

Die neuere Entwicklung des Massenbegriffes.

Von L. Dressel S. J. in Valkenburg (Holland).

Durch die Entdeckung der Elektronen und der radioaktiven Substanzen sind die Physiker zu einer Reihe höchst interessanter Tatsachen und theoretischer Folgerungen geführt worden, welche mehrere der physikalischen Grundbegriffe zum Wanken brachten. Dieses gab wieder Veranlassung zu tiefen und weitgreifenden Untersuchungen, welche auf die Fundamente der wissenschaftlichen Physik sich beziehen und die Forscher wohl noch lange Zeit in Atem halten werden. Das, was hierbei bereits zu Tage gefördert worden ist, dürfte auch der Beachtung des Naturphilosophen wert sein. In nachstehendem handeln wir über den Massenbegriff und über sein Verhältnis zu verwandten Begriffen. Der erste Teil berichtet über die Entwicklung des Massenbegriffes vor der Entdeckung der Elektronen, der zweite über die durch die Elektronen veranlassten Versuche, den Massenbegriff und damit auch die Vorstellungen von der Körperkonstitution umzugestalten.

I. Der Massenbegriff vor der Einführung der Elektronen.

Wir handeln im folgenden von der Masse im Sinne der heutigen Physiker. An erster Stelle suchen wir uns über die Herleitung und präzise Bedeutung des Massenbegriffes völlige Klarheit zu verschaffen.

1. Wie jeder andere physikalische Begriff, so wird auch der Massenbegriff der Erfahrung entnommen. Er datiert zurück bis auf Galilei und Newton. Denn er ist eine Folgerung aus den fundamentalen Bewegungsgesetzen, welche dieser grosse Brite, gestützt auf seine und seines Vorgängers Galilei Beobachtungen, mit einer Meisterschaft herauszulesen verstand, welche uns heute noch gerechte Bewunderung abnötigt. Newton zeigte, dass die Grösse der einem frei beweglichen Körper erteilten Geschwindigkeit abhängt einerseits von der Grösse der beschleunigenden Kraft und der Zeit ihrer Einwirkung und andererseits von einem „Etwas“, das in dem beschleunigten Körper seinen Sitz hat. Dieses Etwas ist die Masse des Körpers. Die genaue

experimentelle Prüfung aller Umstände des Bewegungsvorganges deckte folgende konstante Beziehungen zwischen Kraft, Beschleunigung¹⁾ und Masse auf:

Erstens, ein und derselbe Körper, in welchem also das, was wir Masse nennen, dasselbe bleibt, erhält durch Kräfte, deren Grössen im Verhältnis von 1 : 2 : 3 zu einander stehen, Geschwindigkeiten, die gleichfalls wie 1 : 2 : 3 sich verhalten. Bezeichnen wir also beliebige Kräfte durch F_1, F_2, F_3 und die von ihnen erteilten Beschleunigungen durch A_1, A_2, A_3 , so gilt auch das Verhältnis

$$F_1/A_1 = F_2/A_2 = F_3/A_3 = \text{konstant},$$

d. h. für jeden Körper ist unter allen Umständen der Quotient aus der Kraft und der zugehörigen Beschleunigung eine bestimmte unveränderliche Grösse.

Lassen wir zweitens verschieden grosse Massen durch eine und dieselbe Kraft beschleunigt werden. Doch wie wollen wir uns verschieden grosse Massen verschaffen, da wir noch gar nicht wissen, was die Massen sind? Wir können die sich hier anbietende Schwierigkeit dadurch umgehen, dass wir uns von einem ganz homogenen Körper abgemessene gleiche und ungleiche Volume verschaffen, in welchen die Massen im Verhältnis der Volume vorhanden sind. Wir finden, dass dieselbe Kraft gleichen Volumen auch eine gleich grosse Beschleunigung, ungleichen Volumen dagegen Beschleunigungen erteilt, die im umgekehrten Verhältnis der Volume, also auch der darin enthaltenen Massen stehen. Verhalten sich die Volume wie 1 : 2 : 3, so ist das Verhältnis der erteilten Beschleunigungen wie 3 : 2 : 1. Je grösser die Masse ist, um so geringer wird die Beschleunigung. Bezeichnen wir zwei verschieden grosse Massen durch m_1 und m_2 und die ihnen durch die gleiche Kraft erteilten Beschleunigungen mit A_1 und A_2 , so gilt allgemein

$$m_1 : m_2 = A_2 : A_1 \text{ (a).}$$

Um zwei verschieden grossen Massen in einer Sekunde die gleiche Beschleunigung zu geben, müssen wir deshalb solche Kräfte auf sie

¹⁾ Im folgenden haben wir mit den einzelnen Worten ganz bestimmte Begriffe zu verbinden. Geschwindigkeit bedeutet den Grad der momentanen Bewegungsintensität; sie wird gemessen durch den Weg, welchen der Körper infolge dieses Bewegungszustandes während einer Sekunde zurücklegen kann. Beschleunigung ist der Zuwachs an Geschwindigkeit während einer Sekunde infolge einer äusseren Kräfteinwirkung. Kraft bedeutet uns einstweilen nichts anderes als die physikalische Ursache einer Beschleunigung, inwiefern diese sich in ihrer Wirkung, d. i. in der erzeugten Beschleunigung, manifestiert.

wirken lassen, die in dem gleichen Verhältnis wie die Massen stehen, und es gilt dann

$$F_1 : F_2 = m_1 : m_2 \text{ (b).}$$

Die Verbindung dieser beiden Beziehungen (a) und (b) liefert uns ein mittelbares, aber sicheres Mass zur Bestimmung des Wertes der unmittelbar nicht messbaren Massen. Wählen wir, wie dieses heute in der Physik üblich ist, die Masseneinheiten für die Masse, die Kraft und die Beschleunigung derart, dass der Einheit der Masse durch die Einheit der Kraft die Einheit der Beschleunigung erteilt wird, dann wird stets der Massenwert eines Körpers numerisch gegeben durch die Gleichung

$$m = F/A \text{ (c)}$$

Im wissenschaftlichen Masssystem wird zur Einheit der Masse jene Masse genommen, die in 1 Kubikzentimeter reinen Wassers von der Temperatur 4° C enthalten ist, sie heisst „1 Gramm“. „Dyn“, die Einheit der Kraft, ist jene Kraft, welche der Masse von 1 Gramm die Einheit der Beschleunigung, d. i. während einer Sekunde die Geschwindigkeit von 1 cm erteilt. Konkret ausgedrückt bedeutet hiernach die Gleichung (c) so viel als: Wenn eine Kraft von F Dyn einem Körper in einer Sekunde die Endgeschwindigkeit von A Centimetern erteilt, so besitzt der Körper eine Masse m, die gleich ist F/A Gramm. Die Formel (c) enthält die physikalische Definition des Massenwertes eines Körpers. Ueber die Natur der Masse sagt sie nichts aus.

Es hiesse die wirkliche Sachlage verkennen, wenn man mit einigen Physikern, z. B. Narr (Einleitung in die theoretische Mechanik), Résal (*Traité de Mécanique général I*) obige Formel für eine begriffliche Definition der Masse erklären wollte. Denn das in ihr notierte Verhältnis ist nicht die Masse, sondern deutet nur das Vorhandensein einer Masse an, welche sich durch ihren Einfluss auf das Resultat der Beschleunigung eben zu erkennen gibt. Dasjenige, welches in den Körpern durch sein „mehr oder weniger“ tatsächlich bestimmend auf die Beschleunigung einwirkt, d. h. die grössere oder geringere Masse, muss in den Körpern wirklich existieren. Sie ist dasjenige, was im Körper direkt den Antrieb der von aussen einwirkenden Kraft erfährt, sie ist der unmittelbare Träger der Bewegung.

2. Eine einfache Umformung der Gleichung (c) liefert uns: $F = mA$ und $Ft = mA t = mv$, worin t die Zeit in Sekunden angibt, während welcher die Kraft F auf die Masse m gewirkt und ihr die Endgeschwindigkeit v gegeben hat. Der erste Ausdruck $F = mA$ enthält die Definition des Wertes einer Kraft, denn mA und nicht etwa bloss A misst den von der Kraft in einer Sekunde erzeugten Bewegungs-

zustand. Ebenso misst mv die von der Kraft während t Sekunden hervorgebrachte Wirkung, mv ist auch der allgemeine quantitative Ausdruck für den Bewegungszustand eines Körpers und heisst die „Bewegungsgrösse“. — In der Gleichung $Ft = mv$ liegt noch eine tiefere Bedeutung enthalten. Sie besagt einerseits, dass für jeden vorhandenen Bewegungszustand ein der Bewegungsgrösse mv numerisch gleicher Kraftantrieb Ft verbraucht worden ist, andererseits, dass jede Bewegung eine Kraftanlage im bewegten Körper darstellt, vermöge welcher er unter Verlust seines Bewegungszustandes einen Kraftantrieb leisten kann, der wieder numerisch gleich seiner Bewegungsgrösse ist. — Stösst eine elastische Kugel A gerade gegen eine andere gleiche Kugel B, so übernimmt (vollkommene Elastizität vorausgesetzt) die Kugel B die ganze Bewegung, und A bleibt bewegungslos liegen. Hierbei übte die Kugel A infolge ihrer Bewegung einen Kraftantrieb auf B aus und verausgabte ihre Bewegung samt der mit ihr gegebenen Kraftanlage, während in B beides erzeugt wurde. So lange A auf B mit abnehmender Kraft drückend einwirkte, hat auch B mit einer in jedem Augenblick gleichen Kraft gegen A gedrückt. — Was in diesem einfachen Vorgange sich ereignet, das geschieht erfahrungsgemäss immer und überall bei allen Bewegungsübertragungen und Beschleunigungen der Körper. Wir lernen hieraus die Masse von einer neuen Seite her kennen. Die Masse, welche sich uns zunächst als Gegenstand der Beschleunigung und als Träger der Bewegung geoffenbart hat, erweist sich nun auch als Träger der Kraft, und zwar letzteres nicht nur, wenn sie bewegt ist, sondern auch, wenn sie sich in Ruhe befindet. So oft eine äussere Kraft den Bewegungszustand eines Körpers irgendwie ändert, wirkt ihr die Masse des Körpers immer mit einer gleichen Kraft entgegen. Diese allgemeine Erfahrungstatsache ist unter der Bezeichnung des „Prinzips der Wechselwirkung“ bekannt und wurde zuerst von Newton aufgestellt.

So lange keine äussere Kraft auf einen Körper einwirkt, äussert dieser nie eine Kraftwirkung und verharrt in dem Zustande der Ruhe oder Bewegung, den er gerade besitzt. Schon Galilei hatte diesen Schluss aus seinen Beobachtungen gezogen und deshalb sein „Trägheitsprinzip“ aufgestellt¹⁾, welchem Newton später die präzisere Fassung gegeben hat:

¹⁾ *Discorsi e dimostrazioni matematiche a due nuove scienze attenenti, alla Mecànica ed a i movimenti locali* (Firenze 1718) 631.

„Corpus omne perseverat in statu suo quiescendi vel movendi uniformiter indirectum, nisi quatenus a viribus impressis cogitur statum illum mutare¹⁾.“

Die Trägheit der Masse stellt sich hiernach in doppelter Weise dar, erstens als absolute Unfähigkeit der Masse, in bezug auf den Zustand der Bewegung sich irgendwie selbst zu bestimmen, zweitens als aktiver Widerstand („Trägheitswiderstand“), welchen die Masse jeder Aenderung ihres Zustandes entgegensetzt. Im ersten Falle besagt sie etwas Negatives, im zweiten etwas Positives, eine wirkliche, genau messbare Kraft. Ihr Wert wird ebenso wie derjenige anderer mechanischer Kräfte durch mv , d. h. durch den Wert der Bewegungsgrösse definiert, die der Masse erteilt bzw. entzogen wird. Konkreter ausgedrückt: wird eine Masse von 10 g, welche die Geschwindigkeit $v = 100$ cm besitzt, in 1 Sekunde zum Ruhen gebracht, oder wird ihr, wenn sie ruht, in 1 Sekunde die Geschwindigkeit von 100 cm erteilt, so hat die Masse dabei mit der Kraft von $10 \cdot 100$ Dyn entgegengewirkt und eben dadurch ihre Bewegung verbraucht, um in dem einwirkenden Körper eine äquivalente Kraftanlage der Bewegung oder Spannung zu erzeugen.

3. Für die richtige Auffassung der Masse ist es von höchster Wichtigkeit, zu beachten, dass der Massenwert eines Körpers, wenigstens soweit es sich um gewöhnliche Bewegungsvorgänge handelt, eine unveränderliche, von allen Zustandsänderungen des Körpers gänzlich unabhängige Grösse ist. Ein Körper kann zusammengedrückt oder gedehnt, erhitzt oder abgekühlt, geschmolzen oder vergast, ja selbst chemisch verwandelt werden, sein Massenwert bleibt davon unberührt.

4. Alle Massen sind durch eine bedeutsame Wechselwirkung untereinander verknüpft, nämlich durch die „Gravitation“ oder „allgemeine Massenanziehung“, die darin sich äussert, dass die Massen sich gegenseitig zu nähern suchen. Wieder war es Newton, der als erster das Vorhandensein dieses alle Massen umschlingenden Bandes erkannte und 1682 aus den Bahnbewegungen der Planeten unseres Sonnensystemes das Gesetz ableitete, nach dem sich diese gegenseitige Anziehung vollzieht. 1798 bewies dann Cavendish direkt durch das Experiment, dass diese Anziehung zwischen allen Körpern nach demselben Gesetze stattfindet. Nach diesem Gesetze hängt die jedesmalige Gravitationswirkung ausser von den Abständen der aufeinander wirkenden Körper einzig und allein nur noch von den

¹⁾ *Philosophiae naturalis principia mathematica* ¹ (1687) 12.

Massenwerten der Körper ab. Sie ist also nicht den Körpern als solchen, sondern den in ihnen vorhandenen Massen zuzuschreiben.

In den Gravitationserscheinungen auf der Oberfläche der Erde tritt die Einwirkung der fernen Himmelskörper und der Einfluss der auf der Erde vorhandenen Körper unter einander für gewöhnlich so sehr zurück, dass wir sie unberücksichtigt lassen und die Gravitation einfach als die Wechselwirkung zwischen der Erdmasse und den einzelnen Körpern auf der Erde betrachten können. So gefasst nennt man diese Wirkung „Erdanziehung“ oder, inwiefern sie sich im angezogenen Körper als Zug bezw. als Druck äussert, „Schwere“ und „Gewicht“.

5. Es ist also der Begriff der Masse auf das engste verbunden mit dem Begriffe der Schwere und des Gewichtes. Da die Gefahr einer unerlaubten Verwechslung nahe liegt und tatsächlich Masse und Gewicht oft verwechselt werden, lohnt es sich schon der Mühe, Beides einander genauer gegenüberzustellen. Die Masse ist etwas Absolutes im Körper und bliebe in ihm ungeändert vorhanden, wenn er für sich allein in der Welt vorhanden wäre, also gar kein Gewicht mehr zeigte. Auch die Trägheit ist eine absolute Eigenschaft der Masse und erhielte sich unvermindert, wenn der Körper so weit ausser dem Bereich aller anderen anziehenden Körper gebracht würde, dass ihre Wirkung gleich Null gesetzt werden könnte. Eine bewegte Kanonenkugel verdankt ihre zerstörende Kraft nur ihrer Masse und der Geschwindigkeit, welche sie im Moment des Aufschlagens besitzt, deshalb würde sie auf dem Monde genau die gleiche Wirkung erzeugen, wie auf der Erde, wiewohl auf dem Monde ihr Gewicht auf den 80sten Teil herabsinken müsste. Das Gewicht ist eine relative Eigenschaft des Körpers, denn es ist die Folge einer aktiven Wechselbeziehung zwischen ihm und der Erde und ändert sich je nach der relativen Lage beider zu einander. — Während wir uns die Massen als Substrat der Bewegung und mechanischen Kraft, also als etwas Substantielles denken müssen, ist das Gewicht nur etwas Akzidentelles, die Folge der jeweiligen Wechselwirkung der Massen. Wiewohl alle Massen gegen einander gravitieren, so ist doch das effektive Gewicht keine wesentliche Eigenschaft der Masse, wie die Trägheit. Denkbar wäre es allerdings, dass alle Massenteilchen von Natur aus einen solchen bleibenden Bewegungszustand besässen, durch welchen sie mittels des Aethers die Gravitationswirkungen, also auch das Gewicht erzeugten¹⁾.

¹⁾ Nachdem man die Fernwirkungen in der neueren Physik hat fallen lassen, nimmt man an, bei der Gravitation treten die Massen mittels des Aethers unter einander in Wechselwirkung, indem sie in ihm Zustandsänderungen be-

6. Alle Massen verhalten sich in bezug auf die Anziehung und die Beschleunigung in ganz gleicher Weise, qualitative Unterschiede geben sich nirgendwo zu erkennen. Die Masse des Silbers wird genau ebenso von der Erde angezogen wie diejenige des Eisens, des Messings, des Glases oder irgend eines anderen Körpers. Im luftleeren Raume fallen alle Körper: Blei, Baumwolle, Kork usw. gleich schnell zu Boden. Es ist dieses eine sehr beachtenswerte Tatsache, weil sie unwiderleglich das gleichartige Verhalten der Massen in allen Körpern beweist. Christiansen macht in seinem Lehrbuche der Physik¹⁾ die zutreffende Bemerkung:

„Galilei zeigte, dass alle Körper im luftleeren Raume gleich schnell fallen. Dies ist eine der grössten Entdeckungen, denn sie zeigt, dass alle Körper unabhängig von ihrer sonstigen Beschaffenheit eine Eigenschaft gemeinsam haben. In keinem Gebiet der Naturwissenschaft existiert hierzu ein Seitenstück. Die Entdeckung Galileis deutet in der Konstitution der Materie auf eine Einheitlichkeit hin, deren volle Bedeutung sicher noch nicht erkannt ist.“

Schon Newton hatte es unternommen, diese Tatsache auch durch Pendelversuche zu bestätigen, in klassischer Weise und sehr genau geschah dieses 1828 durch den Astronomen Bessel.

An einem und demselben Orte sind die Massen- und Trägheitswerte der Körper genau proportional ihren Gewichtsdrücken. Weil man zur Fixierung sowohl der Massen- als der Gewichtseinheit 1 Kubikzentimeter Wasser im Zustande seiner grössten Dichte gewählt hat, so wird der Massenwert und der Gewichtswert praktisch immer durch dieselbe Zahl ausgedrückt. Dazu kommt, dass wir auch die Gewichtseinheit und die Masseneinheit im gewöhnlichen Leben mit dem gleichen Wort „Gramm“ bezeichnen. Das bietet zwar dem Physiker den Vorteil, die Massenwerte der Körper in einfachster Weise durch die Wage zu bestimmen, es verleitet aber auch dazu, den Unterschied zwischen Massen- und Gewichtswerten zu verwischen und der oben gerügten Verwechslung anheimzufallen. Das Gewicht, d. h. der Gewichtsdruck von 100 Gramm, ist begrifflich und quantitativ etwas ganz anderes, als die Masse von 100 Gramm. Jenes ist eine Kraftäusserung, ein Druck von $100 \cdot 981 = 98100$ Dyn oder Kraft-

wirken, welche den direkten Antrieb zur gegenseitigen Annäherung der getrennten Massen ausüben. Wir haben im vorhergehenden diesen Aether nicht in unsere Diskussion einbezogen, weil wir von demselben so viel wie nichts Bestimmtes aussagen können, ausser seiner Existenz. Es kursieren über denselben sehr verschiedene, z. T. widersprechende Vorstellungen. Wohl die Mehrzahl der heutigen Physiker schreibt auch ihm Masse zu, aber kein Gewicht und keine Gravitation. In diesem Falle wäre das Gewicht, sowohl das aktuelle als das virtuelle, nicht als wesentliche Eigenschaft der Masse anzusehen. Unter virtuellem Gewicht verstehen wir die tatsächlich vorhandene Gravitationsanlage, welche eine wirkliche (effektive) Anziehung aber nicht zur Folge hat, sei es weil ein anziehender Körper nicht da ist, sei es aus irgend einem anderen Grunde.

¹⁾ Elemente der theoret. Physik (1894) 6.

einheiten, diese das allen Körpern gemeinsame materielle Substrat im Betrage von 100 Einheiten.

Hiermit glauben wir die Herleitung und Bedeutung des physikalischen Massenbegriffes genügend auseinandergesetzt zu haben¹⁾.

7. Es entsteht nun die Frage, wie verhält sich die physikalische Masse zu den verwandten Dingen: Körper, Stoff, Substanz? — Körper nennen wir dasjenige, was nach drei Seiten ausgedehnt, ringsum begrenzt ist und den Raum so erfüllt, dass es anderes davon ausschliesst. Stoff oder Materie im weitesten Sinne ist dasjenige, woraus ein Körper besteht. So genommen, bedeutet das Wort dasselbe wie die Bezeichnung „materielle Substanz“ und umfasst sowohl das Gleichartige, was in allen Körpern sich vorfindet, die „Masse“, als auch das Ungleichartige in den Körpern, die chemischen einfachen und zusammengesetzten Stoffe oder Substanzen. Der Physiker als solcher lässt sich nicht beifallen, über den begrifflichen Zusammenhang dieser Dinge aprioristisch aufklären zu wollen. Er kann aber ebenso, wie er auf aposterioristischem Wege dazu gelangt, eine brauchbare Realdefinition von der Masse zu geben, auch als Physiker über die Beziehung der Masse zu dem, was wir Körper, Stoff oder Substanz nennen, etwas Bestimmtes folgern, was gerade deshalb, weil es auf die Erfahrung sich stützt, von nicht zu unterschätzendem Werte ist. Es schlägt dabei nichts, wenn er zu seinen Aufschlüssen nur dadurch gelangen kann, dass er zunächst den unsicheren Boden der Hypothesen betreten muss. Da nämlich die Erfahrungstatsachen über die Konstitution der Stoffe und Körper weder direkt noch indirekt etwas Bestimmtes lehren, so sucht er sich über die Konstitution der Körper mehr oder weniger willkürliche Vorstellungen zu bilden, die es ihm ermöglichen, einerseits die bereits festgestellten Tatsachen einheitlich unter einander zu verknüpfen und dem wissenschaftlichen Verständnis näher zu bringen, andererseits aber auch neue, dem Experimente zugängliche Folgerungen zu ziehen. Je nachdem das Experiment zu Gunsten oder Ungunsten seiner Vorstellung entscheidet, gewinnt oder verliert diese an innerem Halt.

¹⁾ Tatsächlich ist die Masse seit Newton immer in der auseinandergesetzten Bedeutung verstanden worden. Klar und bestimmt wurde der Massenbegriff nur nach und nach durch theoretische Studien und Arbeiten herausgeschält, und erst nach der Einführung des Zentimeter-Gramm-Sekunden-Systems (1875) als wissenschaftlichen Masssystems hat er sich allgemein eingebürgert und im Bewusstsein der Physiker festgesetzt. Vergl. Streintz, Die physikalischen Grundlagen der Mechanik 113. E. Mach, Die Mechanik in ihrer Entwicklung 202 u. 234.

Auf solche Weise wird gleichzeitig das Beobachtungsgebiet erweitert, der Kreis der möglichen Vorstellungen aber mehr und mehr eingeengt. Derartige frei gewählte Vorstellungen und alles, was nur auf sie sich stützt, hat selbstverständlich nie den Wert von Beobachtungstatsachen. Diese Hypothesen können wegen ihrer stets wachsenden Uebereinstimmung mit der direkten Erfahrung schliesslich aber einen solchen Grad von Wahrscheinlichkeit annehmen, dass man sie nicht wohl als falsch abweisen kann. Dieses dürfte bei der modernen Atomhypothese der Fall sein, und auf diese müssen wir jetzt etwas näher eingehen, weil von ihrer Beurteilung die Entscheidung der obigen Frage wesentlich abhängt, und weil auch die späteren Auseinandersetzungen im zweiten Teile der Arbeit ihre Kenntnis voraussetzen.

8. Wir begegnen bei den Chemikern und Physikern verschiedenen Vorstellungen über die Konstitution der Körper, im Grunde huldigen aber doch alle bewusst oder unbewusst der Atomistik. Diese unterscheidet sich ganz wesentlich von der dogmatischen Atomistik der alten Philosophen, eines Demokrit und Leucipp, sowie der späteren, wie eines Gassendi: sie ist keine aprioristische. Seit dem Anfang des letzten Jahrhunderts wird von den Naturforschern der Atomistik nur insoweit eine Berechtigung zuerkannt, als ihre hypothetische Einführung ein Hilfsmittel zur wissenschaftlichen Deutung der Beobachtungstatsachen, sowie Anregung und Anleitung zu systematischer Forschung zu bieten vermag.

Dem Chemiker soll sie es ermöglichen, die substanziellen Verschiedenheiten und die stofflichen Veränderungen in der Körperwelt dem Verständnis näher zu bringen, sowie die aufgedeckten Gesetzmässigkeiten übersichtlich zu formulieren und einheitlich zusammenzufassen. Die zahlreichen und grossen Erfolge, welche die Chemie mit Hilfe der Atomistik im letzten Jahrhundert erzielt hat, sind ein offenkundiger Beweis für den objektiven Wert ihrer Grundvorstellung, zumal wenn wir bedenken, dass in dieser langen Zeit keine andere Hypothese sich ausdenken liess, welche im Stande gewesen wäre, wir sagen nicht, Aehnliches zu leisten, sondern auch nur irgend einen aussichtsvollen Weg der Forschung zu eröffnen. Der Chemie ist es gelungen, das Entstehen und den Aufbau unzähliger zusammengesetzter Stoffe aus wenigen einfachen Stoffen, den chemischen Elementen, aufzuhellen, das innere Atomgefüge in den Molekeln auch der kompliziertesten Stoffverbindungen zuverlässig anzugeben. Wir erinnern hier nur an die Aufschlüsse über die isomeren Stoffe, an die Erfolge der Struktur- und Stereochemie. Sie vermag die Stoffwandlungen bei der Wechselwirkung verschiedener Stoffe aufeinander heute klar zu durchschauen und hat Mittel und Wege gefunden zur synthetischen Darstellung kompliziert zusammengesetzter Substanzen, die uns bisher nur durch den Tier- und Pflanzenorganismus

geliefert werden konnten, z. B. verschiedener Zuckerarten, der Terpene, des Indigo und zahlreicher organischer Farbstoffe, des Vanillins, Coniins und anderer Alkaloide. Sie hat auch schätzenswerte Einblicke eröffnet in den Zusammenhang der Eigenschaften der Stoffe mit dem atomistischen Aufbau der Molekeln. Ueber die innere Verschiedenheit der Elementarstoffe, bezw. ihrer Atome, welche ja auch die Hauptursache der Heterogenität der aus ihnen entstandenen zusammengesetzten Stoffe bildet, lässt sie uns allerdings noch vollständig im Unklaren. Sie legt einfach schon den Atomen die spezifischen Unterschiede bei, durch welche die Elementarstoffe erfahrungsgemäss charakterisiert werden. Es fehlt zwar nicht an Tatsachen, welche einzelne Chemiker auf die Vermutung brachten, es könnten wohl die Atome selbst wieder Verbindungen aus Teilchen einer niedrigeren Ordnung, aus „Uratomen“ sein. Diese Hypothese wurde jedoch unseres Wissens bisher nie zum Ausgangspunkt einer ernstesten theoretischen oder experimentellen Untersuchung gewählt.

Für den Physiker, dem es obliegt, die den Körpern gemeinsamen Zustandsänderungen zu erforschen und wissenschaftlich zu interpretieren, haben die spezifischen Unterschiede der Stoffe und die durch sie bedingten Schattierungen in den allgemeinen Erscheinungen nur ein untergeordnetes Interesse. Er bedient sich deshalb, wenn er seine Theorien auf atomistischer Basis errichtet, ganz genereller, je nach dem Tatsachengebiet wechselnder Atombilder. Immer aber denkt er sich die Atome als getrennte, bewegte, der Masse nach unveränderliche Teilchen, die in einem homogenen, widerstandslosen, alles erfüllenden Medium, dem Aether, vorhanden sind. Im übrigen legt er seinen Atomen bezw. Molekeln jedesmal nur solche und nur so viele Eigenschaften bei, als es gerade zur theoretischen Darstellung des betreffenden Tatsachengebietes, z. B. der kinetischen Gastheorie, der Elektrolyse, erfordert wird. Die heutigen Physiker sind nämlich peinlich bemüht, die Erscheinungen der einzelnen Spezialgebiete möglichst einfach und hypothesenfrei zu erklären. Um nachher die Atombilder zur gleichzeitigen Darstellung verschiedener Gebiete tauglich zu machen, haben sie die Eigenschaften so zu ergänzen bezw. abzuändern, dass sie auf alle passen. Auf diese Weise gelangt der Physiker dazu, das Atombild an der Hand der Erfahrung weiter auszugestalten. Indem er seine ganz allgemein und abstrakt gehaltenen Gleichungen auf die durch die Beobachtung gelieferten quantitativen Ergebnisse anwendet, wird es ihm dann auch möglich, Angaben über einzelne Eigenschaften der Atome und Molekeln herauszurechnen, die bald nur der Grössenordnung nach, bald aber auch dem absoluten Werte nach ganz bestimmt lauten¹⁾. — Mehrere Beobachtungen, besonders bei der Spektral-

¹⁾ So bestimmte Plank (Annalen der Physik IV 561 [1901]) und Einstein (ebendas. XVII 137 [1905]) das Gewicht eines Wasserstoffatoms auf grund der elektromagnetischen Lichttheorie zu 1,62 Quadrilliontel Gramm und die Zahl der in 1 g enthaltenen Atome zu 620 000 Trillionen. O. E. Meyer wurde durch die kinetische Gastheorie, also auf ganz anderem Wege, zur Zahl 640 000 Trillionen geführt. Diese Zahlen stimmen der Grössenordnung nach sehr gut mit anderen älteren und neueren Berechnungsergebnissen überein, die wieder aus verschiedenen Tatsachengebieten abgeleitet worden sind. Für die Geschwindigkeiten, mit denen die Gasmolekeln sich bewegen, findet die Gastheorie 1844 m in Wasserstoff, 392 m in Kohlensäure bei 0° C und 76 cm Quecksilberdruck, für

analyse, legten auch den Physikern den Gedanken nahe, dass die Atome weiter zusammengesetzt seien. Es wurden in der Tat auch Ansätze dazu gemacht, diesen Gedanken theoretisch und experimentell weiter zu verfolgen, jedoch bisher ohne nachhaltigen Erfolg.

Grosse Partien der verschiedensten Gebiete, der Mechanik, der Wärmelehre, der Optik und der Elektrizitätslehre sind bereits von den Physikern mit bestem Erfolge auf atomistischer Grundlage bearbeitet worden. Sie sind aber noch weit davon entfernt, alle Teile der Physik lückenlos in dieser Weise zu behandeln und in ganz unabwehrbarer Ferne liegt das höhere Ziel, alle physikalischen Erscheinungen unter Zugrundelegung eines einzigen Atombildes einheitlich zu erklären.

9. Strenge Kontinuitätshypothesen, welche nur Körper anerkennen, die ungeteilt und strukturlos sind und den Raum stetig erfüllen, lassen den Physiker bei genauerem Eingehen auf Einzelheiten und beim Eindringen auf den tieferen Grund der Erscheinungen im Stiche. Die kontinuierliche Vorstellung des Stoffes kann ihm jedoch gute Dienste leisten, wenn es sich nur um das Grobe der Erscheinungen handelt, und in Gebieten, auf denen die Konstitution der Stoffe gar nicht in Frage kommt. So haben von jeher bis heute hervorragende Physiker sich scheinbar auf den Boden der Kontinuitätshypothese gestellt. G. Kirchhoff stellt gleich zu Anfang seiner Mechanik den Satz hin:

„Es ist in diesen Vorlesungen die Annahme festgehalten, dass die Materie stetig den Raum erfüllt, wie sie es zu tun scheint; die Theorien, die auf der Annahme von Molekülen beruhen, sind in ihnen nicht berührt¹⁾.“

Nachdem Navier, Poisson und Cauchy, welche die Elastizitätstheorie begründet haben, von atomistischen Betrachtungen ausgegangen waren, hielten es später Cauchy, Gren, Lamé, F. Neumann für vorteilhafter, diese Theorie an das Kontinuum anzuknüpfen. Ebenso haben Laplace, Poisson und Gauss die Kapillaritätstheorie für kontinuierliche Flüssigkeiten abgeleitet. Heute besteht eine besondere Richtung der mathematischen Physik, die man als „Phänomenologie“ bezeichnet. Sie weist das Eingehen auf atomistische Voraussetzungen grundsätzlich ab und rühmt sich, in ihren Darstellungen weniger von dem Tatbestand der Vorgänge in der Natur

die mittleren Abstände der Molekeln 149 Milliontel mm im Wasserstoff und 55 Milliontel mm in der Kohlensäure, für die Zahl der Zusammenstösse in Wasserstoff 12360 Millionen und in Kohlensäure 5500 Millionen in der Sekunde.

¹⁾ Vorlesungen über die mathemat. Physik-Mechanik³ III.

sich zu entfernen, als die atomistische Physik. Boltzmann¹⁾ hat jedoch darauf aufmerksam gemacht, dass die Differentialgleichungen der Phänomenologen, durch die sie in einem mathematischen Bilde die einzelnen Tatsachen eines Gebietes einheitlich verknüpft, kurz und präzise darzustellen suchen, im Grunde doch alle aus atomistischen Vorstellungen entspringen. Denn die Phänomenologen gehen bei ihren ersten mathematischen Ansätzen von einer endlichen Zahl bestimmt geordneter materieller Punkte oder von einer endlichen Zahl bestimmt begrenzter Volumelemente, also von einer in Gedanken geteilten und zergliederten Materie aus und kultivieren so schliesslich doch nur eine verdeckte Atomistik.

Alle Erfolge, welche die mathematische Physik unter Voraussetzung einer kontinuierlichen Materie erzielt hat, beweisen für die Kontinuität der Materie nichts. Denn die Kontinuitätstheorien wollen die Existenz der Atome nicht leugnen, dazu hätten sie auch kein Recht. Sie abstrahieren vielmehr nur von der Frage, ob die Materie in Wirklichkeit stetig oder unstetig sei, und entscheiden sich für einstweilige Annahme einer stetigen Materie, um sich durch das Hineinziehen der Atome die mathematischen Operationen nicht unnötigerweise zu verwickeln und das Vorangehen zu erschweren.

Volkmann²⁾ hat mit Recht auf den Umstand hingewiesen, dass wir betreffs der Anwendung atomistischer Anschauungen drei Gebiete der Tatsachen zu unterscheiden haben: „gröbere Erscheinungen“, zu deren physikalischer Zusammenfassung und Erklärung ein Zurückgehen auf die innere atomistische Struktur nicht gefordert wird, und „feinere Erscheinungen“, für deren erfolgreiche theoretische Behandlung die Heranziehung der atomistischen Konstitution der Materie notwendig erscheint. Zwischen beiden liegt ein unscharf abgegrenztes Gebiet, für das der Nutzen atomistischer Grundlagen zweifelhaft ist. Im ersten Gebiete hält er die phänomenale Behandlung für angezeigt, im zweiten soll man von atomistischen Auffassungen ausgehen, das dritte soll man, dem Rate Boltzmanns gemäss, durch die gleichzeitige Verwendung der Atomistik und Phänomenologie kultivieren. Bei der Anwendung auf die Tatsachen wird es sich dann schon herausstellen, inwieweit die letztere, die in ihren Ausgangsgleichungen einfachere und übersichtlichere, aber auch abstraktere mathematische Bilder benutzt, ausreicht. Man wird dann erfahren, ob sie nur die wesentlichen Hauptzüge eines Tatsachengebietes, oder auch die feineren Nebenlinien derselben wiederzugeben vermag³⁾.

¹⁾ Annalen d. Physik u. Chemie, Neue Folge LX 231 ff., vgl. auch LIX 66.

²⁾ Annalen der Physik und Chemie, Neue Folge LXI 196.

³⁾ Dieses hat sich unter anderem bei der Kapillaritätstheorie gezeigt, bei der bisher die phänomenale Darstellung angewendet worden ist. Bei der An-

Es muss gewiss auffallend erscheinen, dass es gerade einer der angesehensten Chemiker, nämlich W. Ostwald, war, der in letzter Zeit der Atomistik auf das Entschiedenste den Krieg erklärt hat. Er tat dieses indessen nicht, weil er Chemiker war, sondern weil er mit Uebereifer einer neuen Darstellungs- und Forschungsmethode, nämlich der „Energetik“ oder der „Phänomenologie auf energetischer Grundlage“, huldigte und sie zu fördern trachtete. Die Energetik subsumiert alle Naturvorgänge unter dem allgemeinen Begriff von Energieänderungen und wendet auf sie die für diese geltenden allgemeinen Gesetze an. Sie abstrahiert also wieder prinzipiell von allen Besonderheiten in den Naturprozessen und von ihren besonderen Triebfedern, von der Konstitution der Körper und den Ursachen ihrer Verschiedenheiten. Geradesowenig wie die Phänomenologie auf mathematisch-physikalischer Grundlage, kann daher die Energetik durch ihr Vorgehen einen Beweis gegen die Atomistik erbringen. Dadurch, dass sie von den Atomen und Molekeln absieht, kann sie

wendung auf einzelne spezielle Vorgänge versagt sie plötzlich. Wird eine Seifenblase ganz allmählich aufgeblasen, so hört die Haut aus Seifenwasser in einem bestimmten Moment auf, stetig sich weiter zu verdünnen. Bei einer Dicke von $50 \mu\mu$ (= Millimikron = 50 Milliontel Millimeter) stellen sich in der glänzenden graublauen Haut, die vorher in verschiedenen Farben geschimmert hat, einzelne scharf begrenzte schwarze Flecken ein, die wie ründliche Löcher aussehen, in Wirklichkeit aber aus einem äusserst dünnen, zusammenhängenden Häutchen bestehen. Es hat nur noch ganz geringen Zusammenhalt, etwas grösser geworden platzt die Blase. Das Häutchen der schwarzen Fleckes verhält sich überhaupt nicht mehr wie dickere Haut. Beim Entstehen hat das schwarze Häutchen die maximale Dicke von $10 \mu\mu$ und kann, ohne zu zerstiessen, nur bis zu einer bestimmten unteren Grenze herabsinken. Lord Kelvin hat diese zu $0,1 \mu\mu$ bestimmt. Derartige Unstetigkeiten im Verhalten passen schlecht in die Kontinuitätstheorie hinein, wohl aber stimmen sie gut mit den atomistisch gedachten Flüssigkeiten überein, welche aus Molekeln mit begrenzten Wirkungssphären bestehen. Sobald nämlich die Dicke unter den Durchmesser der Wirkungssphäre herabsinkt, muss das Verhalten der Schicht sich ändern, und es kann die Schicht von da ab nur mehr bis zum Durchmesser einer Molekel sich verdünnen. In der Tat stimmt auch der von Lord Kelvin gefundene Wert mit dem auf anderen Wegen gefundenen Werte des Molekel durch mehrere der Grössenordnung nach überein. — G. van der Mensbrugge (*Bulletin de l'académie de Belgique* (3) XXVI 37 und XXX 488) hat auch wiederholt betont, dass die Kontinuitätstheorie der Kapillarität von der Tatsache der Verdampfung der Flüssigkeiten keine Rechenschaft zu geben vermögen, während dieselbe bei atomistischer Auffassung wie von selbst sich ergibt (vgl. Dressel, Lehrbuch der Physik ³ I 308). Boltzmann rügt es überhaupt als einen Uebelstand der phänomenologischen Gleichungen, dass sie nur für einzelne, eng umschriebene Gebiete Geltung haben und kombinierte Erscheinungen, wie z. B. elastische Deformation mit gleichzeitiger Erwärmung und Magnetisierung, nicht darzustellen vermögen, ohne äusserst kompliziert sich zu gestalten.

dieselben nicht aus der Welt schaffen und daraus, dass man der Atome und Molekeln in den ganz allgemein gehaltenen, energetischen Erklärungen entraten kann, folgt nicht, dass sie zur Erklärung der Erscheinungen überhaupt nicht nötig sind. Weiss heute doch jeder einsichtige Physiker, dass den energetischen Erklärungen noch viel engere Schranken gesteckt sind als der mathematisch-physikalischen Phänomenologie. Wie wenig indessen gerade Ostwalds Behauptungen in dieser Frage ins Gewicht fallen, dürfte sich aus seinen sonstigen Abirrungen vom rechten Wege ergeben¹⁾. Die Energie ist ihm die einzig wirklich existierende Substanz, Materie und Masse sind reine Gedankendinge²⁾.

10. Physiker und Chemiker schreiben jedem Atome eine bestimmte unveränderliche Masse zu. Wie verhält sich nun die Masse zum Atom? Gewöhnlich pflegt man die Substanz der Masse mit der Substanz des Atoms zu identifizieren. Eine solche Gleichstellung ist aber nichts weniger als selbstverständlich. Den heterogenen Atomen werden zwar verschiedene Gewichte und deshalb verschiedene Massenwerte beigelegt, das allein kann jedoch die Verschiedenheit der Atome in chemischer und physikalischer Hinsicht nicht erklären. Denn dadurch, dass von der überall gleichartigen Masse verschieden viel vorhanden ist, können die Atome nach dem Grundsatz „plus et minus non mutat speciem“ nicht spezifisch verschiedene Qualitäten annehmen. — Wie wir schon früher bemerkt haben, müssen wir die Masse für eine Substanz halten. Es fragt sich nun, was muss zu dieser hinzutreten, damit aus der gleichen Masse verschiedenartige Atome werden?

¹⁾ Boltzmann, Ein Wort der Mathematik an die Energetik. Annalen der Physik und Chemie. Neue Folge LVII 63.

²⁾ Naturwissensch. Rundschau X 557 und 569. Eine abgesonderte Stellung nimmt die Vorstellung ein, welche W. Thomson (Lord Kelvin) sich von der Körperkonstitution gebildet hat. Er legte sie zum erstenmal 1862 und dann ausführlicher 1867 der königl. wissenschaftlichen Gesellschaft zu London vor. Er denkt die Atome der Stoffe als Wirbel in einer reibungslosen inkompressiblen Flüssigkeit. Von solchen Wirbeln hatte H. v. Helmholtz 1858 bewiesen, dass sie ihrer Natur nach unteilbar, unveränderlich und schlechthin unzerstörbar sein müssten. Sie können auch nicht künstlich erzeugt werden, sondern müssten von Anfang an existiert haben, d. h. geschaffen gewesen sein (Crelles Journal 1858). Die spezifische Verschiedenheit der Atomwirbel wird bedingt durch die verschiedene Menge der wirbelnden Masse und die verschiedene Wirbelintensität. Wohl wegen der schwierigen mathematischen Behandlung ist diese Wirbeltheorie bis heute über die ersten Anfänge nicht hinausgekommen. Wir begnügen uns deshalb, auf sie hingewiesen zu haben.

Eine verschiedene Gestaltung genügt hierzu offenbar nicht. Verschiedene, den Atomen bleibend inhärierende, also wesentliche Bewegungen, woran schon einzelne Forscher wie z. B. Beketoff gedacht haben, dürften ebenfalls nicht ausreichen. Diese Bewegungen könnten auch nur Rotations- oder Wirbelbewegungen in einem reibungslosen Medium sein. Jedenfalls entstände dann sofort die weitere Frage, woher kommt diese Bewegung? Die träge Masse ist ja von Natur aus indifferent gegen Bewegung oder Ruhe, ausserdem kann die überall gleiche Masse nicht in sich den Grund zu verschiedenen wesentlichen Bewegungen haben. Aber genügt es denn nicht, könnte da jemand einwenden, die verschieden schweren Atommassen mit verschiedenen Kräften auszurüsten, durch welche sie befähigt würden, die verschiedenen, den einzelnen Elementen charakteristischen Erscheinungen hervorzurufen? Ganz abgesehen davon, dass es schwer halten dürfte, die nötigen Kräfte anzugeben und näher zu bezeichnen, ist eine derartige Einführung von Kräften, unter denen man sich nichts Bestimmtes vorstellen kann, heute verpönt. Physikalische und chemische Kräfte müssen ja selbstverständlich insofern in den Atomen vorhanden sein und angenommen werden, als die von ihnen hervorgebrachten physikalischen und chemischen Wirkungen entsprechende Ursachen in ihnen voraussetzen¹⁾. Diese allgemeine und unbestimmte Erkenntnis über das Vorhandensein von Kräften kann aber zur Erklärung ihrer Wirkungen nichts beitragen. Damit die Kräfte ein erklärendes Element abgeben, muss die physikalische Anlage im Atom, durch die es die Fähigkeit zum Wirken erhält, wenigstens versuchsweise näher bezeichnet werden, es muss der notwendige Zusammenhang dieser Anlage mit der hervorzubringenden Wirkung begründet werden. Ob nun aber solche Anlagen in der Masse des Atoms oder in etwas anderem zu suchen seien, wodurch die Masse erst zum Atom umgebildet wird, das ist die grosse, dunkle Frage, die vorerst zu lösen wäre, eine Frage, um die weder die Physiker noch die Chemiker je sich ernsthaft bekümmert haben.

Bevor wir diese Frage weiter verfolgen und auf verwandte allgemeine Fragen uns einlassen können, müssen wir uns über den Umschwung orientieren, der sich in der Physik nach der Entdeckung der Elektronen vollzogen hat.

¹⁾ Dressel, Lehrbuch der Physik ³ II 1031 und 1028.

(Schluss folgt.)