher, als es ja doch feststand, daß mechanische Bewegungsenergie in Energie elektromagnetischer Schwingungen und Wellen umgesetzt werden kann und umgekehrt. In jedem glühenden Körper, der Licht aussendet, findet diese Umsetzung statt, denn die Wärme, die die Ursache der Lichtemission ist, ist ja nichts anderes als molekulare Bewegungsenergie (s. o.), das Licht dagegen besteht unzweifelhaft aus elektromagnetischen Wellen. Es entsteht also die Frage, ob, wenn denn der Elektromagnetismus nicht auf die Mechanik zurückführbar ist, sich nicht das Verfahren vielleicht umkehren und die Mechanik auf die elektromagnetische Grundlage stellen läßt. In der Tat geht in dieser Richtung die historische Entwicklung weiter, allerdings nicht, ohne daß dabei dann mechanistische Substanzbegriffe wieder in die Elektromagnetik eindringen. Die Grundzüge dieser etwa um die Jahrhundertwende begründeten und später unter Hinzuziehung der Quantenlehre zu einem glanzvollen Gebäude ausgebauten elektrischen Theorie der Materie sind etwa folgende:

Es gibt zwei Arten¹ substantieller Urteilsten, das sogenannte Elektron und das sogenannte Proton, das erstere ist negativ, das zweite ebenso stark positiv elektrisch. Beide sind in jedem normalen materiellen Körper in genau gleichen Anzahlen enthalten. Ein Zuviel an Elektronen bedeutet negative, ein Zuwenig positive Ladung. Beide Arten von „Korpuskeln“ besitzen Trägheit (Beharrungsvermögen, Masse), jedoch eine verschieden große, die des Protons ist rund 1840mal größer als die des Elektrons. Die Masse der letzteren kommt also praktisch für die Gesamtmasse der materiellen Körper kaum in Betracht. Die Vereinigung eines Protons und eines Elektrons, welches letztere das erstere in ähnlicher Art wie ein Planet die Sonne umkreist, ist das Wasserstoffatom. Die höheren Atome bestehen ganz ebenso aus einem „positiven Kern“ und einer Anzahl diesen umkreisender Elektronen; jedoch besteht der Kern selbst nicht etwa nur aus Protonen, sondern

¹ Neuestens scheinen noch zwei weitere Urteilsten, das sogenannte Neutron und das „positive Elektron“, entdeckt zu sein, doch haben diese Entdeckungen auf das hier gezeichnete „elektromagnetische Weltbild“ keinen grundsätzlich ändernden Einfluß. Übrigens ist es ziemlich sicher, daß dann zwischen allen vier Arten von Urteilsten erst recht irgendein innerer Zusammenhang angenommen werden muß.

aus Protonen und Elektronen; ein Überschuß der ersteren über die letzteren erzeugt die positive „Kernladung“. Alle chemischen Vorgänge lassen diesen Kern ganz unangetastet, sie spielen sich nur in den äußeren Teilen der den Kern umgebenden Elektronenhülle ab. Es gibt aber auch Veränderungen im Kern selbst, das sind die radioaktiven Vorgänge, die in einem Kernzerfall bestehen, so daß dabei aus einem Element ein anderes wird. Die Lichtausstrahlung glühender Materie kommt nach dieser Theorie durch den Umlauf der (äußeren) Elektronen zustande, sie wird also der Art (Frequenz) nach bestimmt sein durch den ganzen Aufbau des Atoms, das ist die Erklärung für die Tatsachen der Spektralanalyse (jede Atomart sendet ganz bestimmte, ihr eigentümliche Lichtwellenlängen, ihr sogenanntes Spektrum, aus). Außer solchen Lichtstrahlen gibt es aber auch die streng von ihnen zu unterscheidenden „Korpuskularstrahlungen“ (Kathodenstrahlen, Kanalstrahlen, radioaktive α - und β -Strahlen). Diese bewegen sich mit Unterlichtgeschwindigkeit und führen elektrische Ladungen mit sich; sie bestehen, wie die nähere Untersuchung zeigt, aus freien Elektronen (Kathodenstrahlen und β -Strahlen) oder aus freien Atomkernen (α -Strahlen = Heliumkerne) oder aus ganzen Atomen, deren äußere Elektronenhülle entweder einige Elektronen verloren oder einige überschüssige aufgenommen hat (positive und negative Ionen). Aus Untersuchungen an solchen Korpuskularstrahlen hat man zuerst den Schluß gezogen, daß die Trägheit der fraglichen Partikeln selbst keine ihnen ursprünglich anhaftende Eigenschaft im Sinne der klassischen Mechanik, sondern ein Phänomen ist, das aus der Wechselwirkung der elektrischen Ladung mit dem umgebenden Felde sich ableiten läßt. Die oben angegebenen Massen des Protons und Elektrons (sie betragen etwa anderthalb quadrillionstel Gramm bzw. $\frac{1}{1840}$ davon und werden mit M und m bezeichnet) sind also nach dieser Theorie nicht mehr primäre substantielle Qualitäten, sondern bloße Phänomene und deshalb auch nicht streng konstant. Die angegebenen Werte gelten nur für ruhende und langsam bewegte Korpuskeln, bei sehr raschen Bewegungen wachsen die Massen (Trägheiten) an, bei Erreichung der Lichtgeschwindigkeit würden sie sogar unendlich groß werden, d. h. es ist praktisch unmöglich, einem materiellen Körper überhaupt diese Geschwindigkeit zu erteilen. — Auf die verwickelten Gedankengänge, die zu diesem Bilde geführt haben — das in den wesentlichsten Grundzügen noch heute zu Recht besteht und voraussichtlich auch bestehen bleiben wird — können wir natürlich nicht eingehen.

Befinnen wir uns jedoch zuerst hier einen Augenblick auf seinen Gehalt in den oben erörterten philosophischen Hinsichten. Da ist es klar, daß die Elektronen und Protonen natürlich Substanzen in optima forma sind. Ist auch ihre Trägheit jetzt ein sekundäres Phänomen und damit Kants naive Gleichsetzung von „Erhaltung der Substanz“ mit „Erhaltung des Gewichts (der Masse)“ keineswegs mehr zulässig, so gilt doch für diese neuen substantiellen Partikelchen erst recht ein Erhaltungsgesetz, denn die Theorie setzt voraus, daß sie als solche bei allen physikalischen und chemischen Vorgängen bestehen bleiben; diese Vorgänge bestehen nur in Umgruppierungen

und ganz bestimmten Bewegungsformen dieser Teilchen sowie den dadurch zwangsläufig mit gegebenen Veränderungen des umgebenden „Feldes“. Durch die Hinzuziehung dieses Feldes wird der ältere Korpuskelbegriff freilich ein wenig erweicht. Man kann vom Elektron oder Proton schließlich mit fast demselben Rechte sagen, daß es im ganzen umgebenden Raume anwesend sei, wie daß es an dieser oder jener Stelle sich befinde, denn sein Kraftfeld erstreckt sich nach allen Seiten ins Unendliche. Aber schließlich galt das für das Gravitationsfeld der Massenpunkte der klassischen Mechanik auch. Es ist weiterhin zu beachten, daß dieses elektromagnetische Weltbild ganz ebenso streng deterministisch ist wie das alte. Auch nach ihm kann man aus der Kenntnis des gegenwärtigen Weltzustandes mit Hilfe der Grundgesetze (in diesem Falle derjenigen des Elektromagnetismus, der sogenannten Maxwell'schen Gleichungen) den gesamten Verlauf eindeutig berechnen. Grundsätzlich ist also in der Tat mit diesem Ersatz des mechanistischen durch ein elektromagnetisches Weltbild kaum etwas geändert worden, wenn auch die ganz grob mechanistischen Züge nunmehr aus den Grundlagen der Physik verschwunden sind.

Mit dem zuletzt über die Atomstruktur Gesagten haben wir freilich der geschichtlichen Entwicklung, wie schon angedeutet, ein gutes Stück vorgegriffen; die hier zuletzt erwähnten (in der Hauptsache von Bohr begründeten) Theorien stammen erst aus der Zeit nach der Begründung der Relativitäts- und Quantentheorie und machen zu einem Teile auch schon von diesen mit Gebrauch. Wir müssen jetzt zuerst wieder um etwa ein Jahrzehnt zurückgehen, in das Jahr 1905, d. h. zur Begründung der Relativitätstheorie Einsteins. Es ist hier natürlich nicht angebracht, diese Theorie selbst irgendwie darzustellen. Das ist mehr als genug in populären Schriften geschehen und hat doch nicht bewirken können, daß diese Theorie wirklich auch nur in ihren Grundzügen in das allgemeine Bewußtsein übergegangen wäre. Sie ist eben unanschaulich und abstrakt, und das ist nun einmal für die Mehrzahl der Menschen, auch der Gebildeten, ein unüberwindbarer Stein des Anstoßes, eines Anstoßes, der freilich nicht rechtfertigt, daß die Nichtverstehenden nun eine solche Theorie mit Haß verfolgen müßten, denn das tun sie bei anderen mathematischen Theorien, die sie ebensowenig verstehen würden, doch auch nicht. Der Grund, warum es bei der Einsteinschen Theorie oft geschieht, liegt offenbar darin, daß sie sich nicht mit ausgefallenen Objekten wie jene Theorien, sondern mit Dingen befaßt, die jeder aus der alltäglichsten Erfahrung zu kennen glaubt. Sie mutet uns also zu, lieb und vertraut gewordene Denkgewohnheiten zu revidieren, und gegen dieses Ansinnen pflegen die Menschen auf allen Gebieten, nicht nur dem der Physik und dem der Religion, sondern auch in der Politik, Kunst usw. mit Abneigung zu reagieren, die um so größer ist, je selbstverständlicher die in Frage gestellten alten Anschauungen ihnen gewesen sind.

Die Relativitätstheorie ist, wie bekannt, in zwei Stufen von Einstein entwickelt worden. Zuerst erschien die sogenannte spezielle Relativitätstheorie, dann zehn Jahre später die allgemeine Relativitätstheorie. Beide sind nicht, wie törichte und von keiner Sachkenntnis getrübe Urteile es

gelegentlich behauptet haben, im Widerspruch miteinander, sondern die jüngere Theorie ist eine Erweiterung und Dervollständigung der älteren, die in ihr ohne Rest aufgeht als Spezialfall, der für einen von Materie freien Raum gilt. Ich stelle auch ausdrücklich für die nicht physikalisch vorgebildeten Leser dieser Schrift fest, daß die moderne Physik nicht etwa, wie auch manchmal heute behauptet wird, diese Theorien bereits wieder aufgegeben habe. Sie denkt gar nicht daran, wohl aber daran, ob und wie sie mit anderen, auf anderem Boden erwachsenen Ansichten vom Wesen der materiellen Welt (s. u.) unter einen Hut gebracht werden können. Daran arbeitet auch Einstein selbst wie zahlreiche andere Physiker heute noch immer, und es sind in letzter Zeit mehrfache Versuche sowohl von ihm wie von diesen anderen erschienen, die sich aber bisher nicht als zureichend erwiesen haben, so daß man sie hat teilweise wieder fallen lassen müssen. Auf einen Fall dieser Art ist das vor kurzem die Runde durch gewisse Presseorgane machende Gerücht zurückzuführen, Einstein selbst habe die Relativitätstheorie „widerrufen“. Das ist nackter Unsinn. Was Einstein zurückgezogen hat, war einer jener eben genannten späteren Versuche zu einer abermaligen Erweiterung seiner Theorie; das Problem, um das es sich dabei handelte, war und ist die Einbeziehung auch des Elektromagnetismus in die Einsteinsche „Feldtheorie“, die sich zunächst nur mit der Gravitation und Trägheit befaßt.

Was bedeutet die Relativitätstheorie für uns in unserem (weltanschaulichem) Zusammenhange? Ihre philosophischen Konsequenzen liegen, wie allgemein bekannt, zunächst hauptsächlich auf erkenntnistheoretischem Gebiete. Sie bedeutet hier einen schweren und — nach Ansicht des Verfassers — unheilbaren Stoß für jeden reinen Apriorismus Kantischer Art. Aber das geht uns hier nicht viel an. Wichtig ist jedoch aus diesem Problemkomplex für uns dies, daß zunächst die Relativitätstheorie Raum und Zeit zu einer unlösbaren „Union“ (Minkowski) zusammengeschweißt hat, daß sie zweitens diese Raum-Zeit oder, wie man in der Relativitätstheorie sagt: Weltmetrik ebenso unlösbar an die Materie bindet, und daß sie drittens Energie und Masse (Trägheit) als im Grunde identisch anzusehen lehrt. Die beiden ersteren Punkte bedeuten, daß fortan im klaren Gegensatz gegen das klassisch mechanistische und auch gegen das rein elektromagnetische Bild sowie gegen die klassische Erkenntnistheorie (Kant) die Raum-Zeit-Ordnung, d. h. die Geometrie und Kinematik (Bewegungslehre) nicht mehr „vor aller Erfahrung“ feststehen, so daß die physikalischen Erscheinungen in diese an sich völlig qualitätslose und leere Ordnung nur „wie in eine leere Mietskasernen“ (Weyl) einzögen, sondern daß vielmehr diese Raum-Zeit-Ordnung selbst (die Weltmetrik) abhängig wird von der Verteilung der Materie. Sie umgibt diese sozusagen wie das Magnetfeld den Magneten (sogar nach einem formal analogen Gesetz), ja sie gehört geradezu physikalisch selbst zur Materie hinzu, so daß eine „leere“ Welt eine ebensolche contradictio in adiecto wäre, wie ein Staat ohne Bürger oder eine Kirche ohne Gläubige. Welche Geometrie und Kinematik hier in meiner Umgebung gilt, das kommt darauf an, welche Verteilung materieller Körper um mich herum vorliegt; in unmittelbarer

Nähe eines größeren Himmelskörpers, zum Beispiel der Sonne, gilt eine andere als in weiter Entfernung von einem solchen. — Zu dieser dem Laien allerdings notwendig fürs erste fast unmöglich vollziehbaren Vorstellung kommt als zweites wichtiges Ergebnis die erwähnte Identifizierung von Masse und Energie gemäß der Gleichung $E = m \cdot c^2$ (c die Lichtgeschwindigkeit), nach welcher alle Energie Trägheit besitzt (also z. B. auch Licht und Wärme „schwer“ sind) und umgekehrt alle schwere (träge) Masse (die Relativitätstheorie identifiziert beides) einen Energievorrat bedeutet. Diese Konsequenz der Relativitätstheorie wird auch von ihren Gegnern allgemein zugestanden und gehört zum eisernen Bestande der heutigen Physik. Denkt man diesen Gedanken konsequent durch, so ist es klar, daß schon damit im Grunde der Substanzbegriff im alten Sinne unmöglich wird. Wir kommen darauf aber unten ausführlicher zurück und wollen deshalb hier nur darauf im Vorbeigehen hinweisen.

In einem, dem wesentlichsten Punkte ist jedoch auch die Relativitätstheorie mit dem klassischen Weltbilde konform: sie ist streng deterministisch wie dieses. Auch hier und hier erst recht bildet die Grundlage des Ganzen ein System von exakt gültigen Differentialgleichungen, ja man kann geradezu sagen, daß es Einsteins Ziel war, die beiden in der früheren Physik nebeneinander stehenden Systeme solcher Grundgleichungen, nämlich die Newtonschen der Mechanik und die Maxwell'schen des Elektromagnetismus, in eine höhere Einheit zusammenzuschweißen. Und so tiefgreifend deshalb auch die Umwälzungen gewesen sein mögen, welche die Relativitätstheorie in Hinsicht auf unsere üblichen Vorstellungen von Raum und Zeit, Substanz und Energie, hervorgerufen hat: in diesem einen Hauptpunkte hat sich auch durch sie nichts geändert. Die Welt bleibt für den Laplace'schen Geist berechenbar, sobald er die in Rede stehenden Grundgesetze (die Einstein zu finden versuchte) und dazu einen einzigen „Weltquerschnitt“ exakt kennt. Es ist dafür schließlich gleichgültig, ob diese Welt eine euklidische oder nicht-euklidische ist, ob die Substanz als Massenpunkte, als Feldstärken oder als „Energieimpulstensor“ oder sonstwie definiert wird. Soweit wir uns auch schon von Newtons und Kants Vorstellungen entfernt haben, in diesem Punkte bleibt es beim alten.

Ehe wir uns nun zu denjenigen neuesten Theorien wenden können, die auch in diesem entscheidenden Punkte eine grundsätzliche Wendung herbeigeführt haben, ist es notwendig, ein paar Worte über eine andere Entwicklung zu sagen, die von anderer Seite her den heutigen Umschwung der Dinge vorbereitet hat, und zwar grundlegend wichtige Einsichten dafür bereitgestellt hat: das ist die dritte der oben angeführten neuen Entwicklungen, das Eindringen statistischer Methoden und damit der Wahrscheinlichkeitsrechnung in die „exakte“ Naturwissenschaft, die Physik.

Wir sahen oben, daß die Gesetze der Wärmelehre sich auf die der Mechanik grundsätzlich zurückführen lassen, sofern wir die Annahme machen, daß die Wärme in nichts anderem als in der Bewegungsenergie der Moleküle besteht. Was besagt aber dieses „Zurückführen“? Ein Kubikzentimeter Luft

enthält bei gewöhnlicher Temperatur und gewöhnlichem Druck rund 25 Trillionen Moleküle (Sauerstoff und Stickstoff). Soll jener Satz besagen, daß der Physiker, um nun das Verhalten dieses Kubikzentimeters in thermischer Hinsicht zu beherrschen, die Bahnen und Zusammenstöße dieser 25 Trillionen einzelner „Korpuskeln“ mittels der Newtonschen Mechanik berechnen müßte? Dann könnte die ganze Menschheit an diesen 25 Trillionen Bahnen ihr ganzes Leben lang rechnen, und es wäre noch nicht ein nennenswerter Bruchteil der Arbeit geleistet. Ganz abgesehen davon, daß es selbstverständlich ganz unmöglich ist, für diese 25 Trillionen Körperchen den „Anfangszustand“ oder den momentanen „Querschnitt“, d. h. die augenblicklichen Lagen und Impulse für einen ganz bestimmten Zeitmoment, wirklich zu ermitteln, denn wir können diese Moleküle ja nicht in dieser Position festhalten oder momentphotographieren, dazu sind sie viel zu klein und viel zu zahlreich und bewegen sich viel zu rasch. Man kann das Laplacesche Ideal also in diesem Fall wohl theoretisch postulieren, es aber praktisch niemals durchführen. Zum Glück brauchen wir nun aber auch eine solche Spezialkenntnis der einzelnen Bahnen gar nicht zu besitzen und können doch, und zwar gerade, weil wir es mit einer so ungeheuren Anzahl einzelner Moleküle zu tun haben, brauchbare Aussagen gewinnen. In allen solchen Fällen nämlich tritt vernünftigerweise die Statistik, d. h. das Rechnen mit durchschnittlichen Werten, an die Stelle der exakten Berechnung aller Einzelfälle. Rechnen wir mit einer durchschnittlichen Geschwindigkeit aller Moleküle statt mit den — streng genommen — 25 Trillionen verschiedenen Geschwindigkeiten aller einzelnen, so ergibt sich der Gasdruck, d. h. die Summe aller Stöße, die diese Moleküle gegen die Wände des Gefäßes ausüben, mit einer so gut wie vollkommenen Genauigkeit gerade deshalb, weil auf jedes Quadratcentimeter der Wand so ungeheuer viele Moleküle in jedem noch so kurzen Zeitteilchen auftreffen (die Rechnung ergibt im angegebenen Falle etwa 200 000 Trillionen Stöße pro Sekunde), so daß wir praktisch von einem konstanten Druck reden können, für dessen Größe es dann nur auf die durchschnittliche Wucht eines einzelnen Moleküls ankommt. Die diesem Zweige der Physik angemessene Methode ist daher die Wahrscheinlichkeitsrechnung, welche eben die Aufgabe hat, solche Durchschnittswerte zu ermitteln, die bei großen Zahlen von einzelnen Fällen sich ergeben. Wenn ich mit einem Würfel sechsmal hintereinander werfe, so kann ich nicht verlangen, daß dabei gerade jede der sechs Zahlen einmal drankommen soll. Wenn ich aber 6000 mal oder gar 600 000 mal werfe, so wird, sofern nur der Würfel ein „richtiger“ ist (d. h. nicht etwa auf einer Seite schwerer ist), ziemlich genau der sechste Teil (also etwa je 1000 bzw. 100 000) auf jede Zahl entfallen, und dieser Bruchteil wird um so genauer erreicht, je größer die absolute Zahl der Würfe wird (Gesetz der großen Zahlen). Mit Hilfe dieser Methode gelingt es in der Tat der kinetischen Wärmetheorie, fast sämtliche Gesetze des thermischen Verhaltens der Körper theoretisch zu erklären.

Hierbei ist nun aber eine für unsere späteren Erörterungen fundamental wichtige Einsicht festzuhalten. Es ist die, daß diese sämtlichen so ermittelten

„Gesetze“ offenbar von vornherein einen ganz anderen Charakter tragen als die in den mechanischen oder elektromagnetischen oder Einsteinschen Differentialgleichungen formulierten exakten Gesetze der klassischen Physik. Diese letzteren kennen keine Ausnahmen und keine „Schwankungen“, sie gelten schlechthin verbindlich, so weit nur ihre Voraussetzungen anwendbar sind. Jene „Gesetze“ der Wärmelehre dagegen müssen der Natur der Sache nach, eben weil sie nur statistische Regeln sind, um so sicherer Ausnahmen zeigen, je kleiner die Anzahl der ins Auge gefaßten Moleküle wird. Wenn wir einen Ziegelstein oder eine ebenso große Holzplatte betrachten und ausrechnen, wie groß die Summe der Stöße ist, die von den beiden Seiten (unten und oben) seitens der Luftmoleküle auf diese Platte ausgeübt werden, so werden wir finden, daß wegen der ungeheuerlichen Anzahlen der Moleküle, diese Stöße sich in jedem auch äußerst kleinen Zeitteilchen so gut wie völlig gegenseitig kompensieren, so daß jener Stein (jene Platte) sich nicht merklich bewegen wird. Perrin hat einmal ausgerechnet, wie lange ein Maurer, der im dritten Stock arbeitet, darauf warten müßte, daß zufolge einer „zufälligen“ ungleichen Stoßverteilung (Druckunterschied) ein solcher Ziegelstein ihm „von selbst“ vom Boden her in die Hand fliegen würde. Er hat gefunden, daß der Maurer darauf durchschnittlich $10^{10^{10}}$ Jahre warten muß. Das ist eine 1 mit 10 Milliarden Nullen, sie reicht geschrieben vom Nordpol bis an den Äquator, was sie bedeutet, ist schlechthin unvorstellbar. Eine solch geringe Wahrscheinlichkeit ist also praktisch völlig identisch mit Unmöglichkeit. Kein Mensch wird so verrückt sein, mit ihr als einer ernsthaft in Betracht kommenden Möglichkeit praktisch zu rechnen, sondern jeder Maurermeister wird noch wie vor, statt sich auf diesen Fall zu verlassen, Winden und Aufzüge anbringen, um die Steine nach oben zu schaffen. Nur muß man sich klarmachen, daß es eben doch nur eine Regel und kein strenges „Naturgesetz“ im Sinne Laplaces ist, worum es sich hier handelt. Das wird sofort klar, sobald wir die Zahl der Einzelmoleküle reduzieren. Setzen wir statt der erwähnten ziegelsteingroßen Platte ein winziges Plättchen von sagen wir einem tausendstel Millimeter im Quadrat, verlangen wir nicht, daß dieses gleich einen solchen Impuls bekommen soll, daß es in den dritten Stock fliegt, sondern nur einen solchen, daß es für sagen wir: eine hunderttausendstel Sekunde einen merklichen Druckunterschied von beiläufig 20 % erfahren soll, so wird dieses Ereignis schon so wahrscheinlich, daß wir es vor unseren Augen unter dem Mikroskop eintreten sehen. Die sogenannte Brownsche Bewegung kleiner in Flüssigkeiten oder Gasen suspendierten Körperchen ist nichts anderes als diese hier erörterte Folge ungleicher Verteilung der Stöße der dagegen prallenden Flüssigkeits- bzw. Gasmoleküle. Wir sehen also: die im obigen Beispiel vorliegende enorme Unwahrscheinlichkeit einer „Schwankung“ geht ganz kontinuierlich in größere Wahrscheinlichkeiten, zuletzt in solche, die der Gewißheit nahekommen, über. Es kommt eben nur auf die Zahl der ins Auge gefaßten Einzelfälle (hier Molekularstöße) an.

Die Anwendbarkeit der statistischen Methode in der Physik reicht erheblich weiter, als es zunächst den Anschein hat. Denn wegen der molekularen Struktur der Materie sind so gut wie alle Gesetze, welche sich auf den Ablauf von Vorgängen innerhalb der Materie beziehen, wie zum Beispiel die Gesetze der Wärmeleitung, Schallfortpflanzung u. dgl., in Wirklichkeit nur richtig zu erfassen, wenn wir sie als Summationen aus unermesslich vielen einzelnen (molekularen) Vorgängen behandeln, die wir als solche nicht wahrnehmen, sondern nur theoretisch erschließen können, deren Gesamtheit aber erst das erzeugt, was wir sehen, hören usw. Man unterscheidet heute allgemein die „makroskopische“ von der mikroskopischen bzw. submikroskopischen Betrachtungsweise. Die scheinbar einfachsten makroskopischen Gesetze, wie beispielsweise das Wärmeleitungsgesetz oder das sogenannte Boyle-Gay-Lussac'sche Gasgesetz, sind dann in Wahrheit also nur die statistischen Regeln dieses Gesamtgeschehens, für deren Ermittlung wir die einzelnen Vorgänge und ihre etwaigen Ursachen gar nicht zu kennen brauchen. Was die Statistik voraussetzt, ist nur zweierlei: erstens, daß die Zahl der Einzelfälle genügend groß ist, diese Voraussetzung ist bei den Trillionen und aber Trillionen von Molekülen, die immer an einem makroskopischen Vorgange beteiligt sind, immer erfüllt. Die Anwendbarkeit der Statistik setzt aber zweitens noch etwas voraus, was man geradezu als das Gegenteil einer Ordnung bezeichnen kann und deshalb auch die „Hypothese der elementaren Unordnung“ genannt hat. Was das heißen soll, ist am besten wieder am Beispiel des Würfels klarzumachen. Wenn dieses den erwarteten Erfolg haben soll, d. h. wenn die tatsächlich sich ergebende relative Häufigkeit jedes einzelnen Wurfes sich immer mehr dem Wert $\frac{1}{6}$ nähern soll, so muß vorausgesetzt werden, daß von den sechs möglichen Würfen nicht von vornherein einer durch besondere Ursachen ausgezeichnet wird, etwa dadurch, daß der Würfel auf der betreffenden Seite schwerer oder runder oder dergleichen ist. Wir würden sogar (und mit Recht) umgekehrt auf das Vorhandensein einer solchen besonderen Ursache schließen, wenn jener Erfolg offensichtlich nicht einträte, vielmehr eigensinnig zum Beispiel die fünf erheblich öfter fiele als in einem Sechstel aller Fälle. Entsprechendes muß man für die Atome und Moleküle annehmen. Auf die hier entstehenden schwierigen erkenntnistheoretischen Probleme, die allesamt auf das letzte Grundproblem aller Wahrscheinlichkeitsrechnung überhaupt, die reale Geltung des „Gesetzes der großen Zahlen“, hinauslaufen, sei hier nicht weiter eingegangen. Der Leser mache sich nur klar, daß demnach die fraglichen Gesetze gerade das „elementare Chaos“ voraussetzen. Gerade dann, wenn die elementaren Vorgänge nicht „geordnet“ sind, und nur dann, ergibt die Statistik die in Rede stehenden Summengesetze gemäß den Regeln der Wahrscheinlichkeitsrechnung. Das besagt natürlich nicht, daß jenen elementaren Vorgängen nicht jedem für sich eine strenge Kausalität zugrunde liegen kann. Von dieser wird aber bei der Statistik eben kein Gebrauch gemacht. Die Wärmelehre zum Beispiel hat an sich nichts dagegen, daß wir die Bahn jedes einzelnen Gasmoleküls im Sinne des Laplace'schen Ideals für streng deter-

minierte halten, sie kümmert sich indessen um diese Einzelkausalität gar nicht, sondern läßt sich an der ganz allgemeinen und rein äußerlichen Voraussetzung der „elementaren Unordnung“ genügen, die im Grundsatz ganz dasselbe besagt wie beim Würfeln die Voraussetzung, daß keine Würfelseite vor der anderen durch irgendwelche besonderen inneren Eigenschaften ausgezeichnet ist.

Aus diesen Überlegungen und der genannten geschichtlichen Entwicklung folgt also, daß man, wie Schrödinger einmal gesagt hat, im Grundsatz ebensogut eine scheinbare Gesetzmäßigkeit (gemäß statistischen Regeln) aus dem bloßen Zufall ableiten, wie umgekehrt einer jeden derartigen Statistik die Annahme strenger Kausalität für die Einzelfälle unterbauen kann. Anders gesagt: das Vorhandensein makroskopischer „Gesetze“ beweist an sich noch nichts für die Voraussetzung eines grundsätzlichen Determinismus, es kann sich auch bei diesen Gesetzen nur um statistische Regeln handeln, deren Gegenteil nur unermesslich unwahrscheinlich, jedoch nicht unmöglich ist. Andererseits aber kann keine derartige Statistik beweisen, daß es die etwa aus anderen Gründen supponierte Einzelkausalität nicht gäbe. Sie kann nur beweisen, daß sie für ihre Zwecke überflüssig ist. Dies für das Folgende festzuhalten, ist von großer Wichtigkeit.

Und nunmehr können wir uns denjenigen neuen Lehren zuwenden, die nach allen diesen mehr vorbereitenden Schritten den endgültigen Zusammenbruch des alten Bildes der Physik herbeigeführt haben.

IV. Der Zusammenbruch des mechanistischen Weltbildes

Ehe wir die fraglichen Lehren hier in aller Kürze darstellen, aber noch eine Vorbemerkung! Es wäre eine gänzlich falsche Auffassung vom Wesen des Erkenntnisfortschrittes in den Naturwissenschaften, wenn man dieses heute so oft gehörte Wort vom „Zusammenbruch“ der alten Vorstellungen dahin auslegen wollte, daß die Physik ihr ganzes bisheriges System völlig umwerfen und ihre Weisheit von gestern also nur durch einen neuen „Irrtum von heute“ ersetzen wollte. Wer so denkt, hat keine Ahnung von wirklicher Naturerkenntnis. Vielmehr liegen die Dinge so, daß das Neue überhaupt nur auf dem Boden des Alten wachsen konnte und gewachsen ist, und daß auch heute noch niemand zu den höheren, heute zugänglich gewordenen Stockwerken hinaufsteigen kann, der nicht zuvor die unteren Räume durchschritten hat. Insofern ist also gar nichts umgeworfen oder „zusammengebrochen“; was bisher galt, gilt auch heute noch: Nach wie vor gilt z. B., daß die Welt der materiellen Körper aus 92 verschiedenen Atomarten besteht. Daß diese ihrerseits wieder aus nur zwei verschiedenen Urteilen bestehen, ist eine Sache für sich, ein weiterer Schritt, mit dem wir ein neues Stückchen in das Innere der Dinge eingedrungen sind, weiter nichts. Ganz dasselbe gilt von den „Naturgesetzen“. Damit, daß sie als „bloße statistische Regeln“ jetzt sich enthüllen, hören sie keineswegs auf zu gelten (s. o.), nur hat dies „Gelten“ jetzt einen anderen Sinn bekommen und bedeutet für unsere gesamte Weltanschauung deshalb