

Aber können wir nicht gleich bis ans Endziel gehen? Ist das nicht das Mittel, um diesen Spöttereien, die wir voraussehen, zu entgehen? Können wir uns nicht mit dem völlig nackten Experimente begnügen?

Nein, das ist nicht möglich; das hieße den wahren Charakter der Wissenschaft völlig verkennen. Der Gelehrte soll anordnen; man stellt die Wissenschaft aus Tatsachen her, wie man ein Haus aus Steinen baut; aber eine Anhäufung von Tatsachen ist so wenig eine Wissenschaft, wie ein Steinhaufen ein Haus ist.

Und vor allem: der Forscher soll voraussehen. Carlyle hat irgendwo folgendes geschrieben: „Nur die Tatsache hat Bedeutung; Johann ohne Land ist hier vorbeigegangen; das ist bemerkenswert, das ist eine tatsächliche Wahrheit, für die ich alle Theorien der Welt hergeben würde.“ Carlyle war ein Landsmann von Bacon; wie der letztere, so legte auch Carlyle Gewicht darauf, seinen Kultus „for the God of Things as they are“ zu betonen; aber doch würde Bacon dergleichen nicht gesagt haben. Das ist die Sprache des Historikers. Der Physiker würde vielleicht sagen: „Johann ohne Land ist hier vorbeigegangen; das ist mir sehr gleichgültig, weil er nicht wieder vorbeikommt.“

Wir wissen, daß es gute und daß es schlechte Experimente gibt. Die letzteren häufen sich nutzlos; wenn man hundert oder gar tausend solche macht, so würde doch die einzige Arbeit eines wirklichen Meisters, wie z. B. Pasteur, genügen, um sie der Vergangenheit anheimfallen zu lassen. Bacon würde das wohl verstanden haben; er ist es, der das Wort *experimentum crucis* erfunden hat. Aber Carlyle hätte es nicht verstanden. Eine Tatsache ist eine Tatsache; ein Schüler hat eine gewisse Zahl an seinem Thermometer abgelesen, er braucht dazu keine Kenntnisse; aber gleichviel, er hat die Zahl abgelesen, und wenn es nur auf die Tatsache

Vierter Teil.

Die Natur.

Neuntes Kapitel.

Die Hypothesen in der Physik.

Die Rolle des Experimentes und der Verallgemeinerung. — Das Experiment ist die einzige Quelle der Wahrheit; dieses allein kann uns etwas Neues lehren; dieses allein kann uns Gewißheit geben. Das sind zwei Punkte, die durch nichts bestritten werden können.

Wenn aber das Experiment alles ist, welcher Platz bleibt dann für die mathematische Physik übrig? Was hat die Experimental-Physik mit einem solchen Hilfsmittel zu schaffen, das unnütz und wohl gar gefährlich zu sein scheint?

Und dennoch existiert die mathematische Physik; sie hat unleugbare Dienste geleistet; darin liegt eine Tatsache, die notwendigerweise erklärt werden muß.

Es genügt nicht allein, zu beobachten, man muß seine Beobachtungen auch ausnutzen und zu diesem Zwecke verallgemeinern. Das hat man jederzeit getan; da jedoch die Erinnerung an die Fehler der Vergangenheit den Menschen immer vorsichtiger machte, beobachtete man immer mehr und verallgemeinerte immer weniger.

Jedes Jahrhundert machte sich über das vorhergehende lustig, indem es das letztere beschuldigte, zu schnell und zu unbefangenen verallgemeinert zu haben. Descartes belächelte die Ionier, wir lächeln über Descartes; ohne Zweifel werden unsere Söhne über uns lächeln.

ankommt, so ist dies ebensogut eine tatsächliche Wahrheit, wie das Vorbeipassieren des Königs Johann ohne Land. Was ist denn ein gutes Experiment? Es ist ein solches, welches uns etwas anderes als eine isolierte Tatsache erkennen läßt; es ist ein solches, welches uns voraussehen läßt, d. h. ein solches, welches uns erlaubt zu verallgemeinern.

Denn ohne Verallgemeinerung ist das Voraussehen unmöglich. Die Umstände, unter welchen man operiert hat, werden sich niemals zugleich wieder einstellen. Die beobachtete Tatsache wird sich nicht noch einmal abspielen; das einzige, was man festhalten kann, ist, daß unter analogen Umständen eine analoge Tatsache eintreten wird. Um vorauszusehen, muß man zum mindesten die Analogie zu Hilfe nehmen, und das heißt wiederum: verallgemeinern.

So vorsichtig man auch sein mag, so muß man doch interpolieren; das Experiment gibt uns nur eine gewisse Anzahl von isolierten Punkten, man muß sie durch einen kontinuierlichen Linienzug verbinden, damit haben wir eine wirkliche Verallgemeinerung. Aber man geht weiter, die Kurve, welche man zieht, geht zwischen den beobachteten Punkten durch und nahe bei diesen Punkten vorbei; sie geht nicht durch diese Punkte selbst. Somit beschränkt man sich nicht darauf, das Experiment zu verallgemeinern, man verbessert es; und der Physiker, welcher sich dieser Verbesserungen enthalten und sich tatsächlich mit dem völlig nackten Experimente begnügen wollte, wäre gezwungen, ganz merkwürdige Gesetze auszusprechen.

Die ganz nackten Tatsachen können uns also nicht genügen; darum brauchen wir eine geordnete, oder vielmehr organisierte Wissenschaft.

Man sagt oft, daß man ohne vorgefaßte Meinung experimentieren soll. Das ist nicht möglich; dadurch

würde nicht nur jedes Experiment unfruchtbar gemacht, sondern man würde sich etwas vornehmen, das man nicht ausführen kann. Jeder trägt in sich seine Weltanschauung, von der er sich nicht so leicht lösen kann. Wir müssen uns z. B. der Sprache bedienen, und unsere Sprache ist von lauter vorgefaßten Meinungen durchdrungen, und es kann nicht anders sein. Es sind unbewußte vorgefaßte Meinungen, die tausendmal gefährlicher als die anderen sind.

Behaupten wir nun, daß wir das Übel nur verschlimmern, wenn wir andere vorgefaßte Meinungen mit vollem Bewußtsein zulassen? Ich glaube es nicht; ich meine vielmehr, daß dieselben sich gegenseitig das Gleichgewicht halten werden, daß sie wie Gegengifte wirken; sie werden sich im allgemeinen schlecht miteinander vertragen; sie werden miteinander in Konflikt geraten und uns dadurch zwingen, die Dinge unter verschiedenen Gesichtspunkten zu betrachten. Das ist hinreichend, um uns frei zu machen; man ist kein Sklave mehr, wenn man sich seinen Herrn wählen kann.

Dank der Verallgemeinerung läßt uns so jede beobachtete Tatsache eine große Anzahl anderer voraussehen; nur dürfen wir nicht vergessen, daß die erste allein gewiß ist, die anderen alle nur wahrscheinlich sind. So fest auch eine Voraussage begründet erscheinen mag, so sind wir doch niemals absolut sicher, daß das Experiment sie auch bestätigen wird, wenn wir eine Prüfung vornehmen. Aber die Wahrscheinlichkeit ist oft so groß, daß wir uns in der Praxis mit ihr zufrieden geben können. Es ist besser, ohne absolute Gewißheit vorauszusagen als gar nichts vorauszusagen.

Man darf daher niemals eine Prüfung von der Hand weisen, wenn sich Gelegenheit zu einer solchen bietet. Aber jedes Experiment ist langwierig und schwierig, die wissenschaftlichen Arbeiter sind wenig zahlreich, und die

Anzahl der Tatsachen, welche wir im voraus bestimmen sollen, ist ungeheuer groß; im Verhältnis zu dieser Menge wird die Anzahl der direkten Prüfungen, welche wir vornehmen können, immer verschwindend klein bleiben.

Das wenige, was wir direkt erreichen können, müssen wir uns möglichst zu Nutze machen; jedes Experiment muß so eingerichtet sein, daß es uns erlaubt, die größtmögliche Anzahl von Tatsachen mit dem höchstmöglichen Grade von Wahrscheinlichkeit vorauszusehen. Diese Aufgabe besteht sozusagen darin, den Nutzeffekt der wissenschaftlichen Maschine möglichst zu erhöhen.

Man gestatte mir, die Wissenschaft mit einer Bibliothek zu vergleichen, welche unaufhörlich wachsen soll; der Bibliothekar verfügt für seine Ankäufe nur über ungenügende Mittel; er muß sich bemühen, dieselben nicht zu vergeuden.

Die Experimental-Physik spielt die Rolle des Bibliothekars; sie ist mit den Ankäufen beauftragt; sie allein kann also die Bibliothek bereichern.

Was die mathematische Physik betrifft, so hat sie die Mission, den Katalog herzustellen. Wenn dieser Katalog gut gemacht ist, so wird die Bibliothek deshalb nicht reicher; aber der Katalog ist für den Leser notwendig, um sich die Reichtümer der Bibliothek zu Nutze zu machen.

Indem der Katalog ferner den Bibliothekar auf die Lücken seiner Sammlungen aufmerksam macht, setzt er ihn in den Stand, von seinen Mitteln einen vernünftigen Gebrauch zu machen; und das ist um so wichtiger, als diese Mittel gänzlich ungenügend sind.

Das ist also die Rolle der mathematischen Physik, sie muß die Verallgemeinerung in dem Sinne leiten, daß sie, wie ich mich soeben ausdrückte, den Nutzeffekt der Wissenschaft erhöht. Durch welche Mittel ihr dies

gelingt und wie sie es ohne Schaden durchführen kann, haben wir noch näher zu prüfen.

Die Einheit der Natur. — Vor allem müssen wir beachten, daß jede Verallgemeinerung bis zu einem gewissen Grade den Glauben an die Einheit und die Einfachheit der Natur voraussetzt. In Betreff der Einheit ist keine Schwierigkeit vorhanden. Wenn die verschiedenen Teile des Universums sich nicht wie die Organe eines und desselben Körpers verhielten, so könnten sie nicht aufeinander wirken, sie würden sich gegenseitig nicht kennen, und wir insbesondere, wir würden nur eines dieser Organe kennen. Wir brauchen deshalb nicht weiter zu fragen, ob die Natur einheitlich ist, sondern nur, wie diese Einheit zu stande kommt.

Was den zweiten Punkt angeht, so ist die Sache nicht ebenso leicht. Es ist nicht sicher, daß die Natur einfach ist. Können wir ohne Gefahr für uns so handeln, als ob sie einfach wäre?

Es gab eine Zeit, in der die Einfachheit des Gesetzes von Mariotte ein oft zu Gunsten der Genauigkeit dieses Gesetzes angerufenes Argument war, eine Zeit, in der Fresnel selbst, nachdem er in einer Unterredung mit Laplace geäußert hatte, daß die Natur sich aus analytischen Schwierigkeiten nichts mache, sich verpflichtet fühlte, Erklärungen zu geben, um die herrschende Anschauung nicht zu sehr zu verletzen.

Heute haben sich die Meinungen darüber sehr geändert; und dennoch sind diejenigen, welche nicht daran glauben, daß die natürlichen Gesetze einfach sein müssen, genötigt, sich wenigstens so zu stellen, als ob sie es glaubten. Sie können sich dieser Notwendigkeit nicht ganz entziehen, ohne jede Verallgemeinerung als unmöglich und folglich auch jede Wissenschaft als unmöglich hinzustellen.

Es ist klar, daß eine Tatsache, welche es auch immer

sein mag, auf unendlich viele Arten verallgemeinert werden kann, und es handelt sich darum, zu wählen; die Wahl kann nur durch Betrachtungen über die Einfachheit geleitet werden. Nehmen wir den allgewöhnlichsten Fall, den der Interpolation. Die Punkte, welche unsere Beobachtungen darstellen, verbinden wir durch eine kontinuierliche, möglichst regelmäßige Linie. Warum vermeiden wir dabei scharfe Ecken und zu plötzliche Wendungen? Weshalb lassen wir nicht die Kurve nach freier Laune Zickzacklinien beschreiben? Wir tun es nicht, weil wir im voraus wissen, oder zu wissen glauben, daß das auszudrückende Gesetz nicht so kompliziert sein kann, um dergleichen zu rechtfertigen.

Man kann die Masse des Jupiter entweder aus den Bewegungen seiner Trabanten berechnen oder aus den Störungen der großen Planeten oder aus denjenigen der kleinen Planeten. Wenn man das Mittel aus den Resultaten dieser drei Methoden nimmt, so findet man drei sehr benachbarte, aber doch verschiedene Zahlen. Man könnte dieses Resultat erklären, indem man voraussetzt, daß der Koeffizient der Schwerkraft in den drei Fällen nicht derselbe ist; die Beobachtungen wären dadurch viel besser dargestellt. Warum verwerfen wir diese Interpretation? Wir tun es, nicht, weil sie töricht ist, sondern weil sie unnütz kompliziert ist. Man wird sie nur dann annehmen, wenn sie sich uns aufzwingt, und sie zwingt sich uns bis jetzt noch nicht auf.

Alles zusammengefaßt, wird meist jedes Gesetz für einfach gehalten, bis das Gegenteil bewiesen ist.

Diese Gewohnheit drängt sich den Physikern aus Gründen auf, welche ich soeben erklärt habe; aber wie soll man diese Gewohnheit rechtfertigen im Hinblick auf Entdeckungen, welche uns täglich neue, immer reichere und immer zusammengesetztere Einzelheiten zeigen? Wie soll man sie mit eben der Empfindung von der Einheit

in der Natur vereinbaren? Denn wenn alles von einander abhängt, können Beziehungen, an denen so viele Objekte teilnehmen, nicht einfacher Natur sein.

Wenn wir die Geschichte der Wissenschaft studieren, treten zwei Erscheinungen auf, welche sozusagen einander entgegengesetzt sind: bald versteckt sich die Einfachheit unter komplizierten Erscheinungen, bald ist im Gegensatz dazu die Einfachheit sichtbar und verbirgt außerordentlich komplizierte wirkliche Vorgänge.

Was gibt es Komplizierteres als die gestörten Bewegungen der Planeten, und was gibt es Einfacheres als das Newtonsche Gesetz? Hier verhöhnt die Natur, wie Fresnel sagt, unsere analytischen Schwierigkeiten, wendet nur einfache Mittel an und erzeugt durch ihre Verbindung, ich weiß nicht, welch' ein unlösliches Gewirre. Hier ist die Einfachheit versteckt und wir müssen sie erst entdecken.

Die Beispiele des Gegenteils sind im Überflusse vorhanden. In der kinetischen Theorie der Gase faßt man Moleküle, die mit großen Geschwindigkeiten begabt sind, ins Auge, deren Bahnen durch unaufhörliche Stöße verändert, die seltsamsten Gestalten zeigen und den Raum nach allen Richtungen hin durchschneiden. Das Beobachtungsergebnis ist das einfache Gesetz von Mariotte; jede einzelne Tatsache war kompliziert; das Gesetz der großen Zahlen hat die Einfachheit im Durchschnitt wiederhergestellt. Hier ist die Einfachheit nur scheinbar, und die grobe Beschaffenheit unserer Sinne verhindert uns, die Kompliziertheit zu bemerken.⁶⁹⁾

Viele Erscheinungen gehorchen einem Gesetze der Proportionalität: warum tun sie dieses? Weil es in diesen Erscheinungen ein Etwas gibt, das sehr klein ist. Das einfache Erfahrungsgesetz ist dann nichts anderes als eine Übertragung dieser allgemeinen analytischen Regel, nach welcher das unendlich kleine Anwachsen

einer Funktion dem unendlich kleinen Anwachsen der Variablen proportional ist. Da in Wirklichkeit diese Zunahme nicht unendlich klein, sondern nur sehr klein ist, so ist das Gesetz der Proportionalität nur annähernd und die Einfachheit nur scheinbar. Was ich soeben ausspreche, betrifft die Regel der Superposition kleiner Bewegungen, deren Anwendung so fruchtbringend ist und welche die Grundlage der Optik bildet.⁷⁰⁾

Und wie steht es mit dem Newtonschen Gesetze selbst? Seine so lang verborgene Einfachheit ist vielleicht nur scheinbar. Wer kann wissen, ob sie nicht aus irgend einem komplizierten Mechanismus entsteht, aus dem Stoße irgend einer feinen, unregelmäßig bewegten Materie, und ob sie nicht nur durch das Spiel der Mittelwerte und großen Zahlen einfach wurde? Auf jeden Fall ist es schwierig, nicht voraussetzen, daß das wirkliche Gesetz ergänzende Glieder enthält, welche für kleine Entfernungen merkbar werden könnten. Wenn diese weiteren Glieder gegenüber dem ersten Gliede (das dem Newtonschen Gesetze entspricht) in der Astronomie vernachlässigt werden, so ist das nur eine Folge der ungeheuren Größe der kosmischen Entfernungen.⁷¹⁾

Wenn unsere Forschungsmittel immer schärfer werden, so werden wir ohne Zweifel das Einfache unter dem Komplizierten, dann das Komplizierte unter dem Einfachen entdecken, dann wieder von neuem das Einfache unter dem Komplizierten und so fort, ohne daß wir voraussehen können, womit diese Kette schließen wird.

Man muß irgendwo aufhören, und damit die Wissenschaft möglichst sei, muß man aufhören, wenn man die Einfachheit gefunden hat. Das ist der einzige Boden, auf welchem wir das Gebäude unserer Verallgemeinerungen errichten können. Aber wird dieser Boden solide genug sein, wenn diese Einfachheit nur scheinbar ist? Das müssen wir noch untersuchen.

Um das zu können, wollen wir sehen, welche Rolle der Glaube an die Einfachheit in unseren Verallgemeinerungen spielt. Wir haben ein einfaches Gesetz in einer ziemlich großen Anzahl von besonderen Fällen verifiziert; wir können unmöglich zulassen, daß diese so oft wiederholte Bestätigung ein bloßer Glückszufall sei, und wir schließen daraus, daß das Gesetz im allgemeinen Falle wahr sein muß.

Keppler bemerkt, daß die von Tycho beobachteten Orte eines Planeten sich alle auf einer und derselben Ellipse befinden. Er kommt nicht einen Augenblick auf die Idee, daß Tycho infolge eines seltsamen Zufalls den Himmel immer nur in dem Moment betrachtet hätte, in welchem die wirkliche Bahn des Planeten im Begriffe war, diese Ellipse zu schneiden.

Was ist uns daran gelegen, ob die Einfachheit der Wirklichkeit entspricht, oder ob sie eine komplizierte Wahrheit verdeckt? Möge sie nun dem Einflusse der großen Zahlen, welche die individuellen Verschiedenheiten ausgleicht, zu verdanken sein, oder möge sie der Größe, bezw. der Kleinheit gewisser Größen, welche gestattet, gewisse Glieder zu vernachlässigen, zu verdanken sein, auf keinen Fall ist sie dem Zufalle zu verdanken. Diese Einfachheit, ob sie nun wirklich oder scheinbar ist, hat immer eine Ursache. Wir können also immer dieselbe Überlegung machen, und wenn ein einfaches Gesetz in verschiedenen besonderen Fällen beobachtet ist, so können wir mit Recht voraussetzen, daß es auch in den analogen Fällen noch wahr sein wird. Wenn wir diese Schlußfolgerung ablehnen, so hieße das dem Zufalle eine unstatthafte Rolle zuerteilen.

Es besteht indessen ein Unterschied. Wenn die Einfachheit wirklich und tiefgehend wäre, so würde sie der anwachsenden Genauigkeit unserer Meßinstrumente Widerstand leisten; wenn wir also glauben, daß die Natur im

tiefsten Grunde einfach sei, so müssen wir aus einer an-
genäherten Einfachheit auf eine strenge Einfachheit
schließen. Das hat man früher getan; wir haben nicht
mehr das Recht, so zu handeln.

Die Einfachheit der Keplerschen Gesetze ist z. B.
nur scheinbar. Das verhindert nicht, daß sie sich fast
auf alle analogen Systeme des Sonnensystems anwenden
lassen, aber es verhindert, daß sie streng genommen ge-
nau sind.

Die Rolle der Hypothese. — Jede Verallgemeine-
rung ist eine Hypothese; der Hypothese kommt also
eine notwendige Rolle zu, welche niemand je bestritten
hat. Allein sie muß immer sobald als möglich und so
oft als möglich der Verifikation unterworfen werden; es
ist selbstverständlich, daß man sie ohne Hintergedanken
aufgeben muß, sobald sie diese Prüfung nicht besteht.
Man macht es tatsächlich so, aber manchmal verdriest
es uns, so handeln zu müssen.

Diese verdrießliche Stimmung ist nicht gerechtfertigt;
der Physiker, welcher im Begriff ist, auf eine seiner
Hypothesen zu verzichten, sollte im Gegenteil froh sein,
denn er findet eine unverhoffte Gelegenheit zu einer
Entdeckung. Ich setze natürlich voraus, daß er seine
Hypothese nicht leichtsinnig angenommen hatte, und daß
letztere allen bekanntesten Faktoren standhielt, welche
möglicherweise auf die beobachtete Erscheinung einen
Einfluß üben konnten. Wenn die Verifikation nicht
möglich ist, so liegt es daran, daß irgend etwas Uner-
wartetes, Außergewöhnliches vorliegt; man muß also Un-
bekanntes und Neues entdecken.

Ist nun die so umgestoßene Hypothese unfruchtbar?
Weit gefehlt, man kann sagen, daß sie mehr Dienste
geleistet hat wie eine richtige Hypothese; sie hat nicht
nur Gelegenheit zu dem entscheidenden Experimente
gegeben, sondern man würde sogar dieses Experiment

zufällig gemacht haben, und keinerlei Schlüsse daraus
gezogen haben, wenn man die Hypothese nicht gemacht
hätte; man würde darin nichts Außerordentliches gesehen
haben, man hätte nur eine Tatsache mehr festgestellt,
ohne daraus die geringsten Folgerungen abzuleiten.

Unter welcher Bedingung ist dann die Benutzung der
Hypothese ohne Schaden?

Der feste Vorsatz, sich dem Experimente unterzu-
ordnen, genügt nicht; es gibt trotzdem gefährliche Hypo-
thesen; das sind voreinst und hauptsächlich diejenigen,
welche stillschweigend und unbewußt gemacht werden.
Weil wir solche Hypothesen benutzen, ohne es zu wissen,
sind wir unfähig, sie aufzugeben. In diesem Falle kann
uns die mathematische Physik einen Dienst erweisen.
Durch die Genauigkeit, welche ihr eigentümlich ist,
zwingt sie uns, alle Hypothesen zu formulieren, welche
wir ohne die Mathematik unbewußt benutzt hätten.

Wir wollen andererseits bemerken, daß es wichtig
ist, die Hypothesen nicht übermäßig zu vervielfältigen und
sie einzeln nacheinander aufzustellen. Wenn wir eine,
auf vielfache Hypothesen gegründete Theorie bilden,
welche unter unsern Prämissen muß dann notwendiger-
weise geändert werden, wenn das Experiment die Theorie
widerlegt? Das zu wissen ist unmöglich. Und umge-
kehrt, wenn das Experiment gelingt, wird man dann
glauben alle Hypothesen auf einmal verifiziert zu haben?
Wird man glauben, mit einer einzigen Gleichung mehrere
Unbekannte bestimmt zu haben?

Man muß Sorge tragen, unter den verschiedenen
Arten von Hypothesen zu unterscheiden. Es gibt vor-
erst solche, welche ganz natürlich sind, und denen man
sich kaum entziehen kann. Es ist schwer, nicht voraus-
zusetzen: daß der Einfluß sehr entfernter Körper ganz
und gar zu vernachlässigen ist, daß die kleinen Be-
wegungen einem linearen Gesetze gehorchen, daß die

Wirkung eine stetige Funktion ihrer Ursache ist. Das selbe gilt von den durch die Symmetrie uns auferlegten Bedingungen. Alle diese Hypothesen bilden sozusagen die gemeinsame Grundlage aller Theorien der mathematischen Physik. Sie wären die letzten, die man aufgeben könnte.

Es gibt eine zweite Kategorie von Hypothesen, welche ich als indifferenten bezeichnen möchte. In den meisten Fragen setzt der Analytiker im Anfange seiner Berechnung entweder voraus, daß die Materie kontinuierlich ist oder daß sie aus Atomen zusammengesetzt sei. Er könnte das Umgekehrte tun, und seine Resultate würden sich deshalb nicht ändern; er würde nur mehr Mühe haben, sie zu erreichen, das wäre alles. Wenn also das Experiment seine Schlußfolgerungen bestätigt, wird er dann z. B. glauben, die wirkliche Existenz der Atome bewiesen zu haben?

In den optischen Theorien führt man zwei Vektoren ein, von denen der eine als Geschwindigkeit, der andere als Wirbel betrachtet wird. Das ist wieder eine indifferente Hypothese, weil man zu denselben Schlußfolgerungen gelangt, wenn man genau das Gegenteil tut. Der Erfolg des Experimentes kann also nicht beweisen, daß der erste Vektor wirklich eine Geschwindigkeit ist; er beweist nur, daß er ein Vektor ist; das ist die einzige Hypothese, welche man tatsächlich in die Voraussetzungen eingeführt hat. Um dem Vektor die konkrete Bedeutung zu geben, welche die Schwachheit unseres Verstandes erfordert, muß man ihn betrachten, als wenn er entweder eine Geschwindigkeit oder ein Wirbel wäre; ebenso wie es notwendig ist, ihn durch einen Buchstaben, entweder durch x oder durch y darzustellen; aber das Resultat, wie es auch sei, wird nicht beweisen, ob man Recht oder Unrecht hatte, wenn man ihn als eine Geschwindigkeit ansah; nicht mehr, als es uns beweisen

kann, daß man Recht oder Unrecht hatte, ihn x und nicht y zu nennen.⁷⁹⁾

Diese indifferenten Hypothesen sind niemals gefährlich, vorausgesetzt, daß man ihren Charakter nicht verkennt. Sie können nützlich sein, sei es als Hilfsmittel der Rechnung, sei es, um unser Verständnis durch konkrete Vorstellungen zu unterstützen, um die Ideen, wie man sagt, zu fixieren. Es ist also kein Grund vorhanden, diese Hypothesen zu verwerfen.

Die Hypothesen der dritten Kategorie sind die wirklichen Verallgemeinerungen. Es sind solche, die von der Erfahrung bestätigt oder entkräftet werden. Verifiziert oder verworfen, immer werden sie fruchtbringend sein, aber aus den von mir dargelegten Gründen nur, wenn man sie nicht zu sehr vervielfältigt.

Ursprung der mathematischen Physik. — Wir wollen weiter vordringen und die Bedingungen näher studieren, welche die Entwicklung der mathematischen Physik erlaubten. Wir erkennen auf den ersten Blick, daß die Anstrengungen der Gelehrten immer dahin gerichtet waren, die aus der Erfahrung direkt übernommene zusammengesetzte Erscheinung in eine sehr große Anzahl von elementaren Erscheinungen aufzulösen.

Das geschieht auf drei verschiedene Arten: zuerst in der Zeit. Anstatt die fortschreitende Entwicklung einer Erscheinung in ihrer Gesamtheit zu umfassen, versucht man einfach jeden Augenblick mit dem unmittelbar vorhergehenden zu verknüpfen: man nimmt an, daß der gegenwärtige Zustand der Welt nur von der nächsten Vergangenheit abhängt, ohne sozusagen von der Erinnerung an eine weiter entfernte Vergangenheit beeinflußt zu sein. Vermöge dieses Postulates kann man sich, anstatt direkt die ganze Folge der Erscheinungen zu studieren, darauf beschränken, die Differentialgleichung

der Erscheinung“ hinzuschreiben: die Keplerschen Gesetze ersetzt man durch das Newtonsche Gesetz.

Darauf versucht man die Erscheinung im Raume zu zerlegen. Die Erfahrung bietet uns eine verworrene Gesamtheit von Tatsachen dar, die sich auf einem Schauplatze von gewisser Ausdehnung abspielen; man muß versuchen die elementare Erscheinung auszuscheiden, welche im Gegensatze dazu auf einen sehr beschränkten Teil des Raumes zu lokalisieren ist.

Einige Beispiele werden vielleicht meinen Gedanken- gang verständlicher machen. Wenn man die Verteilung der Temperatur in einem sich abkühlenden Körper in ihrer ganzen Zusammengesetztheit studieren will, so würde das nie gelingen. Alles wird einfach, wenn man überlegt, daß ein Punkt des festen Körpers nicht direkt an einen entfernten Körper Wärme abgeben kann; er wird unmittelbar nur den am nächsten liegenden Punkten Wärme abgeben, und so wird der Wärmestrom sich von Punkt zu Punkt fortpflanzen, bis er den anderen Teil des festen Körpers erreicht. Die Elementarerscheinung ist der Wärmeaustausch zwischen zwei benachbarten Punkten; dieser Austausch ist streng lokalisiert und verhältnismäßig einfach, wenn man, wie es ja natürlich ist, annimmt, daß er nicht durch die Temperatur derjenigen Moleküle beeinflusst wird, deren Entfernung eine merkliche Größe hat.⁷³⁾

Ich biege einen Stab, er wird eine sehr komplizierte Gestalt annehmen, deren direktes Studium unmöglich wäre; aber ich kann die Schwierigkeiten überwinden wenn ich beobachtete, daß seine Biegung nur die Resultante der Deformation kleiner Elemente des Stabes ist und daß die Deformation jedes dieser Elemente nur von den Kräften abhängt, welche direkt an denselben angreifen, und keineswegs von denjenigen Kräften, welche auf die anderen Elemente wirken.⁷⁴⁾

In allen diesen Beispielen, die ich ohne Mühe vermehren kann, nimmt man an, daß es keine Fernwirkung gibt, wenigstens nicht auf große Entfernung hin. Das ist eine Hypothese; sie ist nicht immer richtig, das Gesetz der Schwerkraft beweist es uns; man muß sie also der Verifikation unterwerfen; wenn sie auch nur annähernd bestätigt wird, so ist sie doch wertvoll, denn sie erlaubt uns, wenigstens mittelst successiver Annäherungen mathematische Physik zu treiben.

Wenn sie der Prüfung nicht standhält, muß man sich etwas anderes Analoges suchen, denn es gibt noch andere Mittel, um zu der Elementarerscheinung zu gelangen. Wenn mehrere Körper gleichzeitig zur Wirkung kommen, kann es vorkommen, daß ihre Wirkungen voneinander unabhängig sind und sich einfach zueinander addieren, entweder nach Art der Vektoren oder nach Art der Scalare.⁷⁵⁾ Die Elementarerscheinung ist alsdann die Wirkung eines isolierten Körpers. Ein anderes mal hat man mit kleinen Bewegungen, oder allgemeiner gesagt, mit kleinen Änderungen zu tun, welche dem wohlbekanntesten Gesetze der Superposition gehorchen. Die beobachtete Bewegung wird dann in einfache Bewegungen zergliedert, z. B. der Ton in seine harmonischen Komponenten und das weiße Licht in seine einfarbigen Komponenten.

Durch welche Mittel wird man die Elementarerscheinung wirklich auffinden können, wenn man herausgefunden hat, in welcher Richtung sie wahrscheinlich zu suchen ist?

Um das Resultat voraussehen, oder vielmehr um so viel voraussehen, als für uns nützlich ist, wird es häufig nicht nötig sein, in den ganzen Mechanismus der Erscheinung einzudringen; das Gesetz der großen Zahlen wird genügen. Wir wollen das Beispiel von der Wärmeleitung wieder aufnehmen; jedes Molekül strahlt gegen

jedes benachbarte Molekül Wärme aus; nach welchem Gesetze das erfolgt, brauchen wir nicht zu wissen; wenn wir irgend etwas in dieser Hinsicht voraussetzen, so wäre es eine indifferente Hypothese und folglich etwas Unnützes und Unverifizierbares. Und in der That, da man nur mit durchschnittlichen Mittelwerten rechnet und da das umgebende Medium symmetrisch vorausgesetzt wird, gleichen sich alle Verschiedenheiten aus, und welche Hypothesen man auch gemacht hat, das Resultat bleibt immer dasselbe.

Derselbe Umstand tritt uns in der Theorie der Elastizität und in derjenigen der Kapillarität entgegen; die benachbarten Moleküle ziehen sich an und stoßen sich ab; wir brauchen nicht zu wissen, nach welchem Gesetze, es genügt uns, daß diese Anziehung nur auf kleine Entfernungen hin bemerkbar ist, daß die Moleküle sehr zahlreich sind, und daß das Medium symmetrisch sein soll; wir brauchen dann nur das Gesetz der großen Zahlen walten zu lassen.

Auch hier verbarg sich die Einfachheit der Elementarerscheinung unter der Kompliziertheit des zu beobachtenden Schlußergebnisses; aber diese Einfachheit war ihrerseits nur eine scheinbare und verhüllte einen sehr komplizierten Mechanismus.

Das beste Mittel, um zu der Elementarerscheinung zu gelangen, würde offenbar das Experiment sein. Man müßte durch experimentelle Kunstgriffe das verworrene Bündel, das die Natur unserem Forschen darbietet, auseinanderlegen und mit Sorgfalt dessen möglichst gereinigte Elemente studieren; man wird z. B. das weiße natürliche Licht in einfarbige Lichtstrahlen mit Hülfe des Prismas zerlegen und in polarisierte Lichtstrahlen mit Hülfe des Polarisors.

Unglücklicherweise ist das weder immer möglich noch immer genügend, und es ist notwendig, daß der Verstand

manchmal der Erfahrung voraussetzt. Ich will davon nur ein Beispiel erwähnen, das mich immer lebhaft betroffen hat.

Wenn ich das weiße Licht zerlege, so kann ich einen kleinen Teil des Spektrums isolieren, aber so klein er auch sei, er wird doch immer eine gewisse Breite bewahren. Ebenso geben uns die natürlichen, sogenannten einfarbigen Lichtstrahlen eine sehr schmale Linie, die aber doch nicht unendlich schmal ist. Man kann voraussetzen, daß man durch einen Grenzübergang schließlich dahin gelangen wird, die Eigenschaft eines streng einfarbigen Lichtstrahles zu erkennen, indem man die Eigenschaften dieser natürlichen Lichtstrahlen experimentell prüft und dabei mit immer schmaleren Streifen des Spektrums operiert.

Das würde nicht genau sein. Ich setze voraus, daß zwei Strahlen von derselben Quelle ausgehen, daß man sie zuerst in zwei zueinander rechtwinkligen Ebenen polarisiert, daß man sie hierauf auf dieselbe Polarisationsebene zurückführt und daß man versucht, sie interferieren zu lassen. Wenn das Licht streng einfarbig wäre, so würden sie interferieren; aber mit unseren annähernd einfarbigen Lichtstrahlen gibt es keine Interferenz, so schmal der Streifen auch sei. Er müßte, damit es anders würde, mehrere Millionen mal dünner als die schmalsten bekannten Streifen sein.

Hier also hätte uns der Übergang zur Grenze getäuscht; der Verstand mußte dem Experimente voraus-eilen, und er hat dies mit Erfolg getan, weil er sich dabei durch das Gefühl für Einfachheit leiten ließ.

Die Kenntnis der Elementarerscheinung gestattet uns, das Problem in eine Gleichung zu setzen; es bleibt nur noch übrig, daraus durch Kombination die komplizierte Tatsache abzuleiten, welche der Beobachtung und Verifi-

kation zugänglich ist. Das nennt man Integration; das ist Sache des Mathematikers.

Man möchte fragen, warum die Verallgemeinerung in der physikalischen Wissenschaft so gerne die mathematische Form annimmt. Die Ursache ist jetzt leicht erkennbar; es geschieht nicht nur deshalb, weil man Zahlengesetze ausdrücken muß; es geschieht, weil die zu beobachtende Erscheinung aus der Superposition einer großen Anzahl von elementaren Erscheinungen entstanden ist, welche alle einander ähnlich sind; so führen sich die Differentialgleichungen ganz natürlich ein.

Es genügt nicht, daß jede Elementarerscheinung einfachen Gesetzen gehorcht, es müssen alle diejenigen, welche man zu kombinieren hat, demselben Gesetze gehorchen. Nur dann kann das Eingreifen der Mathematik nützlich sein: die Mathematik lehrt uns in der Tat, Ähnliches mit Ähnlichem zu kombinieren. Ihr Ziel ist, das Resultat einer Kombination zu erraten, ohne diese Kombination Stück für Stück wieder durchzunehmen. Wenn man dieselbe Operation mehrere Male zu wiederholen hat, erlaubt sie uns diese Wiederholung zu vermeiden, indem sie uns im voraus das Resultat durch eine Art Induktion erkennen läßt. Ich habe das weiter oben in dem Kapitel über die mathematische Schlußweise erörtert. (Vgl. S. 17).

Zu diesem Zwecke müssen alle diese Operationen untereinander ähnlich sein; im entgegengesetzten Falle müßte man sich offenbar damit begnügen, sie wirklich nacheinander wieder durchzunehmen; dann wäre die Mathematik überflüssig.

Infolge der angenäherten Homogenität der von den Physikern studierten Materie konnte also die mathematische Physik entstehen.

In den Naturwissenschaften findet man diese Bedin-

gungen: Homogenität, relative Unabhängigkeit von entfernten Teilen, Einfachheit der Elementarerscheinungen nicht, und darum sind die Vertreter der beschreibenden Naturwissenschaften genötigt, andere Arten von Verallgemeinerungen zu Hilfe zu nehmen.

Zehntes Kapitel.

Die Theorien der modernen Physik.

Die Laien sind darüber betroffen, wieviele wissenschaftliche Theorien vergänglich sind. Nach einigen Jahren des Gedeihens sehen sie dieselben nacheinander aufgeben, sie sehen, wie sich Trümmer auf Trümmer häufen; sie sehen voraus, daß die Theorien, die heutzutage Mode sind, in kurzer Zeit vergessen werden, und sie schlußfolgern daraus, daß diese Theorien absolut eitel sind. Sie nennen das: das Fallissement der Wissenschaft.

Ihr Skeptizismus ist oberflächlich; sie geben sich keine Rechenschaft von dem Ziele und der Rolle, welche wissenschaftliche Theorien spielen sollen, sonst verständen sie, daß die Trümmer vielleicht noch zu irgend etwas nützen können.

Keine Theorie schien gefestigter als diejenige Fresnels, welche das Licht den Atherschwingungen zuschrieb. Man zieht ihr jetzt jedoch die Maxwellsche Theorie vor. Soll damit gesagt sein, daß das Werk Fresnels vergeblich war? Nein, denn das Ziel Fresnels war nicht, zu erforschen, ob es wirklich einen Äther gibt, ob seine Atome sich wirklich in dem oder jenem Sinne bewegen; sein Ziel war: die optischen Erscheinungen vorauszusehen.

Das erlaubt die Fresnelsche Theorie heute ebenso wie vor Maxwell. Die Differentialgleichungen sind immer

richtig; man kann sie durch dasselbe Verfahren integrieren, und die Resultate dieser Integration behalten stets ihren vollen Wert.

Man erwidere nicht, daß wir auf diese Weise die physikalischen Theorien zur Rolle einfacher, praktischer Regeln erniedrigen; die genannten Gleichungen drücken Beziehungen aus, und sie bleiben richtig, solange diese Beziehungen der Wirklichkeit entsprechen. Sie lehren uns vorher wie nachher, daß eine gewisse Beziehung zwischen irgend einem Etwas und irgend einem anderen Etwas besteht; nur daß dieses Etwas früher Bewegung genannt wurde und jetzt elektrischer Strom heißt. Aber diese Benennungen waren nichts als Bilder, die wir an die Stelle der wirklichen Objekte gesetzt haben, und diese wirklichen Objekte wird die Natur uns ewig verborgen; die wahren Beziehungen zwischen diesen wirklichen Objekten sind das einzige Tatsächliche, welches wir erreichen können, und die einzige Bedingung ist, daß dieselben Beziehungen, welche sich zwischen diesen Objekten befinden, sich auch zwischen den Bildern befinden, welche wir gezwungenermaßen an die Stelle der Objekte setzen. Wenn diese Beziehungen uns bekannt sind, so macht es nichts aus, ob wir es für bequemer halten, ein Bild durch ein anderes zu ersetzen.

Es ist weder sicher noch interessant, ob eine gewisse periodische Erscheinung (wie z. B. eine elektrische Schwingung) wirklich dem Vibrieren eines gewissen Atomes zuzuschreiben ist, das sich wirklich in diesem oder jenem Sinne wie ein Pendel bewegt. Daß es nun aber zwischen der elektrischen Schwingung, der Bewegung des Pendels und allen periodischen Erscheinungen eine enge Verwandtschaft gibt, welche einer tieferen Wirklichkeit entspricht; daß diese Verwandtschaft, diese Ähnlichkeit oder vielmehr dieser Parallelismus sich bis ins Kleinste fortsetzt; daß sie aus allgemeinen Prinzipien, z. B. aus dem

Prinzip der Energie und aus dem Principe der kleinsten Wirkung folgt, das können wir behaupten; darin liegt eine Wahrheit, welche ewig dieselbe bleiben wird, unter welchem Gewande wir sie auch aus praktischen Gründen darstellen mögen.

Man hat zahlreiche Theorien der Dispersion vorgeschlagen; die ersten waren unvollkommen und enthielten nur einen Bruchteil von Wahrheit. Dann kam die Helmholtzsche Theorie; dann hat man sie auf verschiedene Weise geändert, und ihr Urheber selbst hat eine andere Theorie erdacht, die auf den Prinzipien von Maxwell beruht. Aber es ist eine bemerkenswerte Tatsache, daß alle Gelehrten, die nach Helmholtz kamen, zu denselben Gleichungen gelangt sind, obgleich sie von scheinbar ganz verschiedenen Gesichtspunkten ausgingen. Ich möchte sagen, daß diese Theorien alle zugleich wahr sind, nicht nur, weil sie uns dieselben Erscheinungen voraussehen lassen, sondern weil sie eine wirkliche Beziehung klarmachen, nämlich diejenige der Absorption unter der anomalen Dispersion. Was in den Prämissen dieser Theorien richtig ist, das ist allen Autoren gemeinsam; es ist die Bestätigung dieser oder jener Beziehung zwischen gewissen Dingen, welche von den einen mit dem, von den anderen mit jenem Namen bezeichnet werden.⁷⁶⁾

Die kinetische Theorie der Gase hat zu manchen Einwürlen Anlaß gegeben, auf die man leicht antworten könnte, wenn man die Absicht hatte, sie als absolut richtig zu betrachten. Aber alle diese Einwürfe verhindern nicht, daß die Theorie nützlich gewesen ist, und zwar besonders dadurch, daß sie uns eine wahre und ohne sie tief verborgene Beziehung offenbart: nämlich die Beziehung des osmotischen Druckes zu dem von Gasen ausgeübten Drucke. In diesem Sinne kann man sagen, daß die Theorie richtig ist.⁷⁷⁾

Wenn ein Physiker einen Widerspruch zwischen zwei Theorien feststellt, welche ihm gleich lieb sind, so sagt er oft: Wir wollen uns darüber nicht weiter beunruhigen; wir wollen jedoch die beiden Enden der Kette festhalten, wenn auch die Zwischenglieder dieser Kette uns verborgen sind. Diese Argumentation eines in die Enge getriebenen Theologen wäre lächerlich, wenn man den physikalischen Theorien den Sinn beilegen müßte, welchen die Laien ihnen zu geben pflegen: Im Falle des Widerspruchs müsse wenigstens eine von ihnen als falsch angesehen werden. Anders ist es, wenn man in den Theorien nur das sucht, was man suchen soll. Es kann geschehen, daß die Theorien eine oder die andere Beziehung richtig wiedergeben, und daß ein Widerspruch nur in den Bildern liegt, deren wir uns an Stelle der wirklichen Objekte bedient haben.

Sollte jemand meinen, daß wir das dem Gelehrten zugängliche Gebiet allzusehr beschränken, so würde ich ihm antworten: Diese Fragen, deren Behandlung wir Ihnen verweigern und die Sie bei uns vermissen, sind nicht nur unlösbar, sondern sogar gänzlich illusorisch und haben keinen Sinn.

Mancher Theoretiker behauptet, daß die ganze Physik auf den gegenseitigen Stößen der Atome beruht. Wenn er damit einfach sagen will, daß zwischen den physikalischen Erscheinungen dieselben Beziehungen herrschen wie zwischen den gegenseitigen Stößen einer großen Anzahl von Kugeln, so ist es gut; das kann man prüfen; das ist vielleicht sogar richtig. Aber er will mehr sagen; und wir glauben ihm zu verstehen, weil wir zu wissen glauben, was der Stoß eigentlich ist; warum? Ganz einfach, weil wir oft dem Billardspiele zugeschauen haben. Glauben wir deshalb, daß Gott, wenn er sein Werk betrachtete, dieselbe Empfindung hat wie wir, wenn wir einem Wettspiele auf dem Billard zusehen? Wenn wir

der Behauptung jenes Philosophen nicht diesen bizarren Sinn unterlegen wollen, wenn wir uns noch weniger mit dem begrenzten Sinne begnügen wollen, den ich soeben dargelegt habe, und der allein richtig ist, so hat jene Behauptung gar keinen Sinn.

Die Hypothesen dieser Art haben nur einen metaphysischen Sinn. Der Forscher kann solche Metaphern ebensowenig vermeiden wie der Dichter, aber er muß wissen, was sie bedeuten. Sie können nützen durch die Befriedigung, die sie dem Verstande gewähren, und sie werden nicht schaden, vorausgesetzt, daß es sich nur um indifferente Hypothesen handelt (vgl. S. 154).

Diese Betrachtungen geben uns die Erklärung dafür, warum gewisse Theorien, welche man für aufgegeben und definitiv durch die Erfahrung wiederlegt hielt, plötzlich aus ihrer Asche wieder auferstehen und ein neues Leben beginnen. Sie brachten eben wirkliche Beziehungen zum Ausdruck und sie hörten nicht auf, solche auszudrücken, wenn wir auch aus diesem oder jenem Grunde glaubten, dieselben Beziehungen in einer anderen Sprache zum Ausdrucke bringen zu müssen. Sie bewahrten so eine Art latenten Lebens.

Noch sind es kaum fünfzehn Jahre her, da gab es nichts Lächerlicheres und es galt nichts für einfältiger und für so veraltet wie die Fluida von Coulomb. Und doch sind sie unter dem Namen Elektronen wieder auf der Bildfläche erschienen. Wodurch unterscheiden sich nun dauernd diese elektrisierten Moleküle von den elektrischen Molekülen Coulombs? Zwar wird jetzt bei den Elektronen etwas, wenn auch sehr wenig Materie als Träger der Elektrizität angenommen, mit anderen Worten: die Elektronen haben Masse (und auch die will man ihnen neuerdings nicht mehr zugestehen); aber Coulomb dachte seine Fluida auch nicht ohne Masse, oder, wenn er es tat, so geschah es nur mit Widerstreben.

Es wäre anmaßend, wenn man behaupten wollte, daß der Glaube an die Elektronen nicht noch einmal verdunkelt werde, deshalb war es nicht weniger bemerkenswert, diese unverhoffte Wiedergeburt festzustellen.⁷⁸⁾

Das schlagendste Beispiel ist jedoch das Carnotsche Prinzip. Carnot ist bei seiner Begründung von falschen Hypothesen ausgegangen; als man bemerkte, daß die Wärme nicht unzerstörbar ist, sondern sich in Arbeit umsetzen läßt, gab man die Ideen Carnots völlig auf; da tritt Clausius dafür ein und läßt sie endgültig triumphieren. Die Carnotsche Theorie brachte in ihrer ursprünglichen Form neben wirklichen Beziehungen andere ungenaue Beziehungen zum Ausdruck, die als Trümmer veralteter Ideen zu betrachten sind; aber das Vorhandensein dieser letzteren beeinflusst nicht die Wirklichkeit der anderen. Clausius brauchte sie nur zu entfernen, so wie man verdorbene Äste abschneidet.⁷⁹⁾

Das Resultat war das zweite Fundamentalsgesetz der Thermodynamik. Es handelte sich immer um dieselben Beziehungen; obgleich diese Beziehungen nicht zwischen denselben Objekten stattfanden, wenigstens scheinbar nicht. Das genügte, um die Gültigkeit des Prinzips zu sichern. Selbst die Entwicklungen Carnots sind deshalb nicht untergegangen, man wandte sie auf Materien an, die damals noch ganz falsch verstanden wurden; aber ihre Form (d. h. das Wesentliche) blieb korrekt.

Was ich soeben gesagt habe, erklärt zu gleicher Zeit die Rolle der allgemeinen Prinzipien, wie des Prinzips der kleinsten Wirkung oder des Prinzips von der Erhaltung der Energie.

Diese Prinzipie sind von sehr hohem Werte; man fand sie, während man danach forschte, was es Gemeinsames in der Darlegung zahlreicher physikalischer Gesetze gibt; sie stellen also gleichsam die Quintessenz unzähliger Beobachtungen dar.

Gleichwohl stammt aus ihrer Verallgemeinerung eine Folgerung, auf welche ich die Aufmerksamkeit im achten Kapitel lenkte: sie können nicht verifiziert werden. Da wir eine allgemeine Definition der Energie nicht geben können, so hat das Prinzip von der Erhaltung der Energie einfach die Bedeutung, daß es irgend ein Etwas gibt, das konstant bleibt. Also gut; wie nun auch die neuen Begriffe über das Weltall sein mögen, welche uns die zukünftigen Experimente geben werden, eines ist uns im voraus sicher: es wird ein Etwas geben, das konstant bleibt und das wir Energie nennen (S. 134).

Soll das heißen, daß das Prinzip keinen Sinn hat und daß es sich zu einer Tautologie abschwächt? Keineswegs; es bedeutet, daß die verschiedenen Dinge, denen wir den Namen Energie beilegen, durch eine wirkliche Verwandtschaft verbunden sind; es besagt, daß unter ihnen eine tatsächliche Beziehung besteht. Wenn nun aber das Prinzip einen Sinn hat, so könnte es ein falscher Sinn sein; möglicherweise hat man nicht das Recht seine Anwendung unbegrenzt auszudehnen, und dennoch steht von vornherein fest, daß man es (streng im obigen Sinne genommen) verifizieren kann; wie erfahren wir, wann es die volle Ausdehnung erlangt hat, welche man ihm berechtigterweise zuerteilen darf? Dieser Zeitpunkt tritt ein, wenn das Prinzip aufhört, uns nützlich zu sein, d. h. wenn es aufhört, uns neue Erscheinungen voraussehen zu lassen, ohne uns zu täuschen. In einem solchen Falle sind wir sicher, daß die behauptete Beziehung nicht mehr der Wirklichkeit entspricht; denn anderenfalls würde das Prinzip sich als fruchtbringenderwiesen haben. Das Experiment läßt uns dann eine weitere Ausdehnung des Prinzips verwerfen, obgleich letzteres einer solchen nicht direkt entgegen ist.