

Die Abstraktion

in der modernen Physik

ABSTRAKTION ist die Grundlage jeder Wissenschaft, ja noch viel mehr: Sie ist die Grundlage jedes Denkens überhaupt; denn man denkt in Begriffen, und Begriffe werden stets durch Abstraktion gewonnen.

Nehmen wir als Beispiel den Begriff „Stuhl“. Wer „Stuhl“ denkt, denkt dabei nicht an einen realen, hier vorhandenen Stuhl, sondern an irgendeinen Stuhl, oder — wie wir auch sagen können — an alle überhaupt denkbaren Stühle. Beim Begriff „Stuhl“ abstrahieren wir von so und so vielen Einzelseigenschaften. Wir abstrahieren vom Material (Holz, Rohr, Metall, Kunststoff), von der Polsterung, von der Färbung, von der Art des Bezugs (Stoff, Leder oder auch gar kein Bezug), von der speziellen Form und von vielem anderen. Übrig bleibt nur, was allen Stühlen gemeinsam ist: eine horizontale Fläche auf Beinen mit einer Lehne, geeignet zum Sitzen für eine Person. Genau so ist es mit jedem Begriff des täglichen Lebens.

Ebenso ist es aber auch mit den Begriffen in der Wissenschaft, nur daß sie meist schärfer eingeschränkt, genauer präzisiert sind als die alltäglichen Begriffe, mit denen sie manchmal den Namen gemeinsam haben. Speziell in der Physik (aber auch in anderen quantitativen Wissenschaften) sind die Begriffe fast stets quantitativ definiert. „Kraft“ z. B. ist im täglichen Leben etwas recht Unbestimmtes. Mit diesem Wort wird ebenso die Kraft bezeichnet, mit der ein Athlet Gewichte stemmt, wie die „Kraft“ des Windes, die „Kraft“ der Sonne, das frühjahrliche Grün hervorzulocken, die seelische „Kraft“ eines Menschen, ein widriges Geschick zu tragen und manches andere mehr. In der Physik aber ist eine „Kraft“ eine zahlenmäßig feststell-

bare und meßbare Größe, die in eindeutiger Weise mit der Masse eines Körpers und mit dessen Beschleunigung verknüpft ist, welche diese Kraft bewirkt, falls sie allein auf den Körper ausgeübt wird.

Die Abstraktion geht also in der Physik, und zwar von ihren frühesten Anfängen an, weiter als im täglichen Sprachgebrauch. Die Physik handelt von meßbaren Größen; ihre Begriffe sind quantitativ, d. h., jedem speziellen Exemplar des Begriffs kann (nach Wahl einer geeigneten Einheit) eindeutig eine Zahl zugeordnet werden. Der Begriff läßt sich damit auf die Zahlenreihe „abbilden“ und erlaubt so alle mit Zahlen möglichen Rechenoperationen. Dadurch werden alle Zusammenhänge zwischen den Begriffen aus ihrer in der alltäglichen Sprache üblichen Unbestimmtheit gelöst und den strengen Formulierungen der Mathematik zugänglich. Die Erfolge der Physik bei der Beschreibung und Ordnung der Naturerscheinungen sind ganz klar an diese Möglichkeit der Mathematisierung geknüpft. Sie sind um so stärker in Erscheinung getreten, je stärker die Mathematik in die Physik eingedrungen ist.

Das ist aber, wie schon gesagt, von Anfang an zu erkennen, jedenfalls in Ansätzen, die sich dann im Laufe der Zeit immer mehr erweitert haben. Dies meinen wir also nicht, wenn wir von der Abstraktion in der modernen Physik sprechen, von dem, was offensichtlich die Physik von heute von der des 19. Jahrhunderts (und früherer Jahrhunderte), von der „klassischen“ Physik, unterscheidet. Wir müssen also untersuchen, was es mit der neuen „abstrakten“ Physik eigentlich auf sich hat, und uns gleichzeitig über die Gründe klar werden, die zu der Wandlung geführt haben.

Der Unterschied liegt, wie wir gleich sehen werden, gar nicht so sehr in der Abstraktion, die ziemlich gleichmäßig immer mehr fortgeschritten ist, wogegen die moderne Physik sich von der klassischen durch einen ziemlich deutlichen Sprung abhebt. Der Unterschied liegt vielmehr in einer Eigenart, die näher zu präzisieren nicht ganz einfach ist, in der „Anschaulichkeit“ bzw. „Unanschaulichkeit“ der verwendeten Begriffe und der ermittelten Zusammenhänge.

In den Jahrhunderten, da zuerst eine stärkere Durchdringung der Physik mit Mathematik stattfand, lag der Schwerpunkt auf der Mechanik. Die Mechanik handelt von der Bewegung von Körpern, im einfachsten Fall von starren Körpern, dann aber auch von deformierbaren festen Körpern, von Flüssigkeiten und von Gasen, von denen abgegrenzte Teile ja auch als „Körper“ aufgefaßt werden können. Die Bewegung von Körpern bot der mathematischen Formulierung besonders günstige Bedingungen, vor allem nachdem mit der Begründung der „höheren Mathematik“, der Differential- und Integralrechnung, das hierfür geeignete mathematische Instrument geschaffen worden war.

Die Bewegung von Körpern ist aber auch das Schulbeispiel eines „anschaulichen“ Vorgangs. Die Lage eines Körpers im Raum und deren Veränderung mit der Zeit sind Gegebenheiten, die unmittelbar mit den Sinnen erfaßt, direkt „angeschaut“ werden können. Die Grundbegriffe Raum und Zeit schienen zudem zunächst so wenig besondere Schwierigkeiten, so wenig Problematik zu enthalten, daß sie geradezu als dem Menschen eingeprägte Denkkategorien galten. Ein wenig schwieriger wurde es allerdings in der Dynamik, wo der Begriff der Kraft — nur sehr vage durch die direkte Empfindung der Muskelkraft vorbestimmt — einer sorgfältigen Definition bedurfte. Diese gab Newton in seinen berühmten Grundgesetzen und legte damit das Fundament der mathematischen Mechanik.

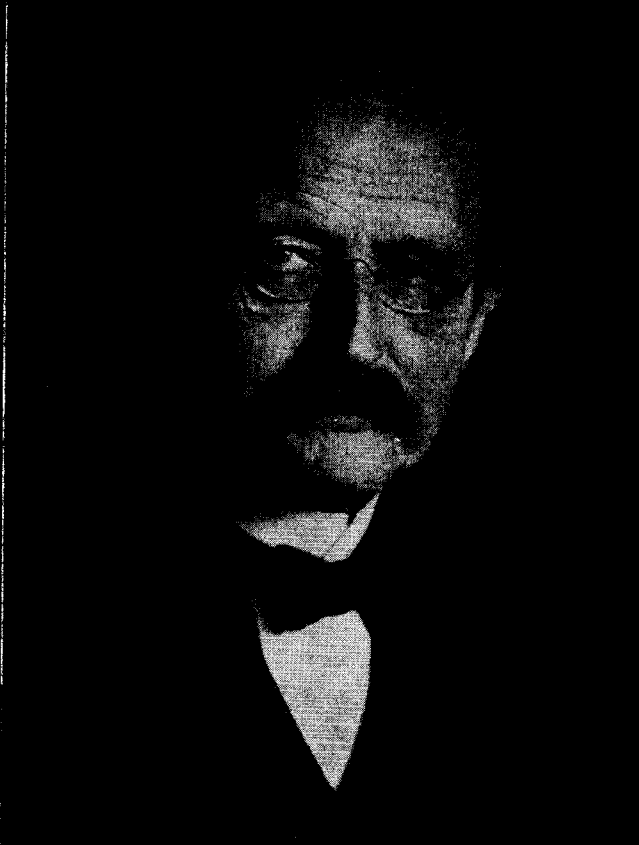
Später in der Mechanik aufgetauchte Begriffe sind weit weniger direkt der Anschauung zugänglich, sondern schon viel mehr durch mathematische Beziehungen geprägt. Trotz aller Gewöhnung während eines Jahrhunderts müssen wir uns z. B. klar darüber sein, daß der zunächst in der Mechanik begründete, dann aber für die ganze Physik so wichtige Begriff der **Energie** eigentlich kein „anschaulicher“ Begriff, sondern schon ein höheres Kunstprodukt ist, das nur eben durch die einfache Gesetzmäßigkeit, der es unterliegt — den bekannten Erhaltungssatz —, so sehr in den Vordergrund

tritt. In noch höherem Maße gilt dies etwa für den Begriff der **Wirkung**, der ja auch schon ein Jahrhundert vor dem Auftreten der Quantentheorie, deren zentraler Begriff er wurde, große Bedeutung bei der mathematischen Formulierung der klassischen Mechanik besaß.

Trotz alledem ist die Mechanik im ganzen doch eine recht anschauliche Wissenschaft gewesen — solange sie sich auf die klassische Mechanik beschränkte. Hieraus ist auch das längere Zeit vorherrschende Bestreben zu verstehen, alle anderen Gebiete der Physik auf die Mechanik zurückzuführen. Für die Akustik ist dies ohne weiteres gelungen; denn Schallwellen sind nichts anderes als elastische Wellen in materiellen Medien. Große Erfolge wurden in dieser Hinsicht auch für die Wärmelehre durch die kinetische Theorie der Wärme erzielt, hier allerdings erst durch den Rückgriff auf die (damals noch recht



Sir Isaac Newton (* 4. 1. 1643, † 31. 3. 1727)



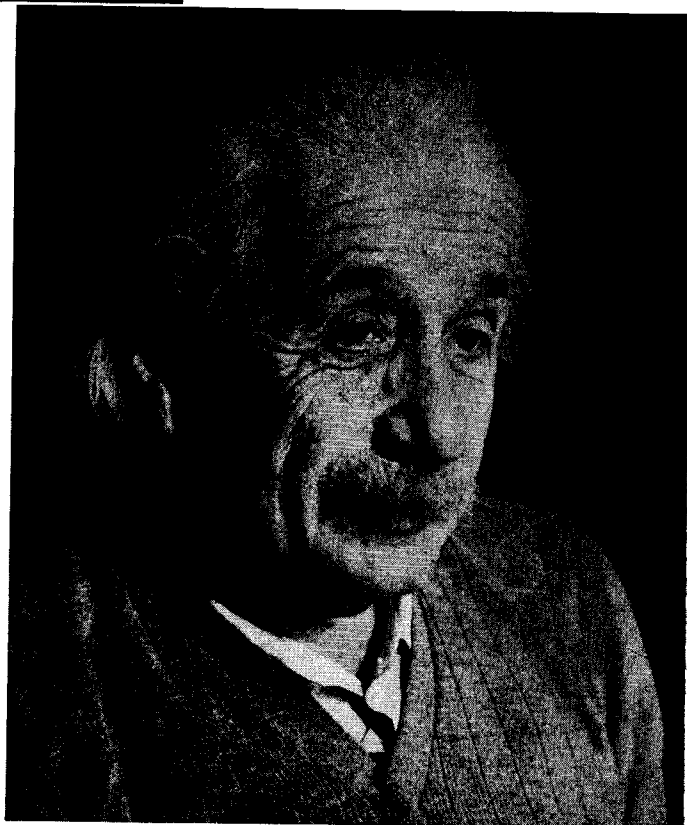
hypothetischen) Moleküle und Atome. Das Bild der mit hoher Geschwindigkeit durcheinanderschwirrenden und fortwährend aneinander abprallenden Gasmoleküle, deren kinetische Energie den Wärmeinhalt des Gases ausmacht und deren Stöße auf die Gefäßwand den Gasdruck bedingen, ergibt — mathematisch formuliert — nicht nur die richtigen Gesetze für das Verhalten der Gase, sondern ist auch ein Bild hoher Anschaulichkeit.

Bei den Vorgängen der Elektrizität und des Magnetismus allerdings scheiterten alle Versuche, sie mechanisch zu „erklären“, trotz des Bemühens der damals besten Köpfe. Auch die Optik, obschon das Licht eine Zeitlang als elastische Welle im „Äther“ gedeutet worden war, ordnete sich schließlich dem Elektromagnetismus unter. Seine mathematische Form fand dieses ganze Gebiet durch Maxwells berühmte Differentialgleichungen, die sich würdig den Newtonschen Grundgleichungen der Mechanik an die Seite stellen, wenn sie auch keine Zurückführung auf diese erlauben.

Hier tritt aber eine merkwürdige Erscheinung auf. Obwohl die Grundbegriffe des Elektromagnetismus, etwa die elektrische und die magnetische Feldstärke, die elektrische Ladung,

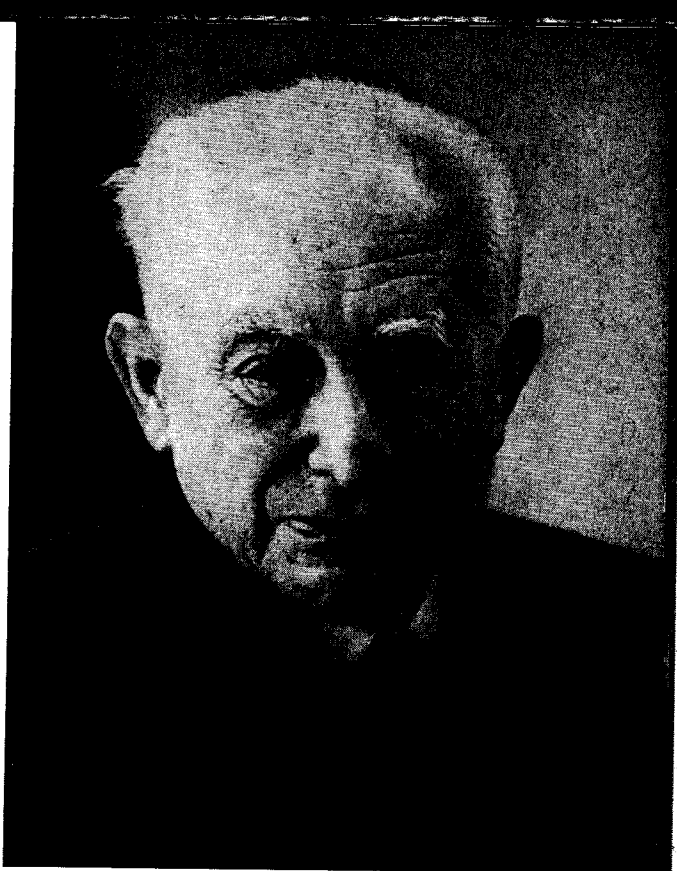
Oben: Max Planck (23. 4. 1858, † 4. 10. 1947)*

Rechts: Albert Einstein (14. 3. 1879, † 18. 4. 1955)*



die Stromstärke usw. zweifellos keine unmittelbar anschaulichen Begriffe sind und sich auch nicht auf die anschaulichen Begriffe der Mechanik zurückführen lassen, hat sogar hier die Gewöhnung — nicht zuletzt wohl durch die weitgehende praktische Anwendung dieser Begriffe in der Elektrotechnik — eine Art Pseudo-Anschaulichkeit geschaffen, die uns heute die Maxwellsche Theorie, also die mathematische Formulierung der elektrischen und magnetischen Vorgänge, nicht als eigentlich abstrakt empfinden läßt. Wir rechnen sie vielmehr ohne Zögern zur „klassischen“ Physik.

Die neue Physik beginnt erst in den Jahren um die Jahrhundertwende mit der Quantentheorie (1900) und der (zunächst „speziellen“) Relativitätstheorie (1905), die beide, obwohl grundsätzliche, die gesamte Physik beherrschende Theorien, besonders eng mit dem jetzt mächtig aufkommenden Atomismus verknüpft sind, in dessen Bereich sie ihre wichtigsten Anwendungen finden. An der Schwelle dieser Zeit stehen Planck und Einstein; an der Weiterführung der „abstrakten“ Richtung, besonders in den zwanziger Jahren bei der Entstehung der konsequenten Quantenmechanik, wirkten und wirken Bohr, Heisenberg, Born und viele andere.



Oben: Max Born (11. 12. 1882, lebt in Bad Pyrmont)*

Links: Werner Heisenberg (5. 12. 1901, lebt in München)*

Der Atomismus war ja zunächst ganz grob anschaulich gemeint gewesen. Die Atome und Moleküle dachte man sich als kleine Körperchen, die sich nach den Gesetzen der Mechanik bewegen und sich von den sichtbaren Körpern nur durch ihre sehr kleinen Dimensionen unterscheiden. Selbst als man erkannte, daß auch die Atome noch zusammengesetzte Gebilde sind, sich aus elektrisch geladenen Teilchen aufbauen, versuchte man zunächst, ihrer Struktur mit den klassischen Gesetzen der Mechanik und des Elektromagnetismus beizukommen.

Aber dies schlug fehl. Immer klarer zeigte sich, daß in der Welt der Atome andere Gesetze gelten, Gesetze, die offenbar viel allgemeiner sind und auch die groben, großen Körper mit umfassen, dort sich aber nur unmerklich wenig von den bisher allein bekannten klassischen Gesetzen unterscheiden. Der Prozeß dieser Erkenntnis war ein langwieriger und schmerzlicher, vor allem deswegen, weil sich herausstellte — unerbittlich erzwungen durch die gewaltig angewachsenen experimentellen Ergebnisse —, daß diese neuen Gesetze den Zug der Anschaulichkeit, selbst in der bisher schon recht eingeschränkten Art, vermessen lassen. Sie stellen nur mathematische Formalismen dar, die zwar die experimentell beobachtbaren Vorgänge richtig zu berechnen gestatten, es aber nicht erlauben, sich ein vollständiges, anschauliches Bild von diesen Vorgängen zu machen; ja sie erfor-

dern sogar völlig neue und in viel höherem Maße abstrakte Begriffssysteme.

In der speziellen Relativitätstheorie brachen die bisher festesten Fundamente der Physik, der absolute Raum und die absolute Zeit, zusammen. Beide mußten durch ein komplizierteres, von der Bewegung des Beobachters abhängiges Raum-Zeit-Kontinuum ersetzt werden.

In der Quantentheorie verlor sogar die exakte Beschreibung der Bewegung eines Partikelchens in Raum und Zeit überhaupt ihren Sinn. Paare bestimmter Größen wurden „Unbestimmtheitsbeziehungen“ unterworfen, und die deterministische Kausalität der bisherigen Physik wurde durch statistische Gesetze für die Grundvorgänge zwischen Elementarteilchen ersetzt.

Eine Zeitlang hatte all dies ein etwas chaotisches Aussehen. Aber allmählich kristallisierten sich auf der neuen Ebene ganz klare mathematische Formalismen heraus, deren konsequente Anwendung zu eindeutigen Resultaten führt, welche die empirisch erfaßten Naturvorgänge innerhalb weiter Bereiche ausgezeichnet darstellen. Vieles ist auch noch im Fluß, vor allem seit man unterhalb der Welt der Atome noch die weite Welt der Elementarteilchen genau zu erforschen begonnen hat. Doch zeichnen sich auch hier schon recht klare Ordnungsstrukturen ab, die hoffen lassen, daß auch die verschiedenartigen Wechselwirkungen zwischen den Elementarteilchen sich eindeutig auf einen bestimmten mathematischen Formalismus „abbilden“ lassen.

Dieses „Abbildern“ der Wirklichkeit, und zwar der atomaren Wirklichkeit, die allein zählt — alle „groben“ Vorgänge kommen durch Zusammenwirken der atomaren Zustände —, auf geeignete mathematische Strukturen ist die Aufgabe der modernen theoretischen Physik. Früher verlangte man noch mehr: Man verlangte von einer Theorie außer, daß sie „stimmte“, auch noch, daß sie aus einem anschaulichen Bild ableitbar sei. Die Natur selbst hat uns gezwungen, auf diese Forderung zu verzichten. Sie fügt sich nicht einem Wunschbild des menschlichen Geistes; sie verlangt vielmehr, daß man ihr eigenes Gesicht erkenne, auch wenn es unserem Anschaulichkeitsbedürfnis nicht entspräche.

So ist die moderne Physik notgedrungen „abstrakt“ geworden. Im Grunde ist sie dabei allerdings nur einer Entwicklungstendenz gefolgt, die schon immer in ihr lag; nur hätte früher niemand gedacht, sie könnte sich einmal in solch extremem Grade auswirken. Vielleicht wird aber die Gewöhnung, die uns heute schon den Energiebegriff und die Maxwellsche Theorie als „klassisch“ empfinden läßt, in nochmals hundert Jahren ihr Werk weitergeführt und unsere Physik von heute, die ja dann nicht mehr die „moderne“ Physik sein wird, unmerklich assimiliert haben.

Niels Bohr (* 7. 10. 1885, † 18. 11. 1962)

