



Autor: **Heinrich Weber** (1842–1913)

Titel: **Über Causalität in den Naturwissenschaften**

Quelle: Weber, Heinrich: Über Causalität in den Naturwissenschaften : Rede gehalten bei der Übergabe des Prorectorats der Albertus-Universität zu Königsberg 1881 / von Heinrich Weber. – Leipzig : Engelmann, 1881. 30 S.

Signatur UB Heidelberg: O 416-10-1

Elektronische Ausgabe
erstellt von
Gabriele Dörflinger
2015

Hochansehnliche Versammlung!

Wenn es oft schwer ist, auf die Fragen eines Kindes nach dem Warum der Erscheinungen eine Antwort zu geben, welche die Wissbegier des Kindes hinlänglich befriedigt, ohne doch unserem besseren Wissen schnurstracks zuwider zu laufen, so befindet sich die Naturwissenschaft unserem eigenen Causalitätsbedürfniss gegenüber in einer ähnlichen Lage. Nur dadurch kann es gelingen, auf die Fragen, die unser Verstand an die Natur richtet, befriedigende Antworten zu erhalten, dass man die Aufgaben der Wissenschaft in angemessener Weise beschränkt; dass man nichts von ihr verlangt, was sie zu leisten ausser Stande ist. Daher ist es zur Begrenzung des Erreichbaren nothwendig und der Würde der Wissenschaft gemäss, dass sie sich klar werde über die Voraussetzungen, welche den Verstand in seinen wissenschaftlichen Urtheilen leiten, und über die logische Natur der Hülfsmittel, die er zur Lösung seiner Aufgabe anwendet; vor allem aber über Form und Umfang, in welcher der Causalbegriff zur Verwendung kommt. Ich bin weit entfernt von dem Anspruch, eine auch nur einigermassen erschöpfende Beantwortung dieser Frage zugeben. Sie führt in ein Gebiet, in dem ich mich allzusehr als Laie fühle, und ich muss von vorn herein wegen der Unzulänglichkeit der wenigen Gesichtspunkte, die ich eröffnen möchte, um Ihre Nachsicht bitten.

Die Voraussetzung einer notwendigen, gesetzmässigen Aufeinanderfolge des Geschehens liegt der naturwissenschaftlich-mechanischen Weltanschauung zu Grunde, eine Voraussetzung, die zunächst als Folge des streng durchgeführten Causalitätsgesetzes erscheint; aber es ist sehr bemerkenswerth, dass gerade diese Voraussetzung dem Causalbegriff jede fassbare Bedeutung zu nehmen scheint. Denn ist der Naturlauf ein notwendiger, so ist er auch ein vollkommen bestimmter und einziger, es lässt sich ohne einen Verstoss gegen die angenommene Gesetzmässigkeit nicht ein einziges Glied aus der Kette hinzu oder hinweg denken, oder irgend ein Ereigniss anders geschehen annehmen, als es geschehen ist; es hiesse dies eine andere, als die uns thatsächlich gegebene Welt annehmen, was absurd wäre. Gleichwohl wird diese Forderung bei der Erklärung von Ursache und Wirkung gewöhnlich an uns gestellt, wenn gesagt wird, ein A ist die Ursache von B , oder B die Wirkung von A , wenn B nicht sein würde, falls A nicht wäre. Eine solche Erklärung ist daher meines Erachtens für die Naturwissenschaft unbrauchbar. — Wenn aber der Verlauf der Welt nur in der einzigen wirklich gegebenen Weise denkbar ist, so entsteht zunächst der Schein, als ob überhaupt der Causalitätsbegriff in einer solchen Weltanschauung keine Stelle mehr finden könnte, da ja hiernach eine *nothwendige* Aufeinanderfolge der Ereignisse in nichts unterschieden wäre von der *thatsächlichen* Aufeinanderfolge; die Aufgabe der Naturwissenschaft könnte dann nur noch in einer Beschreibung dieses thatsächlichen Verlaufs, in einem Erzählen des Geschehenen bestehen; dass aber diese Auffassung eine ungenügende sein würde, sagt uns nicht nur unser natürliches Gefühl, sondern ergibt sich auch aus dem Umstände, dass wir aus jeder gewonnenen

naturwissenschaftlichen Erkenntniss Folgerungen über zukünftige Ereignisse ziehen, von deren principieller Möglichkeit, wenn auch nicht thatsächlichen Richtigkeit, wir eine unbedingte Ueberzeugung haben.

Die Frage nach dem tieferen Wesen der Causalität lasse ich unerörtert; allein es scheint mir erforderlich, eine Begriffsbestimmung zu geben, mit welcher die Naturwissenschaft praktisch operiren kann, wenn dieselbe auch nur als ein Kennzeichen zu betrachten wäre, durch welches der Zusammenhang von Ursache und Wirkung erkannt wird.

Gegenstand des Causalitätsgesetzes sind nur Ereignisse, d. h. Zustandsänderungen in der Zeit. Nur ein Ereigniss fordert eine Ursache, und diese kann nur in einem zeitlich vorangegangenen Ereigniss bestehen. Wenn bisweilen gleichwohl von der Ursache eines *Zustandes* gesprochen wird, so wird dabei stillschweigend an ein Gewordensein desselben, also an ein Ereigniss gedacht. In diesem Sinne werde ich zuweilen statt des Wortes *Ereigniss* den allgemeineren Ausdruck *Erscheinung* gebrauchen.

Ich halte, nun dafür, dass die Begriffe *Ursache* und *Wirkung* nur dann mit der Voraussetzung der Notwendigkeit des Naturlaufs verträglich sind, wenn man dieselben nicht auf die einzelnen Ereignisse, sondern auf *Klassen* von solchen anwendet, deren jede unendlich viele vergangene sowohl als zukünftige Einzelereignisse umfasst. Der Gesichtspunkt, nach dem eine solche Klasse abgegrenzt wird, liegt zunächst ganz in unserer Willkür; Wenn aber zwei Ereignissklassen U und W in der Beziehung zu einander stehen, *dass jedem Ereignis der Klasse W ein Ereignis der Klasse U vorangeht, und jedem Ereignis der Klasse U ein Ereignis der Klasse W folgt, so heisst U die Ursachsklasse von W , W die Wirkungsklasse von U .* Nachdem diese Beziehung der Klassen zu einander festgesetzt ist, kann man auch die betreffenden Einzelergebnisse als Ursache und Wirkung bezeichnen. Das Causalitätsgesetz besteht dann in der Ueberzeugung, dass zu jeder beliebig abgegrenzten Ereignissklasse W sich eine Klasse U finden lasse, welche nach der soeben gegebenen Definition als deren Ursachsklasse zu betrachten ist.

Stellt man sich auf diesen Standpunkt, der ein sehr naturgemässer zu sein scheint, so zerstreuen sich mancherlei Bedenken, denen sonst die Begriffe von Ursache und Wirkung auf Schritt und Tritt begegnen.

Zu einer vollständigen Beschreibung einer Ereignissklasse wird meist eine grössere Anzahl von Bestimmungen und Angaben erforderlich sein; von diesen aber wird unter Umständen ein Theil als selbstverständlich oder auch als ohne Interesse mit Stillschweigen übergangen werden können, und zwar je nach Lage des Falles bald der eine, bald der andere. Hieraus erklärt und rechtfertigt sich der schwankende Sprachgebrauch in Bezug auf die Worte Ursache und Wirkung, der gerade denjenigen Theil der Beschreibung als die Ursache bezeichnet, auf den für den Augenblick der hauptsächlichste Nachdruck gelegt werden Soll. Selbst negative Bestimmungen können in diesem Sinne als Ursache bezeichnet werden.

Wenn der Blitz in ein Gebäude schlägt, so wird man je nach Umständen sagen, die Ursache dieses Ereignisses war das sich entladende Gewitter, oder es war die isolirte, hohe Lage des Gebäudes, oder man wird vielleicht den Mangel eines Blitzableiters, oder irgend einen Fehler in dessen Construction als die Ursache bezeichnen. Die zu erklärende Ereignissklasse ist in diesem Beispiel das Einschlagen des Blitzes in ein Gebäude. Die Ursachsklasse ist die in bestimmter Nähe bei einem exponirten Gegenstand, an dem keine besonderen Vorsichtsmassregeln getroffen sind, erfolgende Entladung einer Gewitterwolke. Unfruchtbar und nichtssagend würde es aber sein, wollte man einen solchen Bestandtheil der Ursachsklasse hervorheben und als Ursache bezeichnen, der bereits begrifflich zu der Wirkungsklasse gehört. Um ein oft angeführtes Beispiel zu erwähnen: man bezeichnet nicht die Nacht als Ursache des Tages, den Winter als Ursache des Sommers, weil die Ereignisse »Tag werden«, »Sommer werden« schon ihrem Begriff nach eine vorangegangene Nacht oder einen vorangegangenen Winter voraussetzen; ebensowenig, wie man für die Ereignissklasse »Erwärmung« die vorangegangene Kälte als Ursache bezeichnen wird.

Aber noch in einer zweiten Beziehung ist der Gebrauch der Bezeichnungen Ursache und Wirkung ein schwankender. Ist die Klasse B die Ursache der Klasse A , C die Ursache der Klasse B , D die Ursache der Klasse C u.s.f., so können wir auch sagen, die zusammengesetzte Klasse BC , oder BCD etc. sei die Ursache von A , oder wir werden auch, unter Umständen, mit Uebergang eines Gliedes, C oder CD als die Ursache von A bezeichnen. Wie weit wir in einem besonderen Falle diese Kette zurückverfolgen, welche Glieder derselben wir übergehen oder hervorheben, das wird einestheils von unserer Kenntniss abhängen, andertheils auch von dem besonderen Interesse; welches wir in dem gerade vorliegenden Falle dem einen oder dem andern Bestandteil der Kette beilegen. Immer werden wir aber bei der Rückwärtsverfolgung der Kette zu einer Grenze kommen, bei der sich jedes Interesse einer weiteren Verfolgung, wenigstens sofern es die Klasse A betrifft, verliert. Das Gleiche gilt, wenn wir die Kette der Wirkungen einer Ereignissklasse nach vorwärts verfolgen.

Wenn ein Stein zur Erde fällt und dabei nach einander die Strecken a, b, c, d mit den ihm nach den Fallgesetzen zukommenden Geschwindigkeiten durchläuft, so können wir, die übrigen Bedingungen vorausgesetzt, als Ursache der Bewegung durch die Strecke d das Durchlaufen der Strecke c , oder bc , oder abc betrachten. Was aber ursprünglich die Bewegung des Fallens eingeleitet hat, kann von so mannigfacher Art sein, dass eine weitere Verfolgung der Ursachen für die allgemeine Erscheinungsklasse des Fallens kaum mehr von Interesse ist.

Wenn nun auch, wie erwähnt, die Abgrenzung einer Ereignissklasse eine durchaus willkürliche ist, so ist doch die zugehörige Ursachsklasse eine vollkommen bestimmte. Je enger man die Klasse der Wirkungen begrenzt, um so enger muss auch die Klasse der Ursachen begrenzt sein, und das Gleiche gilt umgekehrt, wenn man die Klasse der Ursachen willkürlich abgrenzt und die zugehörige Wirkungsklasse aufsucht. Aber es

ist ersichtlich, dass nicht alle, Eintheilungen in Klassen in Bezug auf den Gewinn an Erkenntniss, den sie uns zuführen, von gleichem Werthe sind. Sicher wird es Vortheil gewähren, die Eintheilung so zu treffen, dass die in dieselbe Klasse aufzunehmenden Ereignisse eine möglichst grosse Uebereinstimmung in wesentlichen Merkmalen zeigen, dass nicht heterogene Ereignisse in dieselbe Klasse, und wenig von einander abweichende in verschiedene Klassen geworfen werden. Solche Ereignissklassen will ich der Kürze halber *einfache* nennen, wobei es kaum nöthig sein wird, hervorzuheben, dass dieser Begriff der Einfachheit ein relativer ist, der ein Mehr und Minder zulässt. Dagegen wird in den gewöhnlich vorkommenden Fällen kaum ein Zweifel aufkommen, wie eine solche einfache Klasse abzugrenzen sei; ja die Sprache vollzieht meist von selbst schon diese Abgrenzung, wenn man z. B. vom Fallen eines Steines, von der Bewegung der Planeten, von irgend einer Funktion belebter Wesen spricht.

Der Begriff der einfachen Klassen ist zunächst erforderlich zu einer präzisen Unterscheidung dessen, was wir *gesetzmässig* und *zufällig* nennen.

Die Einfachheit einer Klasse ist zunächst ein logischer oder, wenn man will, physiologischer Begriff; was in unserer Gedanken- oder Empfindungswelt nahe beisammen liegt, wird in eine Klasse geworfen, und es folgt noch keineswegs, dass diese Ereignisse auch an sich etwas Verwandtes haben. Letzteres werden wir nur dann annehmen müssen, wenn auch die zugehörige *Ursachsklasse* eine einfache ist. Wenn daher eine einfache Ereignissklasse eine einfache Wirkungsklasse besitzt, so nennen wir den Zusammenhang zwischen beiden einen *gesetzmässigen*, und die betreffende Wirkungsklasse kann nach Analogie der natürlichen Thier- und Pflanzenklassen als eine *natürliche* bezeichnet werden. Hat aber eine einfache Ereignissklasse eine *nicht einfache* Ursachsklasse, so nennen wir die Ereignisse derselben *zufällige*. Es ergibt sich hieraus in vollkommener Uebereinstimmung mit dem Sprachgebrauch, dass die Grenze zwischen Zufall und Gesetzmässigkeit eine schwankende ist. Der Charakter des Zufälligen stellt sich um so reiner dar, je weniger die Ursachsklasse einfach ist.

Wenn wir einen richtig gearbeiteten Würfel werfen, so nennen wir das Ereigniss, dass die Zahl 6 fällt, sicher ein zufälliges. Die Klasse, in welche dies Ereigniss gehört, können wir als eine sehr einfache bezeichnen. Wollten wir aber die Klasse derjenigen Würfe, welche die Zahl 6 zum Vorschein bringen, von denjenigen sondern, welche den Würfel auf 5 oder auf 4 u.s.w. fallen machen, so würden dazu Bestimmungen von einer unübersehbaren Complication gehören; es würde sich kein übereinstimmendes Merkmal dieser Würfe angeben lassen, und wir haben daher die Ursachsklasse zu dieser Ereignissklasse als eine keineswegs einfache zu betrachten. Anders würde die Sache liegen, wenn etwa der Würfel auf der einen Seite schwerer wäre, als auf den andern. Alsdann würde schon eine weit einfachere Bestimmungsweise diejenigen Würfe, welche die schwere Seite nach unten bringen, von den übrigen trennen, und der Vorgang würde ein ganz gesetzmässiger sein, wenn der Würfel nur auf die eine Seite fallen könnte.

Die Bewegung der Planeten in Bahnen, die nahezu in einer Ebene liegen, bilden eine einfache Ereignissklasse; die Kant-Laplace'sche Hypothese lehrt eine einfache Ursachsklasse für diese Wirkung kennen. Auf die Gründe; welche uns in diesen und in ähnlichen Fällen den Glauben an eine Gesetzmässigkeit gebieterisch aufzwingen, komme ich später zurück.

Nach diesen Begriffsbestimmungen ist die Thätigkeit der Naturwissenschaft eine vorwiegend systematische und ihre Aufgabe lässt sich in folgender Weise näher präcisiren, Sie hat zunächst solche einfache Ereignissklassen aufzusuchen, die in der früher festgesetzten Bedeutung als *natürliche* zu bezeichnen sind; sodann zweitens die Ursachsklassen zu diesen zu ermitteln und möglichst vollständig zu erforschen in dem Sinne, dass zugleich auch zu jeder in dieser Klasse enthaltenen Unterklasse die Ursache bekannt sei.

Es ist sehr bemerkenswerth und auf den ersten Blick befremdend, dass die erste dieser beiden Aufgaben, die Auffindung natürlicher Ereignissklassen, vor der zweiten, d.h. ohne jede Kenntniss der Ursachsklasse behandelt und gelöst werden kann, durch ein Mittel, auf welches ich weiterhin zurückkomme; und in der That kennt die Geschichte der Wissenschaft nur wenige Ausnahmefälle, in denen der umgekehrte Weg betreten, d. h. aus einer bekannten Ursache auf eine noch gänzlich unbekanntes Wirkungsklasse geschlossen wurde. Dieser erste Theil der Aufgabe fällt lediglich der Beobachtung anheim. Die zweite Aufgabe, die Auffindung der Ursachsklasse oder die *Erklärung*, wird meist ihre Lösung dadurch finden, dass man über die Ursache eine Hypothese macht und die Zulässigkeit derselben nachträglich prüft. Auch hier wird die sicherste Probe auf die Haltbarkeit der Hypothese in der Beobachtung und im Experiment bestehen; allein es giebt Aufgaben dieser Art, die der Beobachtung ihrer Natur nach nicht zugänglich sind. In diesen Fällen muss die mathematische Deduction und die Analogie die gesuchte Probe geben.

Wie aber in der allgemeinsten Klasse *aller* Erscheinungen sich gewisse Klassen als die natürlichen absondern, so werden sich auch in jeder grösseren Klasse gewisse Unterklassen nach denselben Gesichtspunkten als natürliche abgrenzen lassen; und in dieser Unterordnung der Klassen unter einander besteht ein wesentliches Hilfsmittel zur Lösung der oben bezeichneten Aufgaben. Die Erklärung einer Erscheinung wird um so befriedigender sein, je mehr es gelungen ist, dieselbe einer grösseren Klasse unterzuordnen, welche bereits erklärt ist oder wenigstens als erklärt betrachtet wird, und je bekannter und vertrauter die Ereignisse der letzteren Klasse sind. Hierauf sind wohl die immer wiederkehrenden, wenn auch noch nicht gelungenen Versuche zurückzuführen, die allgemeine Massenanziehung aus der Wirkung des Stosses bei der direkten Berührung herzuleiten; denn obgleich uns im Grunde jede Vorstellung abgeht, worin die Wirksamkeit des Stosses eigentlich besteht, so ist doch der Zusammenstoss zweier Körper und die dadurch bedingte Ortsveränderung eine viel anschaulichere und der täglichen Erfahrung vertrautere Erscheinung, als eine Wirkung

in die Ferne.

Hat eine natürliche Ereignissklasse einen grossen Umfang und zugleich einen hohen Grad von Einfachheit, wie z. B. die Erscheinungen der allgemeinen Gravitation, die elektrischen Erscheinungen, die Wärmeerscheinungen, so nennen wir den Zusammenhang derselben mit ihrer Ursachsklasse ein *Naturgesetz*. Ist es gelungen, eine besondere Erscheinungsklasse einer solchen umfassenden Klasse unterzuordnen, so werden sich daraus Eigenschaften der ersteren ergeben, welche in der Beschreibung derselben allein noch nicht enthalten zu sein brauchen, und welche wir daher als *nothwendige* Folgen betrachten.

Wenn umgekehrt eine einfache Erscheinungsklasse abgegrenzt ist, und es zeigt sich in allen einzelnen Ereignissen dieser Klasse eine übereinstimmende Eigenschaft, die in der Beschreibung derselben für sich noch nicht liegt, so ziehen wir daraus mit völliger Ueberzeugung den Schluss, dass wir es mit einer natürlichen Klasse zu thun haben; denn eben durch eine solche wahrgenommene Eigenschaft werden die in der Natur vorkommenden Ereignisse von den bloss denkbaren, also nur logisch verwandten Ereignissen unterschieden und von anderen Klassen abgegrenzt. Wir werden dadurch zur Annahme eines, wenn auch noch verborgenen Gesetzes gezwungen und gehen darauf aus, dasselbe zu entdecken, indem wir, wenn möglich, die fragliche Erscheinungsklasse einer umfassenderen, bereits erkannten Klasse unterordnen.

Die Chemie lehrt, dass sich dieselben Gewichtsmengen eines Körpers *B* und eines Körpers *C*, die sich mit einer bestimmten Gewichtsmenge eines dritten Körpers *A* verbinden, auch unter einander verbinden können und nur diese oder einfache Vielfache derselben. Der Erscheinungsklasse der Verbindung von *A, B, C* unter einander haftet hier das angegebene Zahlenverhältniss als accessorische Eigenschaft an und verlangt eine Erklärung. Die Chemie hat diese Erklärung in der glücklichen Hypothese der Atome gefunden, indem sie durch diese Hypothese die fragliche Erscheinungsklasse unterordnet unter die allgemeinere Erscheinungsklasse der Verbindung von unveränderlichen körperlichen Einheiten.

In jedem Frühjahr brechen an den Bäumen die Blätter auf; dass die Blätter einer bestimmten Art immer eine bestimmte Form haben, dass sie immer wieder grün sind u.s.f., sind Eigenschaften, die in der Beschreibung der Erscheinungsklasse für sich noch nicht liegen. Auch diesen Eigenschaften muss ein Gesetz zu Grunde liegen, wenn dasselbe auch bis jetzt noch nicht erkannt ist.

Räthselhaft bleibt dieser unerschütterliche Glaube an die Gesetzmässigkeit der Natur, der im Grunde eine wunderbare Uebereinstimmung unseres Denkens mit der Aussenwelt behauptet. Die Erfahrung kann uns denselben unmöglich geben, da, wie Lotze in der Einleitung zur Metaphysik treffend nachgewiesen hat, ohne diesen Glauben keine Erfahrung jemals etwas über zukünftige Ereignisse zu lehren im Stande wäre. Nur das Eine mag bemerkt sein, dass ein nach Willensimpulsen handelndes Wesen ohne diese Ueberzeugung, also ohne die Möglichkeit, aus der Erfahrung zu

lernen, in der gesetzmässig eingerichteten Welt nicht würde existiren können.

Die Thätigkeit der Naturwissenschaft, wie ich sie hier dargelegt habe, lässt sich, wenn man will, als eine *beschreibende* bezeichnen, und in der That zeigt sie eine grosse Analogie mit der systematisirenden Methode der im engeren Sinne so genannten beschreibenden Naturwissenschaften. Es bleibt ihr nach dem Gesagten nichts weiter übrig, als die zusammengehörigen Klassen von Ursache und Wirkung durch bestimmte Merkmale abzugrenzen. Insofern aber diese Merkmale einen allgemeinen Charakter haben, und Schlüsse auf Zukünftiges oder noch nicht Wahrgenommenes gestatten, geht dieselbe doch über die reine Beschreibung weit hinaus, welche sich nur mit wirklich wahrgenommenen Einzeldingen und Einzelereignissen befassen könnte.

Der Anschauung, die in neuerer Zeit besonders von Kirchhoff vertreten wird, der zufolge selbst die analytische Mechanik und die theoretische Physik nur eine beschreibende Aufgabe haben, kann ich in diesem Sinne zustimmen. In der That ergibt sich aus dem Gesagten, dass das, was, die Mechanik eine Kraft nennt, für uns im Grunde nichts weiter sein kann, als ein Hülfsmittel, um den gesetzmässigen Zusammenhang zwischen Ursache und Wirkung kurz und anschaulich auszudrücken. Wenigstens muss ich Laplace beistimmen, wenn er der menschlichen Intelligenz die Fähigkeit abspricht, jemals die wahre Natur einer Kraft zu erkennen. Nach ihm sind wir nur im Stande, empirisch die Gesetze ihrer Wirksamkeit zu ergründen.

Ich wende mich nun zur Erörterung der Frage nach den Mitteln, welche wir anwenden, um den Causalzusammenhang in den Erscheinungen und die Gesetzmässigkeit derselben zu erkennen. Es ist selbstverständlich hier nicht die Rede von den besonderen Untersuchungs- und Beobachtungsmethoden, deren sich die Naturforschung in diesem oder jenem Falle bedient, um zu ihrem Ziele zu gelangen, sondern von den allen diesen Methoden zu Grunde liegenden logischen und mathematischen Gesetzen des Denkens, Gesetze, welche im Grunde keine anderen sind als die, welche unser Urtheil im täglichen Leben und in anderen Wissenschaften leiten.

Allem und jedem menschlichen Denken haftet die Unvollkommenheit an, dass es niemals mit absoluter Gewissheit zur Erkenntniss der Wahrheit führt. All unser Wissen beruht nur auf einer mehr oder minder grossen Wahrscheinlichkeit und die Aufgabe der wissenschaftlichen Forschung ist es, die Wahrscheinlichkeiten zu vergrössern oder von zwei einander entgegengesetzten Wahrscheinlichkeiten die grössere zu ermitteln.

Die Mathematik hat die Lehre von der Wahrscheinlichkeit zu einem umfassenden System der Wahrscheinlichkeits*rechnung* ausgebildet, welche den Zweck hat, feste Normen aufzustellen für die Beurtheilung der oben angedeuteten Fragen. Selbstverständlich können die Aussagen dieser Lehre nur die Bedeutung haben, Wahrscheinlichkeiten verschiedener Art unter einander zu, vergleichen; ein absoluter Maassstab für den Grad des Vertrauens, welches der Einzelne in eine bestimmte Wahrscheinlichkeit setzt, kann nicht aufgestellt werden; dieses wird immer nur indi-

viduell und selbst beim einzelnen Individuum nicht unter allen Umständen das gleiche sein. Laplace, der wohl am tiefsten nicht nur in die mathematische Theorie der Wahrscheinlichkeit, sondern auch in die allgemeinen logischen Grundlagen derselben eingedrungen ist, bezeichnet sehr treffend die mathematische Wahrscheinlichkeitslehre als den in Rechnung gesetzten gesunden Menschenverstand. In der That bedient sich diese Rechnungsart keiner anderen Methoden und Grundsätze, als die sind, die der gesund und richtig urtheilende Mensch von Hause aus bei allen seinen Urtheilen anwendet. Sie verhält sich zu den Aussprüchen des gesunden Menschenverstandes, wie das Messen mit Zirkel oder Maassstab zur Abschätzung von Grössen nach dem Augenmaass. Aber es ist nicht ganz leicht, die logischen Voraussetzungen genau und klar zu präcisiren und die Berechtigung des Zutrauens nachzuweisen, welches wir vollkommen a priori in die richtig verstandenen Aussagen der Wahrscheinlichkeitsrechnung setzen.

Ich möchte die Aufgabe der Wahrscheinlichkeitsrechnung etwa folgendermassen bestimmen. Sie ist eine möglichst genaue, durch Zahlen ausdrückbare Abwägung aller bei Beurtheilung irgend einer Frage in Betracht kommenden *bekannt*en Umstände. Diese Begriffsbestimmung ist naheliegend und klingt fast trivial. Gleichwohl scheint, sie mir den Kern der Frage richtig darzustellen.

Hiernach entscheidet sich von selbst die Frage, ob die Aussagen der Wahrscheinlichkeitsrechnung sich auf die Dinge selbst, oder nur auf unsere Meinung von den Dingen beziehen. Diese Frage kann keine andere Bedeutung haben als die: Wann und in wie weit dürfen wir erwarten, dass die Aussagen der Wahrscheinlichkeitsrechnung mit der Wirklichkeit übereinstimmen? Offenbar dann dürfen wir diese Uebereinstimmung mit Strenge oder ungefähr erwarten, wenn die unbekannt^{en} Umstände von keinem oder von nur geringfügigem Einfluss sind, gegenüber den bekannt^{en}. Vor eingetret^{en}em Erfolge werden wir also nur dann über die Zuverlässigkeit der Aussagen der Wahrscheinlichkeitsrechnung ein Urtheil haben können, wenn gewisse Anhaltspunkte gegeben sind, nach denen wir den Einfluss der unbekannt^{en} Umstände wenigstens zu schätzen im Stande sind.

Man pflegt die Gesetze der Wahrscheinlichkeit unter dem Bilde des Loosens, Spielens oder Wettens vorzutragen; selbstverständlich wählt man diese Beispiele nicht um ihrer selbst willen, sondern ihres einfachen typischen Charakters wegen, weil sie gerade durch ihre Nichtigkeit an sich die einfachen Principien, die jedem auf das Reale gerichteten Denken zu Grunde liegen, am reinsten und deutlichsten zur Anschauung bringen. Wenn wir blindlings in eine Urne greifen, die nur weisse Kugeln enthält, so sind wir sicher, eine weisse Kugel herauszuziehen. Enthält die Urne unter Millionen weissen eine schwarze Kugel, so werden wir mit einem an Ueberzeugung grenzenden Zutrauen auch jetzt noch auf das Herausziehen einer weissen Kugel rechnen, und zwar mit um so grösserem, je grösser die Anzahl der weissen Kugeln ist. Dies einfache Beispiel enthält das ganze Geheimniss der Wahrscheinlichkeitsrechnung; aber ein

Geheimniss bleibt nichts desto weniger darin enthalten.

Die Ueberzeugung von der Richtigkeit des angewandten Grundsatzes theilt jeder vernünftige Mensch und richtet seine Handlungen darnach ein. Sie steht im Zusammenhang mit der oben erwähnten Ueberzeugung von der Gesetzmässigkeit der Natur überhaupt und kann ebenso wenig wie diese aus der Erfahrung hergeleitet werden. Man kann dieselbe bezeichnen als eine Art Princip der Stetigkeit in der Gesetzmässigkeit der Natur, in sofern man geringfügigen Aenderungen in den Ursachen auch nur verhältnissmässig kleine Aenderungen in den Wirkungen zuschreibt. Dies Princip ist es, welches uns unter Umständen die Berechtigung giebt, unbekannte Einflüsse zu vernachlässigen, wenn wir dieselben als unbedeutend gegenüber den bekannten betrachten können; wonach wir einen hohen Grad von Wahrscheinlichkeit als mit der Gewissheit ziemlich gleichwerthig betrachten.

Gestatten Sie mir, um die Consequenzen dieses Principis etwas weiter zu verfolgen, bei dem gewählten Beispiel noch einen Augenblick zu verweilen. Nehmen wir an, in unserer Urne befinden sich schwarze und weisse Kugeln in beliebiger Anzahl und es werden blindlings Kugeln herausgezogen und jedesmal wieder in die Urne zurückgelegt, so dass die *bekannt*en Bedingungen für jeden Zug die gleichen sind. Bei den ersten Zügen wird sich eine bestimmte Regel in der Zahl der gezogenen weissen und schwarzen Kugeln meist nicht herausstellen; je mehr aber die Zahl der Züge wächst, desto genauer wird das Verhältniss der Zahlen der gezogenen weissen und schwarzen Kugeln sich dem Verhältniss nähern, in welchem die beiden Arten von Kugeln in dem Gefäss enthalten sind. Dies ist ein Ausspruch der Wahrscheinlichkeitsrechnung, der auf unbedingtes Zutrauen Anspruch macht. Derselbe behauptet eine bestimmte Thatsache, und zwar eine Thatsache, die sich in der Erfahrung immer und überall bewährt hat, obwohl die Ueberzeugung von derselben nicht der Erfahrung entstammt.

Man ist häufig in den Fehler verfallen, in dieser Regelmässigkeit, die sich sehr auffällig z. B. auch in den Ergebnissen der Statistik zeigt, ein besonderes Naturgesetz zu erblicken, und hat darauf ganze wissenschaftliche Systeme von weitgehenden Consequenzen gebaut, während sie doch in der That nichts weiter ist, als ein Ausfluss des oben besprochenen Principis der Stetigkeit in der Gesetzmässigkeit der Natur. Indem man so das einzige Mittel, durch welches wir in den Stand gesetzt sind, Naturgesetze zu erkennen, selbst in den Bereich dieser Naturgesetze hineinzog, hat man der Aufsuchung derselben jeden Boden genommen.

Vom Standpunkt der Wahrscheinlichkeitsrechnung hat zuerst Jacob Bernoulli und später erschöpfender Laplace diese Frage behandelt, welche nachgewiesen haben, dass mit wachsender Zahl der Fälle die Wahrscheinlichkeit der angedeuteten Regelmässigkeit über alle Grenzen wächst. Damit ist die ganze Frage zurückgeführt auf den einfachen Fall, wo unter einer stets wachsenden Zahl weisser Kugeln eine einzige schwarze sich befindet.

Die Wahrscheinlichkeitsrechnung macht bei ihren Schlüssen die Annahme mehrerer gleich möglicher Fälle; in dem besprochenen Beispiel nimmt sie an, dass jede Kugel gleich leicht aus der Urne gezogen werden könne. Gleich möglich sind aber von unserem Standpunkt nur solche Fälle, bei denen uns kein Umstand *bekannt* ist, der eher für den einen als für den andern Erfolg spricht, so dass beispielsweise die verschiedenen Würfe mit einem Würfel auch dann noch als gleich möglich zu bezeichnen sind, wenn der Würfel falsch ist, so lange nur noch unbekannt ist, in welchem Sinne der Fehler wirkt. Im einzelnen Falle sind nun hier die unbekanntes Umstände geradezu für den Erfolg entscheidend. Die Laplace'sche Analyse lehrt aber, in Uebereinstimmung mit dem gesunden Menschenverstand, dass die bekannten Umstände gleichwohl hinreichen, um für eine grosse Anzahl, von Fällen wenigstens annähernd den Erfolg zu bestimmen.

Wenn wir nach den angedeuteten Grundsätzen bei Beurtheilung; irgend einer Frage die bekannten Umstände in Rechnung gezogen, die unbekanntes nach Möglichkeit in Bezug auf ihren Einfluss geschätzt haben, und ein darnach mit Wahrscheinlichkeit zu erwartender Erfolg tritt gleichwohl nicht ein, so deutet ein solches Vorkommen im Allgemeinen auf einen Fehler in der Schätzung der unbekanntes Umstände und kann, indem es die Richtung anzeigt, in welcher ein solcher Fehler zu suchen ist, zu seiner Auffindung, d.h. zur Erweiterung des Kreises der bei der betreffenden Erscheinungsklasse bekannten Umstände führen.

Die Wahrscheinlichkeit eines solchen Fehlers ist jedoch nicht immer der Wahrscheinlichkeit gleich, mit welcher das erwartete Ereigniss a priori indicirt war, sondern sie kann geringer sein, insofern ein solcher Fehler für sich, d.h. ohne Rücksicht auf den Erfolg betrachtet, mehr oder minder wahrscheinlich sein kann.

Setze ich eine bestimmte Nummer in einer Lotterie mit vielen Zahlen, so ist es sehr unwahrscheinlich, dass diese Nummer mehrmals hintereinander herauskommt. Nehme ich bei einem Andern ein solches Vorkommen wahr, so werde ich mich schliesslich genöthigt sehen, an einen Betrug zu glauben; sollte ich die gleiche Wahrnehmung bei mir selbst machen, wo diese Annahme ausgeschlossen ist, so werde ich doch eher an eine günstige Laune des Zufalls, als an einen magischen Zusammenhang meiner Gedanken mit dem Erfolg des Spieles glauben, und daher viel schwerer mich entschliessen, die Richtigkeit meiner Voraussetzung anzuzweifeln.

Die hier angedeuteten Gesichtspunkte kommen namentlich in Betracht, wenn es sich um die Ermittlung der *Ursachen* beobachteter Ereignisse handelt, die unserer Kenntniss nach verschiedenen Ursachen entsprungen sein könnten. Die Wahrscheinlichkeit, dass das beobachtete Ereigniss dieser oder jener Ursache zuzuschreiben sei, wird nach den Grundsätzen der Wahrscheinlichkeitsrechnung bestimmt durch die Wahrscheinlichkeit, welche der fraglichen Ursache an sich zukommt, combinirt mit derjenigen Wahrscheinlichkeit, welche dafür spricht, dass diese Ursache gerade den beobachteten Erfolg habe. Ich erläutere diesen Grundsatz durch das folgende von

Laplace gewählte Beispiel. Sehen wir auf einer Setzertafel eine beliebige Anordnung von Buchstaben, so sind wir im Zweifel, ob der Setzer dieselbe in irgend einer uns unbekanntem Absicht oder nach blindem Zufall aufgestellt habe. In letzterem Fall ist die wahrgenommene Thatsache, nämlich gerade die besondere Zusammenstellung der Buchstaben, ein sehr unwahrscheinlicher Erfolg einer an sich nicht unwahrscheinlichen Ursache. Unter der ersteren Annahme ist zwar der Erfolg durch die vorausgesetzte Ursache völlig gesichert, allein die Ursache selbst, dass die Absicht des Setzers gerade auf diese und keine andere Buchstabencombination verfallen sein sollte, ist hier genau ebenso unwahrscheinlich, als es im ersten Falle der Erfolg war. Daher werden wir, wenn wir keine weitere Kenntniss haben, vollkommen im Zweifel bleiben, welcher der beiden Annahmen wir uns zuneigen sollen: Ganz anders verhält sich die Sache, wenn die fragliche Buchstabencombination ein bekanntes Wort bildet. Auch jetzt noch sind beide Annahmen möglich; unter der ersteren Annahme, dass nämlich der Zufall das Wort gebildet habe, verhält sich alles genau wie vorher; dagegen ist es unter der zweiten Annahme unvergleichlich wahrscheinlicher, dass eine bewusste Absicht auf ein bestimmtes Wort, als dass sie auf eine beliebige andere Buchstabencombination gerichtet sei; daher werden wir in diesem Falle mit einer Wahrscheinlichkeit, die für den praktischen Gebrauch unbedingt als Gewissheit gelten kann, der letzteren Annahme den Vorzug geben.

Diese Grundsätze sind es nun auch, welche bei naturwissenschaftlichen Forschungen unser Urtheil leiten.

Nach dem früher hierüber Gesagten kommt es darauf an, bei irgend einer wohl abgegrenzten Erscheinungsklasse nothwendige Eigenschaften zu entdecken, d. h. solche, welche in der Beschreibung der Klasse an sich noch nicht liegen und trotzdem allen Einzelercheinungen der Klasse zukommen. Solche Eigenschaften können sich auf räumliche Verhältnisse beziehen, oder sie können Zahlengesetze betreffen, oder es können physikalische Eigenschaften der verschiedensten Art sein. Jede Erscheinungsklasse enthält wenigstens principiell eine unbegrenzte Zahl von Einzelercheinungen. Daher sind wir niemals in der Lage, die Nothwendigkeit, d. h. die Allgemeingültigkeit irgend einer Eigenschaft in aller Strenge nachzuweisen, und es sind nur die Gesetze der Wahrscheinlichkeit, die uns darüber belehren. Die Schätzung dieser Wahrscheinlichkeit geschieht nun nach den dargelegten Grundsätzen in folgender Weise. Unter den verschiedenen möglichen Eintheilungsarten einer Erscheinungsklasse in Unterklassen werden sich zunächst solche auszeichnen und als *einfache* bezeichnen lassen, in welchen die Einzelercheinungen nach *logischer* Verwandtschaft gruppirt sind. Die Wahrscheinlichkeit, dass eine beliebig aus der Hauptklasse herausgegriffene Erscheinung der einen oder der andern dieser Unterklassen angehört, schätzen wir a priori, d. h. ehe wir eine nähere Kenntniss haben, nach der relativen Anzahl der *denkbaren* Fälle, welche jede dieser Unterklassen umfasst. Wenn aber das Ergebniss einer wirklichen Beobachtung mit dieser Schätzung der Wahrscheinlichkeit in auffallen-

den Widerspruch tritt, so sehen wir uns zu dem Schlusse genöthigt, dass die Anzahl der denkbaren Fälle dieser Unterklassen mit der Anzahl derjenigen, die thatsächlich darin enthalten sind, nicht übereinstimmt, dass vielleicht von diesen Unterklassen einige, obwohl sie a priori denkbar waren, in der Natur gar nicht vorkommen können, und damit ist dann eine nothwendige Eigenschaft der Erscheinungen der Hauptklasse gefunden, oder, was dasselbe ist, eine Eintheilung der Hauptklasse in natürliche Unterklassen.

Gestatten Sie mir noch, die entwickelten Principien an einem umfassenden und bedeutsamen Beispiel, wenn auch nur in groben Zügen, klar zu legen. Gegeben sei die Erscheinungsklasse »Planetenbewegung«. Obgleich Kepler seine beiden ersten Gesetze, z.B. das der elliptischen Gestalt der Bahn mit der Sonne als Brennpunkt, zunächst nur an einem einzigen Planeten, dem Mars, constatirt hatte, so war er doch berechtigt, diese Eigenschaft für eine nothwendige, d. h. allgemeine zu halten, Weil die Unterklasse »Bewegung in Ellipsen« gegenüber der anderen »Bewegung in anderen Bahnen«, nur eine verschwindend kleine Zahl von denkbaren Fällen enthält, also die Zufälligkeit dieser Erscheinung nur eine verschwindend kleine Wahrscheinlichkeit hat. Es kann keinem Zweifel unterliegen, dass die umfassendere gesetzmässige Klasse, welcher die betrachtete specielle Erscheinungsklasse angehört, die seit Galilei bekannte Erscheinungsklasse der nach den Sätzen der Mechanik vor sich gehenden Bewegungen ist, und Newton ist es gelungen, die Unterordnung unter dies allgemeine Gesetz auszuführen durch Auffindung des Gesetzes, welches seinen Namen trägt und welches eine grosse Unterklasse in der allgemeinen Klasse der mechanischen Bewegungen constituirt. Wenn sich aber nun weiter zeigt, dass die Bahnen sämmtlicher Planeten nahezu in derselben Ebene liegen und in derselben Richtung durchlaufen werden, dass die Abweichungen von der Kreisgestalt sehr klein sind, dass die Rotationen um die Axen alle in dem gleichen Sinne und in Ebenen vor sich gehen, welche nicht stark von jener ersten Ebene abweichen, so ist hierdurch eine einfache Unterklasse abgegrenzt, die wieder im Vergleich mit der anderen Unterklasse: »Bewegung in allen möglichen Ebenen und beliebiger Excentricität und Axenrichtung«, nur eine verschwindend kleine Anzahl von denkbaren Fällen enthält. Laplace hat dies Zahlenverhältniss näher bestimmt und daraus die Wahrscheinlichkeit für ein Gesetz berechnet, die er nach seiner Schätzung weit grösser findet, als die Wahrscheinlichkeit auch des bestbezeugten historischen Ereignisses.

Natürlich war diese Regelmässigkeit bereits Newton aufgefallen; da sich aber eine unmittelbare Erklärung derselben aus seinem Gesetze nicht ergab, so glaubte Newton eine zweckbewusste Veranstaltung des Schöpfers darin erblicken zu müssen. Die Erklärung dieser Erscheinung, die bereits 1755 von Kant veröffentlicht worden war, hat Laplace ohne Zweifel nicht gekannt, als er 1796 in der »Exposition du système du monde« seine eigene Theorie niederlegte, da er ausdrücklich Buffon als den einzigen bezeichnet, der seines Wissens bis dahin sich mit dieser Frage beschäftigt habe. Nach

Buffon's Hypothese habe ein Strom von Materie, etwa ein Komet, der auf die Sonne gestossen sei, die Massen der Planeten alle zugleich vom Centalkörper losgerissen und dadurch ihre Bewegung veranlasst. Laplace findet diesen Erklärungsversuch ungenügend, da er zwar einen Theil der Regelmässigkeit im Planetensystem, aber nicht die ganze zu erklären vermöge, und da zumal die kleine Excentricität der Bahnen ihr geradezu widerspreche.

Die Hypothesen von Kant und Laplace stimmen darin miteinander überein, dass beide von einem Anfangszustand ausgehen, in welchem die gesammte Materie, welche das Weltsystem zusammensetzt, ungefähr gleichmässig vertheilt ist über den ganzen Raum, den gegenwärtig die Planetenbahnen einnehmen, und beide schreiben dieser fein vertheilten Materie eine gemeinsame Rotationsbewegung zu, wodurch eine abgeplattete, linsenförmige Gestalt dieser Stoffmasse bedingt ist. Kant hat die Vorstellung, dass diese Rotationsbewegung selbst ein Ergebniss der in der Masse thätigen Anziehungs- und Abstossungskräfte sei, eine Annahme, die nach unserer heutigen Kenntniss über die Natur mechanischer Bewegungen nicht haltbar ist, wenigstens so lange man nicht die rotirende Stoffmasse als Theil eines grösseren Ganzen betrachtet.

Kant sowohl als Laplace berufen sich zur Stütze ihrer Annahme auf noch jetzt wahrgenommene Erscheinungen am Fixsternhimmel, auf die sogenannten Nebelflecken, in welchen die verschiedenen Entwicklungsstufen der weltbildenden Materie wahrzunehmen seien, gleich wie wir, nach einem Vergleich von Laplace, in einem grossen Walde die verschiedenen Altersstufen der Bäume gleichzeitig beobachten können. Ueber den weiteren Verlauf des Vorganges haben aber beide eine nicht unerheblich verschiedene Vorstellung. Kant nimmt für die Bildung der einzelnen Körper des Planetensystems besondere Centren der Anziehung an, die durch dichtere Ansammlungen der Materie gebildet waren, und die dann je nach ihrer Mächtigkeit einen grösseren oder kleineren Theil der umgebenden Materie um sich gesammelt haben. Die jetzt wahrgenommene Regelmässigkeit ist schliesslich übrig geblieben als diejenige Form der Bewegung, bei welcher sich die einzelnen Bestandteile der Bahnen am wenigsten hemmen und stören. Laplace dagegen nimmt an, dass sich, ein einziger Kern im Innern, die Sonne, zuerst gebildet habe, und dass sich bei der allmählichen Zusammenziehung in Folge der Erkaltung vom äussersten Rande des diesen Kern umgebenden Nebels Bestandteile abgelöst und ihre Rotationsbewegung im ursprünglichen Sinne fortgesetzt haben. Ich muss mich hier auf diese dürftigen Andeutungen über die Grundvoraussetzungen der berühmten Kant-Laplace'schen Theorie beschränken, will aber über das Verhältniss der beiden Anschauungen zu einander noch Folgendes bemerken.

Es dürfte bei dem gegenwärtigen Stand unseres Wissens, besonders bei unserer ungenügenden Kenntniss über die Wirkungsweise einer so über alle Begriffe fein vertheilten Materie schwierig sein, aus mechanischen Gründen zu entscheiden, welche der beiden Annahmen die wahrscheinlichere sei; der im Planetensystem wahrgenom-

menen Regelmässigkeit tragen beide in gleichem Maasse Rechnung. Stützt man sich aber auf die Analogie der noch gegenwärtig stattfindenden Vorgänge, insbesondere auf die Meteoritenfälle, und betrachtet diese als Fortsetzung des Vorganges, der die Planeten selbst gebildet hat, so neigt sich die Entscheidung auf die Seite von Kant. Es kommt hierzu noch ein weiteres gewichtiges Moment; Kant zieht in den Kreis seiner Betrachtungen noch eine andere Regelmässigkeit im Weltsystem, die eigenthümliche Vertheilung der Fixsterne, die sich durch die Milchstrasse zu erkennen giebt, welche darauf deutet, dass die unser Planetensystem umgebenden Fixsterne in einer abgeplattet linsenförmigen Anordnung sich befinden, also wie die Planeten zu einer bestimmten Ebene eine Beziehung haben. Auch diese Erscheinung findet vom Kant'schen Standpunkt eine ungezwungene Erklärung, während die Laplace'sche Hypothese auf dieselbe kaum anwendbar erscheint. Freilich ist auch ein Nebeneinanderbestehen beider Anschauungen bis zu einem gewissen Grade nicht ausgeschlossen, wie denn auch Kant zur Erklärung der Saturnringe zu einer der Laplace'schen sehr verwandten Annahme greift.

Dass Kant auch die Kometen als die Ueberreste der ursprünglichen Unregelmässigkeit in sein System mit einschliesst, möchte ich demselben kaum als Vorzug anrechnen, da eine zu erklärende Regelmässigkeit, wie ich gleich zeigen werde, hier nicht vorliegt.

Wenn nun auch in diesen und in vielen ähnlichen Fällen eine *Berechnung* der Wahrscheinlichkeit nicht nothwendig erscheint, weil bereits diejenige Beurtheilung derselben, die ich oben mit dem Augenmaass verglichen habe, genügt. um uns von der Gesetzmässigkeit der Erscheinung vollkommen zu überzeugen, so ist das doch nicht in allen Fällen so, und Laplace wurde in der That durch die consequente Anwendung seiner Principien der Wahrscheinlichkeitsrechnung zur Entdeckung von That-sachen geführt, die für die Astronomie von der grössten Bedeutung sind. Auch die für die gesammten messenden Naturwissenschaften so überaus wichtige Anwendung der Wahrscheinlichkeitsrechnung auf die Ausgleichung der Beobachtungsfehler lässt sich auf diese Grundsätze zurückführen. Ich muss es mir versagen, auf diesen Gegenstand hier einzugehen, und will nur noch in der Kürze die Betrachtungen berühren, welche Laplace über die Natur der Kometen anstellt.

Die Kometen sind Weltkörper, die in ihren Bewegungen ebenso wie die Planeten den Kepler'schen Gesetzen folgen, die sich also in Kegelschnitten bewegen, deren einer Brennpunkt von der Sonne eingenommen wird. In der Lage der Bahnebenen aber und der Richtung ihrer Bewegung lässt sich eine Regel in keiner Weise erkennen. Was dagegen die Gestalt ihrer Bahnen betrifft, so scheint sich eine gewisse Gesetzmässigkeit darin zu zeigen, dass die Bahnen alle eine sehr grosse Excentricität haben, dass uns fast alle nahezu als Parabeln erscheinen und dass insbesondere eine deutlich hyperbolische Bahn noch niemals beobachtet ist, während doch die Klasse der parabolischen Bewegung nur eine verschwindend kleine Zahl von Einzelfällen

enthält im Vergleich mit der Bewegung in beliebigen Kegelschnitten. Dies aber ist nur Schein. Bedenkt man nämlich, dass die Kometen alle verhältnissmässig kleine und schwach leuchtende Körper sind, so ergibt sich für ihr Sichtbarwerden noch die Bedingung einer geringen Sonnen- und Erdferne. Tritt nun ein solcher Körper in die Wirkungssphäre der Sonne ein, so wird seine Bewegung durch diese eine um so geringere Ablenkung von der geradlinigen Bahn erleiden, je grösser seine Geschwindigkeit beim Eintritt ist. Davon aber hängt die Gestalt seiner Bahn ab, welche um so mehr hyperbolisch sein wird, je grösser diese Eintrittsgeschwindigkeit ist. Es ist aber ersichtlich, dass bei einer der geraden Linie sich annähernden Bahngestalt der Komet nur dann der Sonne nahe kommen kann, wenn seine Bewegung beim Eintritt in die Wirkungssphäre derselben schon nahezu gegen die Sonne hin gerichtet ist. Ist dagegen seine Geschwindigkeit eine geringere, so wird der Einfluss der Sonne mächtiger sein; die Bahn wird sich in ihrer Gestalt mehr der Parabel nähern, und auch bei einer grösseren Abweichung von seiner anfänglichen Richtung wird noch eine hinlängliche Annäherung an die Sonne stattfinden können. Hieraus ergibt sich, dass die relative Zahl der möglichen parabolischen und hyperbolischen Bahnen nicht nach der Anzahl der denkbaren Fälle schlechtweg, sondern nach der Anzahl derjenigen Fälle geschätzt werden muss, welche zugleich eine genügende Sonnennähe ergeben. Laplace hat diese Rechnung durchgeführt und gefunden, dass die Wahrscheinlichkeit, die für eine merklich hyperbolische Bahn spricht, nur ungefähr 1:6000 ist. Diese Wahrscheinlichkeit ist klein genug, um die Thatsache nicht mehr auffallend erscheinen zu lassen, dass unter den Kometen, deren Bahnen berechnet sind, deren Zahl zu Laplace's Zeit etwa 100 betrug und jetzt auf über 250 gewachsen ist, eine deutliche hyperbolische Bahn noch nicht nachgewiesen wurde. Diese Wahrscheinlichkeit wird aber natürlich vergrössert durch jeden Fortschritt in der Schärfe der Beobachtung und Rechnung und mag für uns erheblich grösser sein, als sie für Laplace war; demnach ist es nicht für unwahrscheinlich zu halten, dass es mit der Zeit auch gelingen wird, hyperbolische Bewegungen bei den Planeten nachzuweisen.

Die wahrgenommenen Eigenschaften der Kometenbahnen deuten also nirgends auf einen ursächlichen Zusammenhang der Kometen mit unserem Planetensystem oder unter einander, und Laplace schliesst daraus, wie ich glaube mit vollem Recht, dass dieselben dem Planetensystem ursprünglich fremd seien. Zwar bleibt auch noch die Möglichkeit offen, mit Kant anzunehmen, dass dieselben in der ursprünglichen Bildung des Planetensystems mit inbegriffen waren. Vom Standpunkt der Laplace'schen Hypothese müsste man dann voraussetzen, dass durch störende Einflüsse im Laufe der Zeit jede Spur dieses Zusammenhangs verwischt worden sei, während nach Kant's Ansicht in der fortdauernd aufsteigenden Bildung des Planetensystems die Kometen Bestandteile der Weltmaterie sind, welche noch nicht die Regelmässigkeit der Systemverfassung erlangt haben, der sie durch den Ausgleich einander störender und hemmender Bewegungen zustreben. Wer es liebt, Möglichkeiten, über welche

beobachtete Thatsachen keinen Aufschluss geben, durch die Phantasie auszumalen, mag zwischen diesen Annahmen wählen oder dieselben in irgend einer Weise combiniren. Eine gesunde Naturforschung wird aber bis auf Weiteres bei der Laplace'schen Annahme, dass die Kometen fremden Ursprungs seien, als der ungleich allgemeineren und darum nach unserer jetzigen Kenntniss wahrscheinlicheren, stehen bleiben.