

PIERRE DUHEM

Ziel und Struktur
der physikalischen Theorien

Autorisierte Übersetzung von
FRIEDRICH ADLER

Mit einem Vorwort von
ERNST MACH

Mit einer Einleitung
und Bibliographie
herausgegeben von
LOTHAR SCHÄFER

FELIX MEINER VERLAG
HAMBURG

Aber wenn die experimentelle Methode, so wie sie beschrieben wurde, schwierig zu handhaben ist, so ist doch ihre logische Analyse sehr einfach. Dem ist nicht mehr so, wenn die Theorie, die der Kontrolle der Tatsachen unterworfen werden soll, nicht mehr der Physiologie, sondern der Physik angehört. In diesem Falle kann in der Tat nicht mehr die Rede davon sein, die Theorie, die man prüfen will, vor der Türe des Laboratoriums zu lassen, denn ohne sie ist es unmöglich nur ein einziges Instrument zu justieren, eine einzige Ablesung zu interpretieren. Wir haben gesehen, daß im Kopfe des Physikers, der experimentiert, stets zwei Apparate vorhanden sind: der eine ist der konkrete Apparat aus Glas und Metall, mit dem er manipuliert, der andere ist der schematische und abstrakte, den die Theorie an Stelle des konkreten setzt und an den der Physiker seine Betrachtungen anknüpft. Diese beiden Begriffe sind unauflöslich in seinem Verstande vereinigt. Jeder von ihnen ruft notwendigerweise den anderen hervor. Der Physiker kann nicht an den konkreten Apparat denken, ohne den Begriff des schematischen Apparates zu assoziieren, ebenso wie der Franzose nicht an einen Begriff denken kann, ohne das französische Wort, durch das er ausgedrückt wird, in Gedanken danebenzustellen. Diese grundlegende Unmöglichkeit der Trennung der physikalischen Theorien von den experimentellen Verfahren, die zur Kontrolle dieser selben Theorien dienen sollen, macht diese Kontrolle besonders kompliziert und nötigt uns genau deren logischen Sinn zu prüfen.

Richtig ist, daß der Physiker nicht der einzige ist, der im Augenblick, in dem er experimentiert oder das Resultat seiner Experimente wiedergibt, von Theorien Gebrauch macht. Wenn der Chemiker oder der Physiologe von physikalischen Instrumenten, dem Thermometer, dem Manometer, dem Kalorimeter, dem Galvanometer oder Saccharimeter Gebrauch macht, nimmt er implizite die Richtigkeit von Theorien an, die den Gebrauch dieser Apparate rechtfertigen, von Theorien, die den abstrakten Begriffen Temperatur, Druck, Wärmemenge, Stromintensität, polarisiertes Licht erst einen Sinn geben, durch die die konkreten Angaben dieser Instrumente übersetzt werden.

Aber die Theorien, von denen diese Forscher Gebrauch machen, gehören ebenso wie die Instrumente, die sie anwenden, in das Gebiet der Physik. Indem der Chemiker und der Physiologe mit den Instrumenten die Theorien, ohne die deren Angaben keinen Sinn hätten, akzeptieren, schenken sie dem Physiker ihr Vertrauen und halten sie ihn für unfehlbar. Der Physiker aber muß gegen seine eigenen theoretischen Begriffe, wie gegen die seiner Fachgenossen mißtrauisch sein. Vom logischen Gesichtspunkt aus hat der Unterschied wenig Bedeutung. Für den Physiologen, für den Chemiker ebenso wie für den Physiker enthält der Ausdruck eines Resultates seines Experimentes im allgemeinen einen Akt des Glaubens an eine ganze Gruppe von Theorien.

§ 2. — Ein physikalisches Experiment kann niemals zur Verwerfung einer isolierten Hypothese, sondern immer nur zu der einer ganzen theoretischen Gruppe, führen.

Der Physiker, der ein Experiment ausführt oder über dasselbe berichtet, anerkennt implizite die Richtigkeit einer ganzen Gruppe von Theorien. Nehmen wir dieses Prinzip an und sehen wir, welche Konsequenzen man daraus ableiten kann, wenn man die Rolle und logische Tragweite eines physikalischen Experimentes einschätzen will.

Um jeden Irrtum zu vermeiden, unterscheiden wir zwei Arten von Experimenten: Experimentelle Anwendungen, die uns ohne weiteres eine Angabe machen und experimentelle Prüfungen, wie sie uns vor allem beschäftigen werden.

Wir befinden uns einem physikalischen Problem gegenüber, das wir praktisch lösen sollen. Um diese oder jene Wirkung hervorzubringen, müssen wir von den von den Physikern erlangten Kenntnissen Gebrauch machen. Wir wollen zum Beispiel eine Glühlampe zum Leuchten bringen. Die als zulässig erkannten Theorien geben uns die Hilfsmittel zur Lösung dieses Problems an. Aber um von diesen Hilfsmitteln Gebrauch machen zu können, müssen wir uns gewisse Aufschlüsse verschaffen. Wir müssen, wie wir annehmen wollen, die elektro-

motorische Kraft der Akkumulatorenbatterie, die wir besitzen, bestimmen. Wir messen diese elektromotorische Kraft. Hier haben wir eine experimentelle Anwendung vor uns. Dieses Experiment hat nicht den Zweck festzustellen, ob die als zulässig erkannten Theorien richtig sind oder nicht; es soll einfach aus diesen Theorien Nutzen ziehen. Um es auszuführen, machen wir von diesen Instrumenten, durch die die Richtigkeit dieser selben Theorien dargelegt wird, Gebrauch. Darin ist nichts, was die Logik verletzt.

Aber der Physiker hat es nicht nur mit den experimentellen Anwendungen, durch die die Wissenschaft allein die Praxis unterstützen kann, zu tun. Nicht durch sie wurde die Wissenschaft geschaffen und entwickelt, sondern durch die experimentellen Prüfungen, die neben den experimentellen Anwendungen vorgenommen werden.

Wie wird ein Physiker, wenn er ein bestimmtes Gesetz bestreitet, wenn er einen gewissen Punkt der Theorie in Zweifel zieht, die Entscheidung über seine Zweifel fällen, wie wird er die Unrichtigkeit des Gesetzes beweisen? Er wird aus dem in Frage gestellten Lehrsatz eine Vorhersage einer experimentellen Tatsache folgern, und sodann die Bedingungen, unter denen diese Tatsache entstehen muß, realisieren. Wenn die angekündigte Tatsache nicht entsteht, ist der Lehrsatz, der sie vorhergesagt, unrettbar gerichtet.

F. E. Neumann meinte, daß die Schwingung eines polarisierten Lichtstrahles parallel zur Polarisationsebene sei. Viele Physiker haben diesen Lehrsatz in Zweifel gezogen. Was hat Hr. O. Wiener getan, um diesen Zweifel in Gewißheit zu verwandeln, um zu zeigen, daß der Lehrsatz von Neumann zu verwerfen sei? Er leitete aus diesem Lehrsatz folgende Konsequenz ab: Wenn man ein Lichtbündel, das unter 45° an einer Glasplatte reflektiert wurde mit dem einfallenden Bündel, das normal zur Einfallsebene polarisiert ist, interferieren läßt, müssen helle und dunkle Fransen, die parallel zur reflektierenden Fläche sind, entstehen. Er realisierte die Bedingungen, unter denen diese Fransen entstehen sollten und zeigte, daß die erwartete Erscheinung nicht eintrat. Er folgerte daraus, daß

der Lehrsatz von F. E. Neumann falsch sei, daß in einem polarisierten Strahl die Schwingung nicht parallel zur Polarisationsebene sei. Eine derartige Beweismethode scheint ebenso überzeugend und unwiderlegbar, wie wenn etwas nach der bei den Mathematikern üblichen Methode ad absurdum geführt wird. Dieser Beweis ist übrigens der Methode des ad-absurdum-Führens nachgebildet, wobei der experimentelle Widerspruch im einen Falle, die Rolle des logischen Widerspruches im anderen spielt.

In Wirklichkeit fehlt viel dahin, daß die Beweiskraft der experimentellen Methode ebenso streng und absolut sei. Die Bedingungen, unter denen sie zur Anwendung kommt, sind viel verwickelter als wir es vorausgesetzt haben. Die Bestimmung der Resultate ist viel heikler und der Bestätigung bedürftig.

Ein Physiker will die Unrichtigkeit eines Lehrsatzes beweisen. Um aus diesem Lehrsatz eine zu erwartende Erscheinung abzuleiten, um das Experiment, das zeigen soll, ob diese Erscheinung eintritt oder nicht, anzuordnen, um die Resultate dieses Experimentes zu interpretieren und um zu konstatieren, ob die erwartete Erscheinung aufgetreten sei, kann er sich nicht auf die Anwendung des in Frage stehenden Lehrsatzes beschränken. Er wendet noch eine ganze Gruppe von Theorien an, die von ihm nicht in Frage gestellt sind. Das Auftreten oder Nichtauftreten der Erscheinung, das die Debatte entscheiden soll, ergibt sich nicht aus dem strittigen Lehrsatz allein, sondern aus der Verbindung desselben mit dieser ganzen Gruppe von Theorien. Wenn die erwartete Erscheinung nicht auftritt, wird nicht nur der einzige strittige Lehrsatz widerlegt, sondern das ganze theoretische Gerüst, von dem der Physiker Gebrauch gemacht hat. Das Experiment lehrt uns bloß, daß unter allen Lehrsätzen, die dazu gedient haben, die Erscheinung vorauszusagen und zu konstatieren, daß sie nicht auftritt, mindestens einer ein Irrtum sei. Aber wo dieser Irrtum liegt, sagt es uns nicht. Erklärt der Physiker, daß dieser Irrtum gerade in dem Lehrsatz, den er widerlegen will, enthalten sei und nirgends anders? Das würde bedeuten, daß er implizite die Richtigkeit aller anderen

Lehrsätze, von denen er Gebrauch macht, annimmt. Ebenso viel, wie dieses Vertrauen, ist sein Schluß wert.

Nehmen wir zum Beispiel das von Zenker erdachte und von Hrn. O. Wiener realisierte Experiment. Als Hr. O. Wiener die Gestalt der Fransen unter gewissen Bedingungen voraus sagte und zeigte, daß dieselben nicht auftreten, machte er nicht nur von dem berühmten Lehrsatz von F. E. Neumann, den er widerlegen wollte, Gebrauch. Er nahm nicht nur an, daß in einem polarisierten Strahl die Schwingungen parallel zur Polarisations ebene seien, sondern er bediente sich auch unter anderem der allgemein anerkannten Lehrsätze, der Gesetze und der Hypothesen, aus denen die Optik besteht. Er nahm an, daß das Licht aus einfachen, periodischen Schwingungen bestehe, daß diese Schwingungen normal zum Lichtstrahl seien, daß in jedem Punkte die mittlere lebendige Kraft der Schwingungsbewegung die Lichtintensität messe, daß die verschiedenen Grade dieser Intensität daran gemessen werden, inwieweit eine photographische Platte angegriffen wird. Diese verschiedenen Lehrsätze und viele andere, die aufzuzählen zu weitläufig wäre, mußte er dem von Neumann hinzufügen, damit er eine Voraussetzung formulieren und erkennen konnte, daß das Experiment dasselbe widerlege. Wenn nach Hrn. Wiener die Widerlegung einzig und allein dem Lehrsatz von Neumann gilt, wenn dieser allein die Verantwortung für den Fehler, den diese Widerlegung aufgedeckt hat, trägt, so bedeutet das, daß Hr. Wiener die anderen Sätze, die er verwendete, über allen Zweifel erhaben hielt. Aber dieses Vertrauen tritt nicht mit logischer Notwendigkeit auf. Nichts hindert uns, den Lehrsatz von F. E. Neumann für richtig zu halten und die Schuld des experimentellen Widerspruches irgend einem anderen gewöhnlich für zulässig gehaltenen Lehrsatz der Optik zuzuschreiben. Man kann sehr wohl, wie Hr. H. Poincaré gezeigt hat, die Hypothese von Neumann vor den Fangarmen des Experimentes des Hrn. O. Wiener bewahren, aber nur unter der Bedingung, daß man zum Tausch dafür die Hypothese, die die mittlere lebendige Kraft der Schwingungsbewegung zum Maß der Lichtintensität macht, preisgibt. Man kann, ohne mit dem

Experiment in Widerspruch zu kommen, die Schwingung parallel zur Polarisations ebene annehmen, vorausgesetzt, daß man die Lichtintensität durch die mittlere potentielle Energie des Mediums, das durch die Schwingungsbewegung deformiert wird, mißt.

Diese Prinzipien haben eine solche Bedeutung, daß es vielleicht nicht unnütz sein dürfte, sie auf ein anderes Beispiel anzuwenden. Wählen wir noch ein Experiment, das als eines der entscheidendsten in der Optik betrachtet wird.

Wie bekannt hat Newton eine Theorie der optischen Erscheinungen, die Emissionstheorie, entworfen. Die Emissionstheorie nimmt an, daß das Licht aus außerordentlich feinen Projektilen besteht, die mit ungeheurer Geschwindigkeit von der Sonne und anderen Lichtquellen weggeschleudert werden. Diese Projektile durchdringen alle durchsichtigen Körper. Von den verschiedenen Teilen der Medien, in deren Innern sie sich bewegen, werden auf sie anziehende oder abstoßende Kräfte ausgeübt. Dieselben sind sehr kräftig, wenn die Distanz, die die wirkenden Partikeln trennt, ganz klein ist, sie verschwinden, wenn die Massen, zwischen denen sie auftreten, sich merkbar voneinander entfernen. Diese grundlegenden Hypothesen führen in Verbindung mit mehreren andern, die wir mit Stillschweigen übergehen wollen, zu einer vollständigen Theorie der Reflexion und Refraktion des Lichtes. Im besonderen ergibt sich aus ihnen folgende Konsequenz: Der Brechungsindex des Lichtes beim Übergang aus einem Medium in ein anderes ist gleich der Geschwindigkeit des leuchtenden Projektils im Innern des Mediums, in das es eintritt, geteilt durch die Geschwindigkeit desselben Projektils im Innern des Mediums, das es verläßt.

Diese Konsequenz hat Arago gewählt, um zu beweisen, daß die Emissionstheorie mit den Tatsachen in Widerspruch stehe. Aus diesem Lehrsatz ergibt sich nämlich folgender andere: Das Licht bewegt sich im Wasser schneller als in Luft. Arago gab nun ein Verfahren an, um die Geschwindigkeit des Lichtes in Luft mit der in Wasser zu vergleichen. Das Verfahren war allerdings unanwendbar, aber Foucault modi-

fizierte das Experiment in der Art, daß es ausgeführt werden konnte und führte es auch aus. Er fand, daß das Licht sich weniger schnell im Wasser als in der Luft bewege. Daraus kann man mit Foucault schließen, daß das System der Emission mit den Tatsachen unvereinbar sei.

Ich sage das System der Emission, und nicht die Hypothese der Emission, denn es ist in der Tat die ganze Gruppe der von Newton, ebenso wie nachher von Laplace und Biot anerkannten Lehrsätze, in der das Experiment einen Fehler aufgewiesen hat. Es ist die ganze Theorie, aus der die Beziehung zwischen dem Brechungsindex und der Lichtgeschwindigkeit in verschiedenen Medien abgeleitet wird. Aber indem das Experiment dieses System als ganzes verwirft, indem es erklärt, daß es mit einem Fehler behaftet sei, sagt es nichts darüber, wo dieser Fehler liegt. Liegt er in der fundamentalen Hypothese, daß das Licht aus Projektilen besteht, die mit großer Geschwindigkeit von den leuchtenden Körpern weggeschleudert werden? Liegt er in irgend einer anderen Annahme über die Wirkungen, die die leuchtenden Teilchen von seiten der Medien, in deren Innern sie sich bewegen, erfahren? Wir wissen darüber nichts. Es wäre verwegen zu glauben, wie Arago gedacht zu haben scheint, daß das Experiment von Foucault unwiderbringlich die Emissions-Hypothese selbst, die Ersetzung eines Lichtstrahles durch einen Schwarm von Projektilen, vernichte. Wenn die Physiker einen Preis auf die Aufstellung eines optischen Systems, das auf diese Annahme gegründet und dabei mit dem Experiment von Foucault in Übereinstimmung steht, gesetzt hätten, würden sie sicher eine derartige Arbeit erhalten haben.

All dies zusammengefaßt ergibt sich, daß der Physiker niemals eine isolierte Hypothese, sondern immer nur eine ganze Gruppe von Hypothesen der Kontrolle des Experimentes unterwerfen kann. Wenn das Experiment mit seinen Voraussagen in Widerspruch steht, lehrt es ihn, daß wenigstens eine der Hypothesen, die diese Gruppe bilden, unzulässig ist und modifiziert werden muß.

Wir befinden uns da recht weit von der experimentellen

Methode, wie sie gerne jene Leute, die ihrer Funktion fremd gegenüberstehen, auffassen. Man denkt gewöhnlich, daß jede Hypothese, deren sich die Physik bedient, isoliert genommen und der Kontrolle des Experimentes unterworfen werden kann. Wenn dann verschiedene und vielfache Prüfungen den Wert derselben konstatieren ließen, kann sie in definitiver Weise in dem System der Physik ihren Platz finden. In Wirklichkeit ist es nicht so. Die Physik ist keine Maschine, die sich demontieren läßt. Man kann nicht jedes Stück isoliert untersuchen und voraussetzen, daß nur genau auf ihre Festigkeit kontrollierte Stücke montiert werden. Die physikalische Wissenschaft ist ein System, das man als Ganzes nehmen muß, ist ein Organismus, von dem man nicht einen Teil in Funktion setzen kann, ohne daß auch die entferntesten Teile desselben ins Spiel treten, die einen in höherem die anderen in geringerem, aber alle in irgend einem Grade. Wenn irgend eine Störung, irgend eine Beschwerde in seiner Funktion auftritt, so ist sie in der Tat durch das gesamte System hervorgerufen, und der Physiker muß das Organ finden, welches in Ordnung gebracht oder modifiziert werden muß, ohne daß es ihm möglich wäre, dieses Organ zu isolieren und es einzeln zu prüfen. Der Uhrmacher, dem man eine Uhr gibt, die nicht geht, nimmt alle Räder derselben heraus und prüft jedes einzeln, bis er das gefundene, welches fehlerhaft oder gebrochen ist. Der Arzt, der einen Kranken untersucht, kann diesen nicht zerschneiden, um seine Diagnose aufzustellen. Er muß den Sitz und die Ursache des Übels einzig und allein durch die Feststellung der Unregelmäßigkeiten, die am Körper als Ganzes auftreten, erkennen. Diesem und nicht jenem gleicht der Physiker, der eine lahme Theorie wieder auf die Beine bringen soll.

§ 3. — Das experimentum crucis. ist in der Physik unmöglich.

Verweilen wir noch einen Augenblick, da wir es hier mit einem der wesentlichsten Punkte der experimentellen Methode, wie sie in der Physik angewendet wird, zu tun haben.

Die Methode des ad-absurdum-Führens, die nur ein Mittel der Widerlegung zu sein scheint, kann zu einem Beweismittel werden. Um zu beweisen, daß ein Lehrsatz richtig ist, genügt es, den genau entgegengesetzten Lehrsatz zu einer absurden Konsequenz zu treiben. Man weiß welch ausgedehnten Gebrauch die griechischen Mathematiker von dieser Art der Beweisführung gemacht haben.

Diejenigen, die den experimentellen Widerspruch mit der Methode des ad-absurdum-Führens gleichsetzen, meinen, daß man in der Physik von einem Argument Gebrauch machen kann, das dem von Euklid so häufig in der Geometrie benützten gleicht. Wollen Sie von irgend einer Gruppe von Erscheinungen eine gewisse, unbestreitbare, theoretische Erklärung erhalten? Zählen Sie alle Hypothesen auf, die man annehmen kann, um von dieser Erscheinungsgruppe Rechenschaft zu geben; alsdann eliminieren Sie auf Grund des experimentellen Widerspruchs alle bis auf eine; diese letztere wird keine Hypothese mehr sein, sondern eine Gewißheit darstellen.

Nehmen Sie im Speziellen an, daß nur zwei Hypothesen vorhanden seien; suchen Sie experimentelle Bedingungen von der Art, daß eine dieser Hypothesen das Auftreten einer Erscheinung, die andere das einer ganz anderen Erscheinung anzeige; realisieren Sie diese Bedingungen und beobachten Sie was geschieht; je nachdem Sie die erste der vorausgesagten Erscheinungen beobachten oder die zweite, werden Sie die zweite resp. die erste Hypothese verwerfen; diejenige, die nicht verworfen wird, wird in Zukunft unbestreitbar sein; die Debatte ist geschlossen, die Wissenschaft hat eine neue Wahrheit erlangt. Das ist die experimentelle Prüfung, der der Autor des *Novum Organum* den Namen „Experimentum crucis“ beilegte, „indem er diesen Ausdruck auf die Kreuze bezog, die an den Straßenkreuzungen die verschiedenen Wege anzeigen“.

Es liegen zwei Hypothesen über die Natur des Lichtes vor. Für Newton, Laplace, Biot besteht das Licht aus Projektilen, die sich mit ungeheurer Geschwindigkeit fortbewegen; für Huygens, Young, Fresnel besteht das Licht in Schwingungen,

deren Wellen sich im Innern eines Äthers fortpflanzen; die zwei Hypothesen sind die einzigen, die man für möglich hält; die Bewegung wird also entweder durch den Körper, der sie besitzt und mit dem sie verbunden bleibt, fortgetragen oder sie geht von einem Körper zum anderen über. Gehen wir von der ersten Hypothese aus, so ergibt sich, daß sich das Licht schneller in Wasser als in Luft bewegt; gehen wir von der zweiten aus, so ergibt sich, daß sich das Licht schneller in Luft als in Wasser bewegt. Montieren wir den Foucaultschen Apparat und setzen wir den rotierenden Spiegel in Bewegung. Vor unseren Augen werden sich zwei leuchtende Streifen bilden, deren einer nicht gefärbt, deren anderer grün ist. Wenn der grünliche Streifen an der linken Seite des ungefärbten auftritt, so bedeutet dies, daß sich das Licht schneller in Wasser als in der Luft bewegt, d. h. die Undulationshypothese ist falsch. Wenn dagegen das grünliche Band an der rechten Seite des ungefärbten auftritt, so bedeutet das, daß sich das Licht schneller in Luft als in Wasser bewegt, d. h. daß die Emissionshypothese widerlegt ist. Wir sehen durch die Lupe, die dazu dient, die beiden leuchtenden Streifen zu prüfen und konstatieren, daß der grünliche Streifen an der rechten des ungefärbten auftritt. Die Debatte ist entschieden, das Licht ist nicht ein Körper, sondern eine sich im Äther fortpflanzende Schwingungsbewegung. Die Emissionshypothese hat zu leben aufgehört, die Undulationstheorie kann nicht mehr in Zweifel gezogen werden. Dieses experimentum crucis hat in der Tat einen neuen Glaubensartikel des wissenschaftlichen *Credo* festgelegt.

Was wir im vorigen Paragraphen ausgeführt, zeigt, wie sehr man sich täuschen würde, wenn man dem Experiment von Foucault eine so einfache Bedeutung und eine so entscheidende Tragweite zuschreiben wollte. Das Experiment von Foucault entscheidet nicht zwischen zwei Hypothesen, der der Emission und der der Undulation, sondern zwischen zwei theoretischen Gruppen, deren jede als Ganzes genommen werden muß, zwischen zwei vollständigen Systemen, der Optik von Newton und der Optik von Huygens.

Aber nehmen wir einen Augenblick an, daß in jedem dieser Systeme alles folgerichtig, alles von logischer Notwendigkeit sei mit Ausnahme einer einzigen Hypothese; nehmen wir demzufolge auch an, daß die Tatsachen, indem sie einem dieser beiden Systeme widersprechen, auch mit Sicherheit die einzig zweifelhafte Annahme, die es enthält, verwerfen. Ergibt sich nun aber daraus, ebenso wie in der Geometrie, in der man, wenn man einen geometrischen Lehrsatz ad absurdum führt, die Gewißheit des widersprechenden erhält, daß man auch im experimentum crucis ein unwiderlegliches Verfahren besitzt, um eine der beiden vorliegenden Hypothesen in eine bewiesene Wahrheit zu verwandeln? Neben zwei Theoremen der Geometrie, die einander widersprechen, gibt es keinen Platz für ein drittes Urteil; wenn eines falsch ist, ist das andere notwendigerweise richtig. Bilden zwei physikalische Hypothesen jemals einen derartig strengen Doppelschluß? Würden wir jemals zu behaupten wagen, daß keine andere Hypothese denkbar sei? Das Licht kann ein Schwarm von Projektilen, es kann eine Schwingungsbewegung, deren Wellen sich in einem elastischen Medium fortpflanzen, sein; ist es ihm deshalb verboten, irgend etwas beliebig anderes zu sein? Arago meinte das ohne Zweifel, als er die folgende entscheidende Alternative formulierte: Bewegt sich das Licht schneller in Wasser als in Luft? „Das Licht ist ein Körper. Besteht das Gegenteil? Das Licht ist eine Welle“¹⁾. Uns wäre es aber schwierig, uns in ebenso entscheidender Form auszudrücken. Maxwell hat uns in der Tat gezeigt, daß man das Licht ebensogut einer periodischen elektrischen Störung, die sich im Innern eines dielektrischen Mediums fortpflanzt, zuschreiben kann.

Der experimentelle Widerspruch ermöglicht es uns nicht — wie das von den Geometern verwendete ad-absurdum-Führen — eine physikalische Hypothese in eine unbestreitbare Wahrheit zu verwandeln. Um ihr dies zu ermöglichen,

¹⁾ Im Original: „La lumière est un corps. Le contraire a-t-il lieu? La lumière est une ondulation.“

müßte man alle verschiedenen Hypothesen aufzählen, die bei einer bestimmten Gruppe von Erscheinungen auftreten können. Der Physiker ist nun niemals sicher, alle denkbaren Annahmen erschöpft zu haben. Die Wahrheit einer physikalischen Theorie kann nicht nach Kopf und Wappen entschieden werden.

§ 4. — Kritik der Newtonschen Methode. — Erstes Beispiel: Die Mechanik des Himmels.

Es ist illusorisch, mit Hilfe des experimentellen Widerspruches eine Argumentation, die das ad-absurdum-Führen nachahmt, konstruieren zu wollen. Aber die Geometrie kennt, um zur Gewißheit zu gelangen, noch andere Mittel, als den Weg per absurdum. Der direkte Beweis, bei dem die Wahrheit eines Lehrsatzes durch ihn selbst und nicht durch die Widerlegung des widersprechenden Lehrsatzes dargetan wird, erscheint ihr als der vollkommenste Gedankengang. Vielleicht wäre die physikalische Theorie in ihren Bemühungen glücklicher, wenn sie versuchte, den direkten Beweis nachzuahmen. Die Hypothesen, aus denen sie ihre Schlüsse ableitet, müßten dann Stück für Stück bewiesen werden. Jede von ihnen müßte akzeptiert werden, wie wenn sie die vollständige Gewißheit, die die experimentelle Methode einem abstrakten und allgemeinen Satz verleihen kann, darstellte. Das heißt, sie wäre notwendigerweise entweder ein Gesetz, das aus der Beobachtung auf Grund der zwei intellektuellen Operationen, die man Induktion und Generalisation nennt, abgeleitet, oder auch ein mathematisches Korollar, das aus solchen Gesetzen deduziert wurde. Eine auf solchen Hypothesen begründete Theorie würde nichts Willkürliches, nichts Zweifelhafte besitzen, sie würde das ganze Vertrauen verdienen, dessen die Hilfsmittel, die uns zur Formulierung der Naturgesetze dienen, würdig sind.

So ist jene physikalische Theorie beschaffen, die Newton pries, als er im Scholium generale, das das Werk über die Prinzipien krönt, jede Hypothese, die die Induktion nicht