

ket

9

Über

Gesetz, Theorie und Hypothese in der Physik

Akademische Antrittsrede

gehalten am 30. Juli 1885

von

Dr. F. Braun

ord. Professor der Physik an der Universität Tübingen



Tübingen

Verlag von Franz Fues

1886

231

1883

gesetz, Theorie und Hypothese
in der Physik

Alle Rechte vorbehalten.

Verlag von Julius Springer

Verlag von Julius Springer

Dr. F. Braun

Verlag von Julius Springer



L. Fr. Fues'sche Buchdruckerei, Tübingen
(Fues & Kostenbader).

G. M. 49

<http://rcin.org.pl>

Daß alles Seiende von unabänderlichen Gesetzen beherrscht werde, ist eine Überzeugung, welche heutigen Tages alle Schichten der Bevölkerung der Art durchdrungen hat, daß der Name Naturgesetz ein Schlagwort ist, welches die Sprache nicht entbehren kann, mag es die wissenschaftliche, mag es die Umgangssprache, mag es das rasch verwehende Wort der politischen Presse sein — und es pflegt in den beiden letzteren gerade von denjenigen am meisten benutzt zu werden, welchen die Gesetze der Natur am wenigsten bekannt sind. Würde man gelegentlich die Frage stellen: „Was versteht man unter Naturgesetzen?“, so würde wohl in vielen Fällen die Antwort ausbleiben, vielleicht auch eine eingehendere Erörterung zeigen, wie wenig das gewonnene Resultat mit dem erwarteten übereinstimmt.

Zu dem allgemeinen Gedanken der Existenz von Naturgesetzen musste die roheste Beobachtung führen: die periodisch wiederkehrende Vegetation, die Erneuerung der Mondphasen, die stetige Wiedererzeugung der Art. Und je mehr Generationen sich folgten und die gleichen Beobachtungen einander vererbten, desto bestimmter musste die Überzeugung, daß dies un wandelbare, ewige Gesetze seien, Platz greifen. Aber es ist dies nur ein unklares Ahnen. Es spricht sich darin weiter nichts aus, als 1) die Erfahrungsthat- sache der Existenz der Welt und 2) der unbewusste Schluss, daß unter gleichen Bedingungen wieder Gleiches entstehen muß. — Erst die fernere Frage: Warum bleibt die Welt bestehen, warum vergeht sie nicht plötzlich? — würde zu der bestimmteren Vorstellung führen, daß dazu eine Änderung

der Bedingungen, neue Kräfte nötig seien. Heutigen Tages würden wir darauf antworten: „Weil die Wärmemenge, welche die Erde ausstrahlt, dank ihrer zur Masse relativ kleinen Oberfläche und ihrer niedrigen Temperatur ersetzt werden kann durch die Einstrahlung, welche die ausserordentlich viel höher temperirte Sonne ihr zukommen lässt; ferner weil der Wärmevorrat der Sonne selbst wieder ausserordentlich groß ist und endlich, weil die Erde sich in so bedeutender Entfernung von allen mit großer Masse begabten Himmelskörpern befindet, daß dieselben Millionen von Jahren brauchen würden, um sich der Erde bis auf wirksame Entfernung zu nähern — aus diesen Gründen existirt die Erde weiter; und nach dem oben ausgesprochenen zweiten Satze existirt sie in wesentlich gleicher Erscheinungsform weiter“.

Dies wäre in den Hauptzügen die jetzige Antwort. Daß die ältesten, uns bekannteren Erklärungsversuche so nicht lauten konnten, liegt auf der Hand. Die alten Philosophen finden sich deshalb in anderer Weise mit der Welt ab; und wenn von den einen das Feuer, von anderen das Wasser, wenn die Zahl von den Pythagoräern, ja sogar wenn von Heraklit die Änderung selber — da er damit die periodische Änderung meint — als weltregierendes Princip hingestellt wird, . . . so ist mit dem Ausspruche, dass ein unveränderliches Princip bestehe immer wieder der Thatsache der dauernden Existenz der Erde unbewusst Ausdruck, aber keine Erklärung gegeben. Aber aus der Thatsache allein floß die Überzeugung und die Frage nach Naturgesetzen. Die Frage ist also empirisch erworben — und ob auf einem Planeten, der so klein ist, dass in Folge der dann relativ starken Ausstrahlung im Laufe mehrerer Generationen alle Vegetation gewissermaßen unter den Augen der Lebenden dahinstürbe, ob, sage ich, auf einem solchen Planeten selbst die begabtesten Lebewesen sich nach Gesetzen in unserem Sinne

fragen würden, ob ihr Religionsbewußtsein den Begriff einer gütigen Gottheit kennen würde — darf man billig bezweifeln.

Etwas anderes aber als diese „Principien“ der Philosophen ist das, was man jetzt ein Naturgesetz zu nennen pflegt. Wir verstehen darunter den zusammenfassenden Ausdruck für eine größere Anzahl von Thatsachen. Fragt man, wann zuerst Gesetze auftauchen, die auch jetzt noch mit diesem Namen belegt werden, so wird man wohl die Antwort geben: mit Kepler. Die drei Sätze über Planetenbewegung, in welche man heutigen Tages mit Umgehung der Einzelheiten die Resultate der Kepler'schen Forschungen zusammenzufassen pflegt, sind ein bekanntes Beispiel; sie sind auf induktivem Wege gefunden, indem er aufsteigend von dem Einzelnen Schritt für Schritt das Ungenügende der früheren Erklärungsweise, darthut.

Etwa 80 Jahre nach dem Erscheinen von Kepler's *Astronomia nova* (1609) veröffentlichte Newton seine *Principia philosophiae naturalis mathematica* (1686). Nachdem er in diesem Werke durch seine Axiome den Grund gelegt hatte für die neuere Mechanik, d. h. die allgemeine Lehre von den Kräften und den Bewegungen, zeigt er, wie das nach ihm benannte Gesetz die Planetenbewegungen mathematisch ableiten läßt. Er weist nach, wie dieses Gesetz auch den Fall von Körpern, die Ebbe und Flut erklärt und erhebt es, allmählich von Beispiel zu Beispiel fortschreitend, zum allgemeinen Gravitationsgesetz, welches im ganzen Weltraum sich gültig erweist.

Dieses astronomische Beispiel habe ich absichtlich vorgegestellt, weil wir von ihm aus leicht zu einer wesentlichen Unterscheidung zwischen zwei Arten von Gesetzen geführt werden: ich möchte die einen Integralgesetze, die anderen Differential- oder Elementargesetze nennen. Die Integral-

gesetze geben Beziehungen an zwischen endlichen Größen z. B. zwischen endlichen Wegen und endlichen d. h. meßbaren Zeiträumen; die Differentialgesetze zwischen unendlich kleinen Größen, d. h. solchen, welche gegen jede meßbare Größe vernachlässigt werden können. Was der Beobachtung zugänglich ist, sind immer nur endliche Räume und Zeiten. Die Kepler'schen Regeln sind Integralgesetze, die Newton'sche Attractionsformel stellt ein Differentialgesetz dar.

Zur Erläuterung des Unterschiedes beider mag noch ein anderes Beispiel dienen. Ich wähle den freien Fall eines Körpers. Welches sind die meßbaren Verhältnisse? Im Zeitraum einer Sekunde durchfällt ein Körper schon 5 Meter, in 4 Sekunden 80 Meter, eine Höhe, welche ziemlich der größten, mit welcher man experimentieren kann, gleichkommt. Was man direkt hier ermitteln kann, ist nur der bekannte Zusammenhang, daß der Fallraum der Fallzeit quadratisch proportional sei — ein wohl relativ einfaches Resultat, welches uns aber doch ziemlich kühl läßt. Und wie weit geht seine Sicherheit? Die direkte Messung läßt Zeiten bis auf etwa $\frac{1}{10}$ Sek. bestimmen. Der bei solcher Genauigkeit denkbare kleinste Fehler in der Zeitermittlung würde den in 4 Sekunden durchlaufenen Fallraum um 5⁰/₁₀, den in der ersten Sekunde zurückgelegten um 20⁰/₁₀ fälschen. Und doch wäre das ein empirisches Naturgesetz.

Wahre Naturgesetze dürfen wir aber nach einem schönen Ausspruche Riemanns nur im Unendlichkleinen des Raumes und der Zeit erwarten. In der That: erweitern Sie das obige Beispiel. Denken Sie, der Körper falle aus meilenweiter Entfernung auf die Erde zu, so ändert sich im Laufe seiner Bahn die ihn beschleunigende Anziehung der Erde; er gelangt in immer dichtere Stellen der Atmosphäre und erfährt durch dieselbe einen Widerstand, welcher zunimmt mit der Dichte der Luftschicht und der Geschwindigkeit, mit

welcher er sie durchheilt. Selbst wenn wir nun empirisch den Zusammenhang zwischen Fallzeit und Fallraum mit aller nur denkbaren Genauigkeit durch eine Formel darstellen könnten, so würde dieselbe weit davon entfernt sein, eine einfache Gestalt anzunehmen — es wäre eine Erfahrungsformel, der man nur ungern den Namen eines Gesetzes zugeben möchte. Nur wenn wir den fallenden Körper auf einer so kleinen Strecke betrachten, daß in ihr alle Verhältnisse: Geschwindigkeit, Erdanziehung, Luftdichte für den Moment als konstant angesehen werden dürfen, nur dann werden wir ein einfaches Gesetz, welches den jeweiligen Impuls bestimmt, zu Grunde legen können. Ein solches wäre ein Differentialgesetz; es soll nur für unendlich kleine Größen des Raumes und der Zeit, oder, wie der Mathematiker sich ausdrückt, für Differentiale derselben gelten.

Und damit eröffnet sich der Forschung eine neue Methode. Man wird eine plausible Annahme für das Differentialgesetz machen, die Mathematik kleidet sie in eine Differentialgleichung und deren Integration liefert den Zusammenhang, der hieraus für endliche Räume und Zeiten folgt — und nun erst kann rückwärts aus der Beobachtung auf die Zuläßigkeit der Annahme geschlossen werden. Hier ist es, wo die Theorie, d. h. die spekulative Betrachtung ihren Ansatzpunkt findet.

So hätten wir neben einander: das Integralgesetz, welches häufig rein empirisch sein kann, das Differentialgesetz und die Theorie. Ihr gegenseitiges Ineingreifen möchte ich noch etwas weiter verfolgen, ihren Wert gegen einander etwas näher abwägen.

Ich will nur reden von denjenigen Naturwissenschaften, welche schon in der Lage sind, nach numerischen Beziehungen zu fragen und sich nicht mehr mit einem qualitativen Kausal-

nexus zu begnügen brauchen. Vielfach ist die Ansicht verbreitet, als sei die Aufgabe des Forschers dort wesentlich die folgende: Er beobachtet Erscheinungen, er verfolgt sie messend, er sucht sie durch empirische Gesetze darzustellen, und es gipfelt seine Thätigkeit darin, sie sämmtlich aus einem Differentialgesetz abzuleiten. — Diese Anschauung enthält mindestens ebenso viel Falsches als Wahres. Wenn man es überhaupt wagen darf, producirende Thätigkeit zu schematisiren (was man freilich auch mit dem leichten Spiele des Witzes gethan hat), so müssen wir wesentlich verschiedene Arten der Forschung unterscheiden.

Es giebt eine Reihe von Problemen, in welchen die Aufstellung des Differentialgesetzes der erste, wichtige und für viele Zwecke ausreichende Schritt ist; z. B. es handele sich um die Frage: wie wird der Gang von Lichtstrahlen an der Grenze zweier optisch verschiedenen Mittel geändert? Daß der Reflexions- dem Einfallswinkel gleich sei, daß andererseits die durch ihre Sinus gemessenen Einfalls- und Brechungswinkel stets in konstantem Verhältniß zu einander stehen, sind formale, durch Einfachheit ausgezeichnete Gesetze, denen wir deshalb gern geneigt sind, allgemeine Gültigkeit beizulegen, wenn wir auch von einem muthmaßlichen Grund nichts ahnen könnten. — Ein anderes Beispiel: nachdem man überhaupt gefunden hatte, daß elektrische oder magnetische Körper einander anziehen oder abstoßen, war es die direkte Forderung einer messenden Wissenschaft, daß man auch quantitativ diese Wirkung feststellte. — Ampère's größtes physikalisches Verdienst ist es entschieden, daß er nicht nur die Thatsache entdeckte, daß zwei galvanische Ströme auf einander Kräfte ausüben, sondern daß er aus mehreren Thatsachen, welche geschickt konstruirten Versuchsanordnungen entsprangen, mit genialer Konzeption, wenn auch nicht ohne einige Willkür, ein Elementargesetz ableitete, welches die Stromwirkungen nach

Form und Maß darstellt, und daß er dieses Gesetz zielbewußt in eleganter mathematischer Analyse physikalisch ausbeutete.

In wie fern aber nützt ein solches Gesetz, was ist mit dessen Aufstellung erreicht? Sein Wert würde freilich zweifelhaft sein, wenn es nichts weiter leistete, als dass es umgekehrt diejenigen Thatsachen wieder ableiten ließe, welche zu seiner Auffindung geführt haben. Aber es ist offenbar die Frage nahegelegen, berechtigt und sogar notwendig, ob ihm denn nicht eine allgemeinere Anwendbarkeit zustehe. Diese ist unzweifelhaft in allen denjenigen Fällen, welche — ich möchte sagen — nur durch mathematisch komplicirtere Bedingungen ausgezeichnet sind; z. B. wird man das Gesetz der Reflexion und Brechung des Lichtes, das für ebene Grenzflächen empirisch erwiesen sein mag, unbedenklich auf Flächen von endlicher Krümmung anwenden, oder, falls darüber Zweifel entstehen sollten, es jedenfalls dann bei allen, noch so verschieden gestalteten Oberflächen thun können, wenn es sich für einige passend ausgewählte Flächen anwendbar gezeigt hat. So entsteht eine Theorie; die Lehre von den optischen Instrumenten ist auf die Grundlage der Rechnung zurückgeführt; diese führt in viel sicherer und meist bequemerer Weise zum Ziele als der Versuch. Manche Fragen, welche für die wissenschaftliche Praxis außerordentlich wichtig sind, können relativ leicht beantwortet werden, von anderen Aufgaben läßt sich zeigen, daß sie überhaupt nicht gelöst werden können. Die für die Forschung so wichtigen Apparate: Spiegel und Spiegelteleskope, Fernröhre, Mikroskop werden konstruirt, d. h. die Maße und Krümmungen der Linsen werden berechnet nach den von der Theorie gelieferten Regeln. Die physikalische Grundlage des Sehens, die Erfindung des Augenspiegels, verdanken wir solchen Anwendungen. Wenn man nun wieder von den Gesetzen der Lichtbrechung in speziellen Apparaten, wie in Linsen, Prismen etc.

redet, so sind dies deducirte theoretische Gesetze, die man ebensogut und besser noch Sätze nennen könnte, da sie am besten den mathematischen Lehrsätzen z. B. der Euklidischen Geometrie zu vergleichen sind. — Jeder Versuch aber, in welchem ein solcher Satz mit der Beobachtung sich in Übereinstimmung zeigt, ist ein neuer Beweis für die Gültigkeit des zu Grunde gelegten Fundamentalgesetzes, so daß die Wahrscheinlichkeit, es sei richtig, immer mehr wächst und seine Sicherheit bald in mancher Beziehung noch größer ist, als diejenige, mit welcher wir das Wiederaufgehen der Sonne am anderen Tage erwarten.

Ein Ähnliches gilt aber auch für diejenigen Gesetze, welche aus complicirteren Versuchsbedingungen auf dem Wege einer oft nicht ganz einfachen Analysis entwickelt wurden — wie den elektromagnetischen und elektrodynamischen Grundgesetzen. Die Konsequenzen der Theorie werden immer wieder an der Erfahrung kontrolirt; es baut sich auf ihnen ein praktisch außerordentlich wichtiger Teil der Physik, die Lehre der galvanischen Meßinstrumente, auf. Wenn dann wieder Meßapparate, welche nach den verschiedensten Principien gebaut sind, oder Methoden, welche ganz verschiedene Wege einschlagen, für dieselbe zu messende Größe die gleiche Zahl ergeben, so sind das wertvolle, sich in der wissenschaftlichen Praxis rasch häufende Bestätigungen der Differentialgesetze. Ein prägnantes Beispiel ist die gerade im Augenblick so wichtige Festlegung unserer absoluten elektrischen Maßeinheiten, welche — namentlich seit dem Pariser elektrischen Kongreß im Jahre 1880 — eine internationale Aufgabe geworden ist.

Oft aber führt auch die Theorie zu Folgerungen, welche durch einen einfachen qualitativen Versuch kontrolirt werden können; dieser giebt schärfer als eine Messung, welche

stets mit Fehlern behaftet sein wird, einen Prüfstein für das Ausgangsgesetz. Es sei nur ein Fall angeführt. Die Messungen, aus welchen Coulomb das Gesetz ableitete, daß ruhende Elektrizitätsmengen auf einander nach dem Verhältnis der Massen und nach dem umgekehrten Quadrate der Entfernung wirken, waren trotz der meisterhaften Untersuchungen nach neuen Methoden mit ziemlich erheblichen Fehlern behaftet, wie es bei der Schwierigkeit des Gegenstandes nicht anders sein konnte. Coulomb's Gesetz hatte den gleichen Ausdruck wie das Newton'sche, und so berührte sich die Theorie der ruhenden Elektrizität mit den mathematischen Untersuchungen, welche Laplace zu fast der gleichen Zeit in seiner *Mécanique céleste* betreffs der allgemeinen Gravitation publizierte. Poisson, Green und Gauß führten, mehr oder weniger an Laplace anschließend, die Theorie weiter; neben speziellen Resultaten kamen eine Reihe allgemeiner Sätze zu Tage. Darunter der, daß die Elektrizität sich nur auf der Oberfläche eines Leiters ansammeln könne und sich auf derselben immer so verteilen müsse, daß sie auf einen inneren Punkt gar keine Wirkung ausübe. Es läßt sich zeigen, daß dieser Satz mit der absolut strengen Richtigkeit des Coulomb'schen Gesetzes steht und fällt.

Dieses Resultat ist aber qualitativ mit außerordentlicher Schärfe zu prüfen und Faraday hat die Probe in großem Maßstabe ausgeführt. Er begab sich in eine große, mit Stanniol bezogene, auf isolirende Füße gestellte Kammer, welche von außen durch eine kräftige Elektrisirmaschine fortwährend so stark geladen wurde, daß man lange Funken aus derselben ziehen konnte. Im Inneren zeigte sich auch bei längerem Aufenthalt weder auf seinen Körper noch auf die empfindlichsten Meßapparate eine Spur von elektrischer Wirkung.

Sie verstehen leicht nach diesem Versuch ein weiteres Resultat der Theorie. Es ist möglich, daß wir uns mitten

in einer Welt voll von Elektrizität befinden — wir wissen es nicht. Die Grenze der Atmosphäre könnte elektrisch bis zu den höchsten Spannungen geladen sein — kein Sinn, kein Instrument würde es anzeigen.

Ein ganz analoges Resultat ist dasjenige, welches Gauss in seiner Theorie des Erdmagnetismus gewonnen hat. Man hat denselben erst durch einen, dann durch zwei gekreuzte Magnete, die in der Erde sein sollten, erklären wollen. Gauss verließ diese ungenügenden Annahmen. Er zeigte: wenn die magnetischen Elemente von acht Punkten der Erdoberfläche gegeben sind, so lassen sie sich ausreichend genau für alle Punkte der Erdoberfläche berechnen. Wir können ferner durch die Beobachtungen denjenigen Teil des Erdmagnetismus, der etwa von außerhalb der Erde kommt, trennen von demjenigen, der aus dem Inneren rührt. Wie aber der letztere, jedenfalls weitaus überwiegende, innerhalb der Erde verteilt ist, darüber können wir nie und nimmer etwas aus Beobachtungen an der Oberfläche erfahren. Wir können eine Hypothese machen, welche den Beobachtungen genügt — unendlich viele andere Annahmen würden aber das Gleiche leisten.

So scheidet die Theorie Fragen aus der Spekulation aus, welche sonst vielleicht lange Zeit zu immer erneuten und notwendig vergeblichen Versuchen angespornt hätten. Andererseits zeigt sie, welche Fragen einer Beantwortung fähig sind aus den Beobachtungen, die wir in dem Raume der kleinen Kugelschale von wenigen Kilometern Dicke anstellen können, welche die schmale Zone alles höheren vegetabilischen Lebens bildet.

Noch einen anderen Vorteil hat die Theorie. Beobachtungen werden selten unter ganz einfachen Bedingungen angestellt; das wirkliche Gesetz kann daher nicht rein erkannt werden, sondern nur mit Annäherung; z. B.

würden Keplers Gesetze nur dann in aller Strenge gelten, wenn außer der Sonne nur ein einziger Planet vorhanden wäre, dessen Masse gegen die Sonnenmasse verschwindet. Dieses Verhältnis zwischen empirischem Integral- und Differentialgesetz hat Jacobi einst in prägnanter Form ausgesprochen. Als ihn Jemand fragte: wozu denn das Newton'sche Gesetz nütze, die Kepler'schen gäben ja Alles viel einfacher — erwiderte er: „nur daß die Kepler'schen Gesetze falsch sind und das Newton'sche den Fehler in denselben aufdeckt“. So wird die Theorie zum Korrektor des Gesetzes.

Damit noch nicht genug. Angenommen, ein Gesetz habe sich so oft bestätigt, daß man es als gesichert betrachte, und es fänden sich nun in ferneren (vielleicht verfeinerten) Beobachtungen Abweichungen von demselben. So lange wir nur mit den der Natur der Sache nach nicht ganz strengen empirischen Integralgesetzen bekannt wären, würden uns diese Abweichungen wenig interessiren. Ganz anders jetzt: entweder das Ausgangsgesetz ist doch nicht streng richtig, dagegen sprechen gewöhnlich triftige Gründe — oder es ist noch eine prinzipielle Entdeckung zu machen. Durch diese, ich möchte sagen, verschärfte Aufmerksamkeit und das gesteigerte Interesse wurde der Neptun berechnet und gefunden; so schloß man einst aus Änderungen der Kometenbahnen auf die Existenz eines widerstehenden Mittels, welches den ganzen Weltraum erfülle.

Ich glaube Ihnen an diesen Beispielen überzeugend nachgewiesen zu haben, daß die Auffindung eines Differentialgesetzes in vielen Gebieten eine wichtige Aufgabe ist. Oft müssen wir uns auch mit dem formalen Gesetze begnügen und können nicht über dasselbe hinaus in der Naturerklärung vordringen. Doch nicht in allen Problemen der Physik ist es so. Wo aber, das ist die weitere Frage,

ist damit nicht genügt? Die Antwort ist im speziellen Fall schwer, prinzipiell aber leicht; sie lautet: überall da, wo das Differentialgesetz selber noch auf andere uns bereits bekannte Kräfte oder Erscheinungsformen zurückgeführt werden kann. Ein Beispiel möge es erläutern. Arago fand bei magnetischen Beobachtungen an der Küste Nordfrankreichs, daß schwingende Magnetnadeln in Kupferhülsen rascher zu Ruhe kamen, als in Pappschachteln. Er schloß daraus: auf eine bewegte Magnetnadel übt eine ruhende Kupferplatte eine Kraft — folglich wird auch umgekehrt eine bewegte Kupferplatte auf eine ruhende Magnetnadel wirken. Er machte den Versuch; setzte er eine Kupferscheibe unter einer Magnetnadel in rasche Rotation, so zog sie die Magnetnadel mit sich. Die bewegte Kupferscheibe verhielt sich wie ein Magnet. Er bestimmte die Kraft an verschiedenen Stellen der Scheibe, und Poisson gründete auf diese Beobachtungen eine Theorie des „bewegten Magnetismus“. Aus einem Differentialgesetz ließen sich die Erscheinungen mathematisch ableiten. Und doch ist die Poisson'sche Abhandlung heute so gut wie vergessen, und der Name Rotationsmagnetismus dient nur noch dazu, an eine verfehltete Erklärung zu erinnern. Es beschäftigten sich noch andere Beobachter messend mit der gleichen Erscheinung, ohne dem Ziele näher zu kommen; erst Faraday's Forschertalent fand den Schlüssel. Er zeigte, daß durch die Bewegung des Magneten und der Kupferscheibe gegen einander in der Metallplatte elektrische Ströme entstehen, welche ihrerseits auf die Magnetnadel einwirken. Es war die wichtige Entdeckung der Induktionselektricität gemacht, welche Faraday nach allen Richtungen hin verfolgte. C. F. Neumann gab später eine aus einer einzigen plausibelen Annahme konsequent entwickelte mathematische Theorie aller Induktionserscheinungen. Poisson's Behand-

lung hätte die Voraussetzung einer neuen Kraft involvirt — Faraday's Entdeckung führte die Wirkung auf eine einfache Ursache zurück, Neumann's Theorie zeigt den Weg, wie man alle Einzelheiten berechnen kann. Poissons Theorie hätte kaum über die Arago'schen Beobachtungen hinausgeführt, Faraday's und Neumann's Anschauungen und Gesetze dagegen waren außerordentlich fruchtbar. Die ganze jetzige Elektrotechnik, die Dynamomaschinen, das Telephon beruhen auf ihr.

Bloß dort also sollen wir nach (numerischen) Differentialgesetzen suchen, wo wir wissen, daß das Wesen des Phänomens auf eine einfachere Ursache nicht mehr zurückführbar ist. Und es scheint, als ob die Probe darauf stets darin bestände, daß es uns dann auch gelingt, ein einfaches stichhaltendes Gesetz zu finden. Wo dies nicht der Fall ist, da dürfte überwiegend noch das Feld der qualitativen Forschung sein. Ist die Natur der Erscheinung einmal klar erkannt, so dürfen wir hoffen, relativ leicht ein dem Wesen angepaßtes Gesetz zu finden, nach dem wir vergebens suchen, so lange wir nicht den Charakter des Dinges kennen, das hinter der Erscheinung steckt.

Alle seither genannten Erfahrungen lassen sich ausschließlich aus den Thatsachen begreifen. Wir brauchen uns keine Vorstellung zu machen, ich möchte sagen, von den Anwandlungen, welche die Materie erfährt, wenn sie mit ruhender Elektrizität geladen oder wenn sie magnetisch erregt oder von einem galvanischen Strom durchflossen wird. In anderen Fällen aber spottet die Natur dieser Behandlungsweise, sie verlangt ein tieferes Eindringen in die Qualität des Phänomens. Hierher gehören vor Allem die Erscheinungen der Interferenz, Beugung und Polarisation des Lichtes. Alle Messungen sowohl als die komplizirten Hypothesen Newtons waren fruchtlos, so lange

man nicht sein erstes Augenmerk auf die Frage richtete: durch welche charakteristische Eigenschaft ist Licht überhaupt definirt? Erst die Erkenntnis, es müsse dasselbe eine periodische Bewegungsform sein, führte weiter, nun aber auch mit überraschender Geschwindigkeit. Th. Young und Fresnel zeigten, daß sich sämtliche Erscheinungen erklären ließen durch die Annahme, das Licht bestehe in transversalen Schwingungen eines feinen, alle Körper und den ganzen Weltraum durchdringenden Mediums, des Äthers. Diese Theorie hat sich in allen ihren Konsequenzen qualitativ und quantitativ genau bestätigt. Und doch beginnt sie verdrängt zu werden durch eine andere Auffassung. Bewiesen ist, daß dem Lichte der Charakter einer periodisch sich ändernden Größe beigelegt werden muß; bewiesen ist es, daß dem Lichtstrahl gewisse Seitlichkeiten zukommen; gemessen ist die Periode der Funktion, welche die verschiedenen Farben charakterisirt und welche als Wellenlänge bezeichnet wird — aber schon fängt man an zu glauben, daß elektrische Verschiebungen das Licht bedingen und der Äther identisch wird mit der Elektrizität.

Über allen diesen Gesetzen und Anschauungen thronen eine Reihe regulativer Prinzipien. Sie beherrschen die Gesamtheit physikalischer Erscheinungen — ja das ganze Gebiet der Prozesse, die sich in der materiellen Welt abspielen. Das erste dieser Prinzipien verdanken wir Robert Mayer. Es sagt aus, daß das ganze Arbeitsvermögen des Universums ewig unveränderlich ist. Der Lichtstrahl besitzt Energie, welche bald in chemische Spannkraft (wie bei dem Photographiren), bald in Wärme verwandelt werden kann; ein elektrischer Körper ist durch die Thatsache seiner Ladung, durch die ihrem Wesen nach unbekanntes Anwandelung, welche seine Materie oder vielleicht nur der

ihn umgebende Äther erfahren hat, zu einem Magazin von Energie geworden; sie kann in Wärme, in chemische Energie verwandelt werden, sie kann theilweise in der Form von Lichtwellen in den Raum hinausfluten — aber alles dieses sind nur verschiedene Formen der Energie, und die gesammte Energie, welche in ihnen steckt, ist unveränderlich. Denken wir uns von der übrigen Welt einen Raum abgegrenzt durch eine allseitig geschlossene Hülle, welche die Fähigkeit besitzen soll, keiner Energie, welche Form sie auch habe, den Durchgang zu gestatten — dann mögen im Inneren dieses Raumes Vorgänge stattfinden, wie sie wollen, Wärme entstehen oder verschwinden, Licht sich entwickeln, die Bewegungen sich ändern, Stoffe verdampfen, kurz Änderungen mögen erfolgen, wie sie nur irgend denkbar sind, diese Änderungen mögen momentan oder im Laufe von Jahrtausenden ablaufen — der gesammte Energieinhalt ist in jedem Moment der gleiche.

So zieht das Prinzip der Erhaltung der Energie gewissermaßen bei jedem materiellen Vorgang das Facit, die Bilanz — und findet sich je ein Deficit, so muß noch ein prinzipieller Posten vergessen sein.

Besonders fruchtbar zur Weiterentwicklung der Kenntnisse wird das Mayer'sche Prinzip durch die Ergänzung seitens der Clausius'schen. Nach dem letzteren können wir die Energieform der mechanischen Arbeit zwar stets ihrem vollen Betrag nach in Wärme umwandeln, dagegen von Wärme im Allgemeinen immer nur einen gewissen Prozentsatz in Arbeit, während gleichzeitig die Temperatur des nicht verwandelten Theils der Wärme abnimmt.

Aus diesen allgemeinen Sätzen fließt häufig ein Zusammenhang zwischen verschiedenen Eigenschaften, deren Verknüpfung vorher nicht erkannt war; z. B. zwischen Dampfspannung und Verbindungswärme, zwischen chemi-

schen, thermischen und elektrischen Prozessen, (und unzählige andere), ohne daß wir irgend eine Hypothese zu machen brauchen über das Wesen dieser Dinge. In der That — darf ich nochmals zurückgreifen auf das obige Beispiel des abgeschlossenen Raumes — wenn wir ihn zu verschiedenen Zeiten öffneten, wir würden andere Lagerungen im Inneren finden, der Energieinhalt würde verschieden vertheilt sein auf die Posten: Energie der Lage, der Bewegung, ruhender, strömender Elektrizität, Wärme, Licht etc. — aber die Bilanz muß stimmen. Vom Vorgange selbst jedoch erfahren wir auf diesem Wege nichts.

Unwillkürlich würde dann aber unsere Neugierde rege geworden sein, wir würden uns fragen: wie mag es zugegangen sein im Inneren des Raumes, aus dem kein Lichtstrahl uns Kunde giebt, kein Geräusch herausdringt? Wir würden es als das wünschenswertheste Ziel erachten, uns irgend eine Vorstellung zu machen und wir würden dem dankbar sein, der uns wenigstens eine einigermaßen befriedigende Deutung geben könnte. So, wie in diesem Beispiel, stehen wir der Natur gegenüber. So drängt uns, selbst da wo eine absolut richtige Theorie vorliegt, der Wunsch nach einer Einsicht des inneren Zusammenhanges zur Hypothese. Sie hat den Vorteil, daß sie uns häufig begreiflich macht, was wir nach logischen Gesetzen oder unter dem Gewicht der Thatsachen glauben müssen; z. B. wenn die lebendige Kraft des fallenden Steines beim Aufschlagen auf den Boden verloren geht und statt ihrer eine gewisse Quantität Wärme auftritt, so rückt diese Thatsache dem Verständnis näher, sobald wir uns denken, die grobsinnlich wahrnehmbare Bewegung des Steines sei in die Bewegung kleinster Theilchen übergegangen, in Bewegungen, die zu gering sind, als daß das Auge sie wahr-

nehmen könnte, welche aber unserem Gefühle als Wärme erscheinen. — Daß mechanische Energie, in diesem Beispiel die Bewegung des Steines, vollständig in Wärme verwandelt werden kann, ist dann klar; andererseits wird es auch begreiflich, daß man die nach allen Richtungen des Raumes erfolgenden Schwingungen der kleinsten Theilchen nicht wieder ihrem ganzen Betrage nach auf den Stein in der Form fortschreitender Bewegung wird übertragen können.

Das sind Erläuterungshypothesen. Sie führen aber auch vielfach über ihr erstes Ziel hinaus. Ist einmal der Charakter eines Agens erkannt, so ist es nicht unwahrscheinlich, daß man mit bestimmten Vorstellungen, auf welche vielleicht einzelne Thatsachen klar hindeuten, der Natur der ganzen Sache näher kommt. Daß Wärme Energie sei, ist bewiesen; daß sie eine Energie der Bewegung sei, im höchsten Maße wahrscheinlich — aber von welcher Form: schwingende, wie die des Lichts, oder fortschreitende, wie die einer fliegenden Kugel? Die Thatsache der freiwilligen Mischung von Gasen, d. h. von Stoffen, welche nicht durch Anziehungskräfte sich in einander hineinbewegen können, deutete darauf hin, daß wenigstens ein Theil der Wärme eines Gases repräsentirt sei durch die Energie fortschreitender Bewegung. An diesen Gedanken knüpft die mechanische Gastheorie an, welche uns weitgehende Blicke in die Konstitution der Materie eröffnet hat und Resultate ergab, die erst absurd schienen, weil sie allem Erwarteten zuwider liefen, die sich aber durch die Beobachtung bestätigt fanden und so der Ausgangshypothese rückwärts wieder erhöhte Wahrscheinlichkeit verliehen.

In anderen Gebieten wie den optischen mußte der erklärende Schritt kühner gethan werden, die Hypothese mußte den Ausgangspunkt bilden, ohne daß der

sichere Rückhalt einer hypothesenfreien Behandlung möglich war.

In wieder anderen Fällen harren wir noch einer befriedigenden Hypothese. So genau wir die Wirkungen der Elektrizität kennen — was eigentlich Elektrizität sei, darüber fehlt uns noch jede zweckmässige Vorstellung. Wenn wir sie eine Flüssigkeit nennen, so ist dies nur ein bequemes Bild, um viele Eigenschaften der elektrisirten Materie mit Worten zu beschreiben, die in der Sprache schon vorhanden sind, statt neue zu bilden. Kein Physiker aber wird glauben, daß er damit das Wesen der Erscheinung viel näher gekennzeichnet habe, als man der Anschauung der Zeit begreifend näher tritt, wenn man von einem Fließen derselben redet. Noch harrt die am längsten bekannte Erscheinung, der elektrische Funke, jeglicher plausibelen mechanischen Auffassung.

Das Gebiet gleicht einer in Nebel liegenden Gegend; aus ihm ragen eine Anzahl Bergspitzen heraus, die Höhen der Thatsachen. Wir kennen genau die Geographie dieser Spitzen, ihre Lage, ihr Aussehen, ihre Entfernungen; wie sie aber an ihrer Basis zusammenhängen, ahnen wir nicht, wir hoffen aber, daß das erwärmende Licht einer Hypothese den Nebel auflöse. Aber selbst wenn wir dann den Boden des Thales übersehen können: so lange wir auf die Spitzen beschränkt sind und die verbindenden Wege nur von Ferne betrachten, sie aber nicht thatsächlich betreten können, so lange übersehen wir zwar das Ganze in großen Zügen, auf Irrthümer im Einzelnen müssen wir aber gefaßt sein. Dort kann dem Wanderer noch ein rasender Tobel den Übergang versperren, wo der Blick von der Höhe einen unmittelbaren Zusammenhang vortäuschte.

Damit ist der Wert der Hypothese gegenüber der Einzelthatsache versinnlicht; die Hypothese muß sich die Prüfung an jedem einzelnen Faktum gefallen lassen, wenn auch der Charakter des Ganzen vielleicht für alle Zeiten unwandelbar fest steht. Nie darf der Forscher vergessen, was bewiesene Charakteristik, was ausfüllende Form ist.

Hypothesen in gewissem Sinn sind endlich auch die vorgefaßten Anschauungen und die subjektiven Überzeugungen, welche der Forscher mit auf seinen Weg nimmt und welche seinen Mut hochhalten bei der oft lange vergeblichen Mühe des Suchens. Ohne solche aprioristische Konstruktionen gibt es keine Forschung. So sagt Gauss: das Experimentiren interessire ihn so sehr, weil er finde, daß man doch stets mit seinen eigenen Ideen experimentire. Joule hat fast gleichzeitig und unabhängig von Rob. Mayer auf experimentellem Wege die Äquivalenz von Wärme und Arbeit erkannt; während letzterer — ächt deutsch — von allgemeinen philosophischen Sätzen ausgeht (wie *causa aequet effectum*), sagt Joule: „Da ich der Überzeugung bin, daß nur der Schöpfer die Macht zu zerstören besitzt, so stimme ich mit Rojet und Faraday darin überein, daß jede Theorie, welche in ihren Konsequenzen zur Vernichtung von“ (lebendiger) „Kraft gelangt, nothwendig falsch ist. Die Grundsätze, welche ich entwickelt habe, sind frei von dieser Schwierigkeit“. (Joule, Mech. Wärmeäquivalent. Deutsch von Sprengel. p. 75). Fresnel sagt an einer Stelle: „Bei der Auswahl eines Systems muß man nur auf die Einfachheit der Hypothese achten; die des Kalküls ist von keinem Gewicht beim Abwägen der Wahrscheinlichkeit. Die Natur ist nicht gehindert durch analytische Schwierigkeiten; nur Komplikation der Mittel hat sie vermeiden wollen“. „Sie hat sich vorgenommen das Maximum der Effekte mit dem Minimum der Ursachen hervorzubringen“.

(Fresnel, Oeuvres T. I. p. 248. 249). Diese Aussprüche charakterisiren wirklich die Methode und die Form der Resultate seiner grundlegenden Arbeiten über Beugung. — Faraday ließ, von Thatsache zu Thatsache weiter gehend, seine Welt sich entstehen, durchzogen von Kraftlinien, die er, wie es scheint, so weit real sich dachte, daß er von einer Erleuchtung derselben redet. Er spricht seine Überzeugung aus in dem Satze, „daß die Natur noch nie betrogen hat das Herz, das für sie schlägt“ (Tyndall, Faraday und seine Entdeckungen. p. 72) — eine Redensart im Munde eines Unbedeutenden; aber welches Gewicht erhält sie, wenn ein Forscher, der über vierzig Jahre lang die Welt immer von neuem mit Entdeckungen beschenkte, in sie seine wissenschaftliche Lebensweisheit zusammenfaßt! Die Überzeugung giebt die Ausdauer, die glückliche Intuition läßt die richtige Wahl treffen — denn „mit dem Genius ist die Natur in ewigem Bunde“.

Darf ich nochmals kurz zusammenfassen, so ist der Ausgangspunkt aller Naturwissenschaft die Einzelbeobachtung. Sie ist das positive im Archiv der Wissenschaft deponirte Aktenmaterial. Selbst diese unterste Grundlage ist schon subjektiv gefärbt. Das empirische Gesetz ist ein zusammenfassendes Referat über die Thatsachen. Wir werden mit Vorliebe auf dem letzteren weiterbauen, müssen aber stets bedenken, daß es noch subjektiver gefärbt ist, nicht alles Detail enthalten kann und nur eine erste Annäherung an die Wirklichkeit darstellt.

Wohlthuend gegenüber diesem oft in ermüdenden Einzelheiten verlaufenden Material steht diejenige Theorie, welche auf dem Boden nur eindeutig diskutirbarer Beobachtungen erwachsen ist. Sie erfreut durch ihre symmetrische

Vollendung und den, in höherem Sinn, praktischen Nutzen, welchen sie gewährt.

Schon nicht mehr ganz so unantastbar sind diejenigen Theorien, deren Ausgangsthatfachen eine mehrfache Deutung zulassen; oder solche, welche eine, wenn auch sehr sicher erscheinende Hypothese nöthig haben; oder diejenigen endlich, welche im großen Ganzen zwar das Richtige zu treffen scheinen, sich aber doch noch im letzten Ausbau mit manchen Thatfachen abfinden müssen.

Als Regulative für die Gesetze treten endlich die Prinzipien der Erhaltung der Energie und der zweite Hauptsatz der mechanischen Wärmetheorie auf.

Die Verbindung aber zwischen den verschiedenen Gebieten bahnt die Hypothese. Sie erleichtert die Darstellung, sie eröffnet Perspektiven, sie belebt das trockene Thatfachenmaterial, wie Elfen und Nixen die todte Natur der Phantasie lieblich näher rücken. Besteht in diesem Anschluß an die Phantasie auch ihre Gefahr für denjenigen, welcher glaubt der sicheren Basis des messenden Versuchs oder der strengen Theorie entbehren zu können, so ist sie doch für die Darstellung wie die Forschung unentbehrlich. Sie gleicht dem befruchtenden Regen

„Der im Schmutze selbst zu Schmutz wird,
Doch auf gutem Acker Segen
Bringt und Jedermann zu Nutz wird“.



