

# Die geschichtliche Entwicklung des Bewegungsbegriffes und ihr voraussichtliches Endergebniss.

Ein Beitrag zur historischen Kritik der mechanischen Principien.

Von

**Ludwig Lange.**

(Schluss.)

---

## Capitel III.

### Der Bewegungsbegriff von Newton bis auf die Gegenwart.

Die neue Periode des Bewegungsbegriffes, an welche wir nun herantreten, zeichnet sich nicht durch einen ähnlichen großen Meinungskampf aus, wie die vorhergehende. Das macht, sie ist nicht mehr an das gewaltige Problem des Weltsystemes geknüpft; denn Copernicus hat den Sieg davongetragen. Der Begriff der Bewegung entwickelt sich nun nicht mehr mit der Astronomie, sondern mit der Mechanik als reiner mathematischer Disciplin. Newton hat zuerst diese Aenderung herbeigeführt. Seine Terminologie gelangt in den Principien der Mechanik zu immer allgemeinerer Geltung, mag man ihr nun genau die Gedanken ihres Urhebers unterlegen, oder mag man, unter unerlaubter Vermengung theoretischer und praktischer Maximen, das verhältnissmäßig unveränderliche »Firmament« als absoluten Raum, die Sternzeit schlechthin als absolute Zeit gelten lassen. Wer streng an Newtons Lehre festhielt, ohne aber dabei den großartigen teleologischen Hintergrund derselben zu billigen, der erblickte in den Annahmen des absoluten Raumes und der absoluten Zeit

wohl nothwendige Uebel, nicht aber willkommene Ergebnisse wissenschaftlicher Forschung. Indessen gewöhnte man sich an das Operiren mit diesen Voraussetzungen ebenso bald und ebenso leicht, wie an den Gebrauch irgend welcher Hypothesen; und in der Mechanik erstarrte Newtons Lehre von Raum und Zeit ebenso unvermeidlich, wie in der Optik seine Lehre vom Licht. Ganz vereinzelt waren bis vor kaum zwei Jahrzehnten Bestrebungen, welche das Problem von einer neuen Seite her in Angriff nahmen. Ja es kam so weit, dass man Newtons Dogma beibehielt und die Begründungsversuche ganz aus dem Gesichte verlor. Euler und Kant sind die Einzigen, welche in dem ganzen langen Zeitraume nennenswerthe Reflexionen über die Relativität oder Nichtrelativität der Bewegungen angestellt haben. Auf sie allein haben wir daher näher einzugehen, während wir uns im übrigen damit begnügen können, an einigen Beispielen zu zeigen, in welcher Weise vom Anfange des 18. Jahrhunderts an bis zur Gegenwart der Newton'sche Lehrbegriff durch die große Mehrzahl der mechanischen Compendien sich fortgepflanzt hat.

J. Hermann versucht in seiner 1716 erschienenen »Phoronomia sive de viribus et motibus corporum . . . libri duo« das Unmögliche, nämlich eine friedliche Vereinigung des Newton'schen und Cartesianischen Bewegungsbegriffes!

»§ 1. Absolut bewegt heißen Körper, wenn ihre Berührung (!) mit den Theilen des allseits unendlichen und unbeweglichen Raumes stetig sich ändert; und in der That besteht die Bewegung selbst in einer derartigen Veränderung der Nachbarschaft. § 2. Einem Körper benachbart sind diejenigen Theile des unendlichen und unbeweglichen Raumes, welche ihn unmittelbar berühren und umgeben; und der Raum heißt unbeweglich, weil seine einzelnen Theile als beständig denselben Abstand und folglich dieselbe Lage gegeneinander bewahrend gedacht werden; und weil man sich nicht vorstellen kann, dass der ganze doch allseits ins Unendliche verlaufende Raum aus sich selbst hinausschweife und seine Lage verändere«. Diese Interpretation Newtons erinnert einigermaßen an die scholastischen Interpretationen des Aristoteles!

Die von Diderot redigirte »Encyclopédie« schließt sich (Article »Mouvement«) wesentlich an Hermanns Definition an, reproducirt jedoch, was nicht gerade häufig ist, Newtons eigene Experimente,

durch welche er die Annahme einer absoluten Bewegung wissenschaftlich zu begründen versuchte. s' Gravesande in seinen weit verbreiteten »Elementa physices« (zweite Auflage 1742) nimmt das Newton'sche Dogma ohne Begründung und ohne Kritik an. d'Alembert kommt in seinem »Traité de Dynamique« auf die ganze fundamental wichtige Frage nicht zu sprechen, und auch Lagrange übergeht sie in seiner sonst so tiefdringenden »Mécanique analytique« einfach mit Stillschweigen. Carnots Unterscheidung zwischen absoluter und relativer Bewegung ist die gewöhnliche inhaltslose.<sup>1)</sup> Laplace lässt es wenigstens dahingestellt, ob der absolute Raum als real oder als ideal zu betrachten sei, gibt aber dann durch eine ontologische Begründung des Trägheitsgesetzes den Beweis, dass er sich der Tragweite der Frage nicht klar bewusst ist.<sup>2)</sup>

Poisson macht auf die gänzliche Unerkennbarkeit der absoluten Bewegungen aufmerksam,<sup>3)</sup> was aber auch ihn nicht hindert, das Trägheitsgesetz so zu begründen, dass es für jede relative Bewegung gleich gut gelten würde, wenn der Beweis richtig wäre. Auf derartige verfehlte Begründungsversuche, wie sie sich auch bei d'Alembert und Anderen vorfinden, komme ich bei Euler näher zu sprechen.

Coriolis definirt die absolute Bewegung als eine solche in Bezug auf »feste Punkte«. <sup>4)</sup> Das Gehler'sche »Physikalische Wörterbuch« lehrt nach einer ganz zutreffenden Kritik der Begriffe »Absoluter Ort« und »Absolute Bewegung« (Artikel Bewegung Bd. I. S. 915 ff.) Folgendes: »Es ergibt sich sonach gleichsam von selbst, dass man bei der Bestimmung des Begriffes der absoluten Bewegung nicht allzu ängstlich an der Bedeutung des Ausdruckes: absoluter Ort, und dessen Veränderung hängen darf, indem sie vielmehr auf dem Gegensatze gegen relative Bewegung beruht. Hiernach besteht also, wie Hutton (Dictionary II. 73) richtig angibt, die absolute Bewegung in der Veränderung des einen Ortes und dem Uebergange in einen anderen, wenn man sowohl jenen als auch diesen absolut und ohne ihr Verhältniss (ihre Relation) zu einem dritten Orte oder Gegenstände be-

1) Principes fondamentaux de l'équilibre et du mouvement. § 24.

2) Mécanique céleste. Tome I. Part. I. Livre I. Ch. I. p. 3. (1799).

3) Traité de Mécanique, II<sup>ème</sup> éd. 1833. Tome I. p. 1.

4) Traité de la Mécanique des corps solides, III<sup>ème</sup> éd. 1844.

trachtet. Jede Bewegung ist daher absolut, wenn sie nicht in dieser letzteren Beziehung genommen wird, oder nicht relativ ist.

Dass hier die eigenthümliche dynamische Färbung der Newton'schen »absoluten Bewegung« völlig verflogen ist, sieht man auf der Stelle. Und doch hat die Unterscheidung zwischen absoluter und relativer Bewegung, wenn irgend welchen, nur dynamischen Werth. In der bloßen Phoronomie ist sie nicht am Orte. Sie hat sich hier nur durch eine einseitige Beachtung dessen eingeschlichen, was Newton über die »Eigenthümlichkeiten« der absoluten Bewegung geschrieben und in einem ganz anderen Sinne geschrieben hat, als seine Ausleger es verstanden haben (s. o. S. 398 f.). Sie könnte durch die Unterscheidung zwischen »primärer« und »secundärer« Bewegung sehr zweckmäßig ersetzt werden, überall, wo sie in dem von Hutton angegebenen Sinne angewandt wird.

Dass man sich in der betrachteten Periode von mathematischer Seite im allgemeinen wenig Scrupel über den Begriff der absoluten Bewegung gemacht hat, dazu mag die Laplace'sche Theorie der invariablen Ebene Viel beigetragen haben. Wenn auch der Fixsternhimmel veränderlich ist, die invariabele Ebene nimmt doch eine feste Lage im »absoluten Raume« ein, und sie ist, wenngleich nur mittelbar, an etwas Materielles gebunden. Der absolute Raum ist nur ein Wort, welches dahinter steht. Mit dieser und ähnlichen sehr bedenklichen Vermengungen theoretischer und praktischer Gesichtspunkte mag man sich beruhigt haben. Dass man sich über die fundamental so wichtige Frage nach dem Unterschiede zwischen absoluter und relativer Bewegung vielfach, ja meistens ganz hinweggesetzt hat, bestätigt uns auch K. Fr. Gauß in einem von Göttingen den 29. September 1837 an Möbius geschriebenen Briefe<sup>1)</sup> mit den folgenden Worten: ». . Für diejenigen, die gern Alles aus dem höchsten und allgemeinsten Gesichtspunkt betrachten, scheint mir in allen Schriften (über Bewegungslehre) »zu wenig auf die Unterscheidung des absoluten und der relativen Räume eingegangen zu werden . . . . Ich gebe übrigens gern zu, dass es nicht ganz leicht ist, gleich von vornherein Alles aus dem höheren Standpunkt eines über der mate-

1) Mitgetheilt von C. Neumann in den Sitzungsberichten der Kgl. Sächs. Gesellsch. d. Wissensch. Math.-Phys. Classe, Bd. XXXI. p. 61 f.



riellen Welt stehenden Geistes darzustellen, und dass die Hülfe, welche die Haarspaltereien der sogenannten Metaphysiker geben, nur eine sehr ungenügende sein möchte.

Wenn sonach meistens die klare Einsicht in das Problem, ja vielfach sogar das Bedürfniss nach einer solchen fehlte, so muss es doppeltes Interesse erregen, wenn ein Mann wie Euler sich aufs angelegentlichste mit unserer Frage beschäftigt hat. Fassen wir darum seine Auseinandersetzungen näher ins Auge.

### § 1. Euler.

Leonhard Euler hat sich in drei verschiedenen Schriften über die Unterscheidung zwischen relativer und absoluter Bewegung ausführlich ausgesprochen, in seiner »Mechanica« von 1736, in einer kleineren gesonderten Abhandlung »Réflexions sur l'espace et le temps«<sup>1)</sup> von 1748 und in seiner »Theoria motus« vom Jahre 1765.

In der dogmatischen Aufstellung der Begriffe des absoluten Raumes, der absoluten Zeit und der absoluten Bewegung weicht Euler von Newton nicht so sehr ab, als in den Begründungsversuchen, welche er folgen lässt. Immerhin verdienen seine Erklärungen jener Begriffe ein besonderes Interesse.

Was nun zunächst den »absoluten Raum« anlangt, so hat Euler seine Ansichten über ihn im Laufe der Zeit nicht unbeträchtlich geändert. In der »Mechanica« gesteht er, dass man sich von einem (real existirenden) absoluten Raume und seinen »festen« Marksteinen (als solchen) nicht einmal eine bestimmte Idee bilden kann (Tom. I. § 7), und lässt dementsprechend die Frage nach seiner Realität oder Idealität unentschieden. »Ob er existirt oder nicht, kümmert uns nicht, wir fordern vielmehr nur, dass man sich zur Betrachtung der absoluten Ruhe und Bewegung einen derartigen Raum vorstelle, und mit Bezug auf ihn über den Zustand der Ruhe oder Bewegung der Körper urtheile. Denn am angemessensten wird sich die Berechnung so einrichten lassen, dass wir im Geiste von der Welt abstrahiren, uns einen unendlichen und leeren Raum vorstellen und annehmen, dass

---

1) Histoire de l'Académie Royale des sciences et belles lettres, 1748. Tome IV, Berlin 1750, p. 324—333.

die Körper in ihm ihre Orte einnehmen« (§ 8). Aber vorstellen kann man sich unzählige beliebig gegeneinander bewegte Räume, welche dynamisch doch keineswegs gleichberechtigt sind; und es fehlt also noch eine nähere Bestimmung. Diese Unbestimmtheit des ganz ohne Rücksicht auf die gegebene Welt gedachten Raumes mag Euler später bemerkt haben, und er ist nun in dem Aufsätze von 1748 bestrebt, die Realität des Raumes nachzuweisen und damit den Betrachtungen der Dynamik ein gleichsam solideres Fundament zu geben. In der »Theoria motus« bleibt er diesem Standpunkte treu.

Auch über die Zeit ist Euler nicht immer derselben Meinung gewesen. Während er in der »Mechanica« die Frage nach der relativen und absoluten Zeit übergeht, sucht er in seinen späteren Schriften die Realität der Zeit in Strenge zu erweisen und damit den Begriff der absoluten Zeit als nothwendige Grundlage der Mechanik zu rechtfertigen.

Ueber die Bewegung hat Euler eine Reihe von Erwägungen angestellt, welche der Newton'schen Darstellung nicht nur zur weiteren Begründung, sondern auch zur Ergänzung dienen sollen. Seine Besprechung des Unterschiedes zwischen absoluten und relativen Bewegungen ist viel systematischer als diejenige seines großen Vorgängers. Er führt aus, wie es der relativen Bewegungen eines Körpers unendlich viele verschiedene geben könne (M. § 12),<sup>1)</sup> wie die relative Bewegung mit der absoluten nur dann übereinstimme, wenn das Bezugsobject absolut ruht, und wie man sonst absolute und relative Bewegungen nicht verwechseln dürfe (M. §§ 10 sq. Th. m. § 99). Die Begriffe der absoluten Ruhe und Bewegung, meint er, seien die wahren, echten, denn sie allein seien den Gesetzen der Bewegung angepasst (M. § 7). Insbesondere sei das Gesetz der Trägheit nicht für beliebige relative Bewegungen, sondern nur für absolute Bewegungen gültig, oder doch nur für relative Bewegungen in Bezug auf solche Körper, die im absoluten Raume entweder ruhen oder geradlinig und gleichförmig fortschreiten (M. §§ 59. 69. 77. Th. m. §§ 84. 99sq.). Dass auf Grund der Bewegungsgesetze die absolute Bewegung nicht ganz unzweideutig festzustellen sei, d. h. dass es nicht

---

1) M. = »Mechanica«, Tom. I., R. = »Réflexions . . .«, Th. m. = »Theoria motus«, Tom. I.

möglich sei, die absolute Ruhe von der geradlinigen gleichförmigen absoluten Translation dynamisch zu unterscheiden, gibt Euler selber zu (M. § 80). Er tröstet sich über diesen Mangel der Erkenntniss mit der Bemerkung, dass es für die Mechanik vollständig genügt, die relativen Bewegungen in Bezug auf solche Körper zu betrachten, welche im absoluten Raume ruhen oder ohne Drehung geradlinig und mit beliebiger constanter Geschwindigkeit fortschreiten (M. § 82). Denn ob ein Körper von dieser Art ist, lasse sich auf Grund der Bewegungsgesetze empirisch feststellen, und in Bezug auf derartige Körper seien dieselben Bewegungsgesetze in Geltung, wie in Bezug auf den absoluten Raum. Ja, Euler empfiehlt hier sogar ausdrücklich als Mittel zur Vereinfachung der Probleme, nach Gutdünken bald diesen geradlinig und gleichförmig fortschreitenden Körper, bald jenen gegen ihn bewegten zum Bezugsobjecte zu machen. Zur Kritik dieser Ausführungen ist nach dem Vorigen nichts Neues zu sagen. Zu einer Theorie der Inertialsysteme in unserem Sinne fehlt insbesondere das wesentliche Zugeständniss, dass die geradlinige Bewegung sich selbst überlassener Punkte — wie sie das Beharrungsgesetz in seiner gewöhnlichen Fassung lehrt — für drei Individuen einer Gruppe solcher Punkte Sache einer bloßen Convention in Gemäßheit des methodologischen Simplicitätsprincips und dann erst für die übrigen Individuen Ergebniss der Forschung ist. Dass Euler dieses Zugeständniss nicht machte, steht in engem Zusammenhange mit der ihm wie seinem ganzen Zeitalter und theilweise selbst noch der neuesten Zeit geläufigen Anschauung, als lasse sich das Trägheitsgesetz in seiner gewöhnlichen Fassung rein apriorisch begründen. Diese Anschauung bildet geradezu die Grundlage aller seiner Betrachtungen über relative und absolute Bewegung und verdient darum eine eingehende Kritik.

Das Beharrungsgesetz hatte, wie wir gesehen haben, bei Galilei und bei Newton zwar die Rolle eines speculativ-inductiv gewonnenen Principes gespielt, aber in seiner allgemeinsten kosmodynamischen Fassung ein durchaus nur teleologisches Gepräge angenommen. In dieser Fassung war es ein empirisch nicht zu controlirender Glaubenssatz teleologischer Weltanschauung. Wie es nun überhaupt zu den Entwicklungsgesetzen der Naturwissenschaft gehört, dass die teleologischen Erklärungen der Phänomene allmählich

durch causale Erklärungen verdrängt werden, so wurde insbesondere auch das Bedürfniss nach einer causalen Begründung des Beharrungsgesetzes an Stelle der teleologischen immer allgemeiner; und Euler ist einer der ersten Mathematiker, welche dieses Bedürfniss zu befriedigen gesucht haben.<sup>1)</sup>

Eulers Causal deduction des Trägheitsgesetzes ist nicht immer eine und dieselbe geblieben, allein es hätte für uns gegenwärtig wenig Interesse, sie in ihrer Verwandlung zu verfolgen (M. §§ 56. 63. 65. Th. m. §§ 83. 86). Nur die letzte Ausführung in der »Theoria motus« ist für uns von Bedeutung. Hier heißt es, ein einmal absolut ruhiger sich selbst überlassener Körper müsse in der absoluten Ruhe verharren, weil er nach allen Seiten gleichviel Grund zur Bewegung hätte. Ein absolut bewegter sich selbst überlassener Körper müsse immer einer geraden Linie folgen, denn es sei kein Grund vorhanden, dass er nach der einen Seite eher als nach der anderen abweiche. Seine Bewegung müsse ferner gleichförmig sein, denn jedes andere Gesetz über den zeitlichen Verlauf derselben sei willkürlich und mit unzähligen davon verschiedenen ganz gleich vernunftgemäß, sodass es vor keinem den Vorzug verdiene.

Die Unhaltbarkeit dieser und ähnlicher von anderen Mathematikern versuchter Deductionen ist schon von anderer Seite nachgewiesen worden. Sehr beachtenswerth ist die Bemerkung Wundts, dass allen diesen Versuchen bei Lichte betrachtet doch das teleologische principium simplicitatis zum Hintergrunde dient. »Warum gibt es keinen Grund, aus dem ein Körper eher nach der einen als nach der anderen Seite, sondern nur in gerader Richtung sich bewegen soll? Doch offenbar nur, weil es am einfachsten ist, dass er die gerade Richtung einschlägt . . . . Der Fehler des Scheinbeweises liegt darin, dass er aus der gleichen Möglichkeit von Bewegungen, die nicht neben einander bestehen können, ihrer aller Unmöglichkeit folgert«. Der Satz vom zureichenden Grunde »dient bloß, um das Princip der Simplicität zu verstecken«. <sup>2)</sup>

1) Bei Philosophen, z. B. Hobbes, finden sich causale Ableitungen schon weit früher, ohne aber hier mit dem Probleme des Bewegungsbegriffes in irgend welchem Zusammenhange zu stehen.

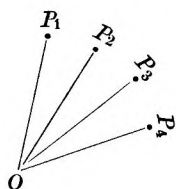
2) W. Wundt, Die physikalischen Axiome und ihre Beziehung zum Causalprincip. 1866. p. 39f. Vgl. auch p. 48f.

Aber sehen wir einmal ganz hiervon ab, so lassen sich gegen Eulers Deductionsversuch von seinem eigenen Standpunkte aus die schwersten Bedenken geltend machen. Euler geht, wie ich nachher zeigen werde, aus von dem Bewegungsbegriffe, welcher Bewegung und relative Ortsveränderung schlechthin identificirt. Er deducirt nun das Trägheitsgesetz auf die angegebene Weise. Sodann zeigt er, dass dieses Gesetz für Bewegungen in dem bis dahin von ihm angewandten Sinne im allgemeinen nicht gilt, und folgert schließlich, dass sein Bewegungsbegriff der Correctur bedürfe, dass er nicht der »wahre« sei. Er kommt so zu der Annahme des absoluten Raumes. Halten wir scharf an diesem Gedankengange fest und verlieren wir Eulers Ausgangspunkt nicht aus dem Auge, so machen wir die überraschende Entdeckung, dass Eulers Deductionsversuch nichts Geringeres ist, als ein Versuch, einen entweder inhaltslosen oder sichtlich falschen Satz a priori zu erweisen. Denn von Eulers eigenem ursprünglichen Standpunkte aus betrachtet ist jede Angabe über Bewegungen ohne gleichzeitige Angabe des Bezugssystemes inhaltslos. Wenn also das Gesetz dem Beweise ohne Angabe eines Bezugssystemes vorangestellt wird, so hat es keinen Sinn, immer betrachtet aus Eulers eigenem ursprünglichen Standpunkte. Oder wenn man die mangelnde Angabe des Bezugssystemes so deuten wollte, dass jedes beliebige Bezugssystem zu Grunde gelegt werden dürfe, so wäre das Gesetz positiv unrichtig. Euler deducirt also a priori einen Lehrsatz, welcher nach seinen eigenen Grundsätzen als entweder sinnlos oder unrichtig zu betrachten ist; sein Versuch, auf Grund der Deduction dann weiterhin den ursprünglich vorausgesetzten Bewegungsbegriff zu corrigiren, erinnert uns, unbeschadet aller Ehrfurcht, die wir dem Genius des unsterblichen Mathematikers zollen, aufs lebhafteste an Münchhausens Versuch, aus dem Sumpfe ans Land zu entkommen.

Das Beharrungsgesetz in der von uns vorgeschlagenen aufgeklärten Fassung steht allerdings nicht außer Beziehung zum Causalprincip, aber diese Beziehung ist wesentlich verschieden von derjenigen, welche von Euler und Anderen angenommen worden ist. Als Wurzeln des Satzes haben zu gelten: erstens das methodologische Princip der Simplicität, zweitens das erkenntnisstheoretische Princip der Causalität, und endlich drittens die physikalische Erfahrung.

Ohne Angabe eines bestimmten Bezugssystemes, wodurch die Bahnen sich selbst überlassener materieller Punkte erst bestimmte werden, ist ein Axiom, welches diesen Bahnen bestimmte Gestalten zuschreibt, von vornherein unmöglich. In der Bestimmung des Bezugssystemes lasse ich mich nun von dem methodologischen Princip der Simplicität leiten. Die geradlinige Bewegung von  $n$  Punkten in Bezug auf ein System ist Sache einer bloßen Convention über dieses System, so lange  $n \leq 3$  ist. Wir fassen nun drei sich selbst überlassene Punkte  $P_1, P_2, P_3$  ins Auge und zwar der Einfachheit halber solche, die gleichzeitig vom gleichen Raumpunkte projicirt worden sind. Diese Punkte werden mit Bezug auf ein beliebiges Coordinatensystem, das man zu Grunde legt, drei in einem Punkte zusammenlaufende und im allgemeinen krummlinige Bahnen stetig beschreiben. Der Einfachheit halber legen wir nun ein solches System zu Grunde, in welchem diese Bahnen insbesondere geradlinig werden. Solcher Systeme gibt es auch noch unendlich viele; nachdem man aber einmal eine Auswahl unter ihnen getroffen hat, bleibt das gewählte System,  $J$ , unverändert ein bestimmtes — vorausgesetzt, dass die drei Fundamentalpunkte  $P_1, P_2, P_3$  nicht in einer Geraden liegen. Folglich ist es uns nun auch erlaubt, über die Bahnen anderer sich selbst überlassener Punkte relativ zu  $J$  eine Aussage zu machen: und hier tritt nun das Causalprincip in seine Rechte ein.

Verstehen wir unter  $P_4$  einen beliebigen vierten sich selbst überlassenen Punkt, der aber mit  $P_1, P_2, P_3$  gleichzeitig vom selben Raumpunkte ausgegangen ist, so wird dieser neue Punkt relativ zu  $J$  eine



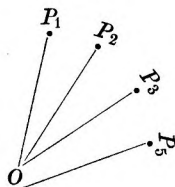
Bahn beschreiben, welche durch den Ursprung  $O$  der Punkte  $P_1, P_2, P_3$  hindurchgeht. Da nun für den Punkt  $P_4$  die äußeren Bedingungen des Geschehens genau die nämlichen sind, wie für  $P_1, P_2, P_3$ , und da die Bahnen dieser drei Punkte relativ zu  $J$  geradlinig sind, so hat man guten Grund zu vermuthen, dass auch die Bahn von  $P_4$  im Systeme  $J$  geradlinig sein werde.

Damit ist der räumliche Theil des Gesetzes für einen besonders einfachen Fall aus dem Causalgesetze deducirt. Doch darf nicht übersehen werden, dass auf die empirische Bestätigung trotz dieser Deduction großes Gewicht zu legen ist. Die letztere setzt nämlich bei Lichte betrachtet voraus, dass die besondere Rich-



tung, welche  $P_4$  beim Austritt aus dem Punkte  $O$  hat, ohne Einfluss auf die Gestalt seiner weiteren Bahn ist, und diese Voraussetzung kann, so nahe sie auch liegen mag, doch keineswegs als selbstverständlich gelten.

Soll der räumliche Theil des Gesetzes nun gar in seiner ganzen Allgemeinheit aus dem Causalgesetze deducirt werden, so müssen noch weitere Voraussetzungen hinzutreten. Es sei  $P_5$  ein ganz beliebiger sich selbst überlassener Punkt, der also nicht wie  $P_4$  an die Bedingung gebunden sein soll, mit  $P_1$ ,  $P_2$ ,  $P_3$  gleichzeitig am gleichen Orte gewesen zu sein. Dann ist ersichtlich, dass im allgemeinen die Bahn von  $P_5$  im Systeme  $J$  nicht durch  $O$  hindurchgehen wird. Soll man also auf die geradlinige Bewegung von  $P_5$  aus der geradlinigen Bewegung der Punkte  $P_1$ ,  $P_2$ ,  $P_3$  schließen, als mit welchen  $P_5$  die gleichen äußeren Bedingungen des Geschehens theilt, so muss man von der neuen Voraussetzung ausgehen, dass der Durchgang durch  $O$  für die Bahngestalt nicht wesentlich ist. Diese Voraussetzung kann aber eben so wenig, ja noch weniger als die vorhin erwähnte für selbstverständlich gelten.



Man wird hiernach überhaupt die causale Deduction des Gesetzes nicht als seiner empirischen Bestätigung ebenbürtig, geschweige denn überlegen ansehen dürfen. Nur in dem Sinne darf sie Werth und Berechtigung beanspruchen, in welchem Wundt überhaupt allen Begründungen a priori Werth und Berechtigung beimisst: »Die erkenntnistheoretische Begründung hat nicht die Erfahrung zu ersetzen, sondern sie soll Rechenschaft geben über den wahren Grund jener Evidenz, die wir gewissen Erfahrungsgesetzen beilegen.«<sup>1)</sup>

Was hier über den räumlichen Theil des Gesetzes und seine Deduction gesagt ist, lässt sich so leicht und so genau auf den zeitlichen Theil desselben übertragen, dass es unnöthig wäre, darauf besonders einzugehen. Man braucht nur statt dreier Fundamentalpunkte einen einzigen zu Grunde zu legen, an Stelle der geradlinigen die gleichförmige Bewegung und an Stelle der »Richtung« die »Geschwindigkeit« einzusetzen, so geht aus der für den dreidimensionalen Raum ausge-

1) W. Wundt, Logik, Bd. I. S. 561.



fürten Erörterung die analoge Erörterung für die eindimensionale Zeit von selbst hervor. <sup>1)</sup>

Kehren wir nach diesem Excurs zu Euler zurück. Den Versuch, aus der apriorischen Geltung des Trägheitsgesetzes die Berechtigung, ja die Nothwendigkeit und alleinige Richtigkeit der Begriffe der absoluten Zeit, des absoluten Raumes und der absoluten Bewegung zu deduciren, hat Euler mit besonderer ins Einzelste gehender Sorgfalt in seiner Abhandlung vom Jahre 1748 ausgeführt. Besondere Beachtung verdient es, wenn er hier auf die Realität des absoluten Raumes daraus schließt, dass ohne Annahme des letzteren das reelle Gesetz der Trägheit unbegreiflich, ja im allgemeinen unrichtig wäre; ein Schluss, den er auch vom Raum auf die Zeit überträgt. Beide Argumentationen fallen in sich zusammen mit der Erkenntniss, dass das Gesetz in der von Euler hier vorausgesetzten gewöhnlichen Fassung thatsächlich nicht nur nichts Reelles, sondern sogar schlechthin unhaltbar ist. Gerade Euler aber hätte sich angesichts seines eigenen ursprünglichen Standpunktes dieser Erkenntniss consequenter Weise nicht verschließen dürfen.

Von Eulers Gründen, warum ohne Voraussetzung des realen absoluten Raumes das Trägheitsgesetz unbegreiflich sei, erfordert immerhin einer noch eine besondere Erwägung. Nur im völlig leeren Raume, so ist der Grundgedanke von »Theoria motus« § 76, kann ein Körper sich selbst überlassen sein; das Trägheitsgesetz fordert also, dass wir einen in Wahrheit vollkommen isolirten Körper betrachten, über dessen Bewegung zu urtheilen aber nur Sinn hat, wenn wir einen absoluten Raum voraussetzen. Diese Argumentation verliert ihr Gewicht, sobald wir bedenken, dass der sich selbst überlassene Körper (materielle Punkt) der Mechanik eine mathematische Fiction ist und bloß als solche Anspruch auf Bedeutung hat. Ich will nur an ein geometrisches Analogon erinnern. Aus der geometrischen Fiction eines ausdehnungslosen Punktes als solchen wird Niemand auf eine unendliche Theilbarkeit der Materie schließen. Ganz ebenso unberechtigt ist aber Eulers Schluss von der dynamischen Fiction eines sich selbst über-

---

1) Der vorstehende Excurs rechtfertigt sich aus ähnlichen Gründen, wie jener, welchen wir an einer früheren Stelle anlässlich der Newton'schen Fassung des Beharrungsgesetzes eingeschoben haben. Vgl. o. S. 392 Anmerkung.

lassen Punkten auf einen realen absoluten Raum. Doch sehen wir einmal hiervon ab, so ist offenbar der Ausspruch des Trägheitsgesetzes für einen isolirten Körper auch darum von zweifelhafter Berechtigung, weil es sich in der Anwendung allemal um Gruppen von Körpern (materiellen Punkten) handelt, und weil der ganze Gehalt des Gesetzes unverkennbarer Weise darin besteht, dass alle sich selbst überlassene Punkte mit Bezug auf ein Raumsystem und eine Zeitscala geradlinig und gleichförmig bewegt sind.

Außer den im Vorhergehenden entkräfteten Argumenten, welche sich auf die Geltung des Trägheitsgesetzes stützen, hat Euler noch eine Reihe anderer Argumente für den absoluten Raum ins Feld geführt, welche aber nicht minder unhaltbar sind. So beruft er sich (Th. m. §§ 79 sq.) darauf, dass auch ein isolirter Körper nothwendig entweder (objectiv) bewegt oder ruhig sei. Denn derselbe könne nicht beides zugleich und ebenso wenig keins von beidem sein. Die *petitio principii* ist hier offenkundig. Wer consequent auf Eulers ursprünglichem (erst noch zu corrigirendem) Standpunkte verharret, wird einen völlig isolirten und auch nicht auf ein ideales Raumsystem bezogenen Körper weder für bewegt, noch für ruhig gelten lassen; denn was keinen Ort hat, kann auch keine Ortsveränderung und auch nicht das in Verharren am Orte bestehende eigentliche Gegentheil einer solchen aufweisen. In einem idealen Raumsysteme aber kann der Körper bewegt oder ruhig sein, ganz wie man will. Man muss folglich, um Eulers Prämisse anzuerkennen, bereits einen realen absoluten Raum annehmen, womit die ganze Deduction hinfällig wird. Höchst wahrscheinlicher Weise hat sich Euler hier durch eine Nachwirkung des trivialen Bewegungsbegriffes hinters Licht führen lassen. Im trivialen Sinne ist ja freilich ein Ding schlechthin entweder bewegt oder ruhig; aber die Wissenschaft operirt nicht mit dem Bewegungsbegriffe des gewöhnlichen Lebens, und sie darf ihn am allerwenigsten in der Festlegung ihrer Fundamente in Anwendung bringen.

Zu wiederholten Malen habe ich bereits behauptet, dass Euler selbst ausgeht von dem Bewegungsbegriffe, welcher Bewegung und relative Ortsveränderung identificirt. Hiervon überzeugt man sich am sichersten durch nähere Betrachtung der »Theoria motus«. Im ersten Capitel dieses Werkes (»Betrachtung der Bewegung im allgemeinen«)

wird die Bewegung durchaus als ein relatives Phänomen hingestellt. Die Bezugnahme auf einen absoluten Raum heißt hier eine »bedenkliche Abstraction«, welche vor der Hand wenigstens noch zu verschmähen sei (§ 2). Anderwärts wird gesagt: »Es ist nicht offenbar, was die sogenannte absolute Ruhe sein soll, welche von dem Begriffe eines derartigen (Bezugs-) Körpers getrennt ist« (§ 8).

Nur aus vereinzelt Andeutungen ersieht man schon, dass Euler selbst den in diesem ersten Capitel eingenommenen Standpunkt nicht für endgültig, sondern nur für provisorisch angesehen wissen will. Er führt als Pädagog hier seinen Leser zunächst auf einen klaren und leicht verständlichen Standpunkt, um ihn von da aus im zweiten Capitel (»Ueber die inneren Principien der Bewegung«) eines Besseren zu belehren, um ihn zu überführen, dass jener Standpunkt doch noch nicht der richtige sei, vielmehr der Correctur bedürfe. Dass und warum ihm dies nicht gelingt, haben wir klar erkannt. Man kann eine unzweideutige Definition wohl durch Entgegenstellung des Sprachgebrauches, wenn dieser selbst consequent ist, aber niemals aus sich selbst heraus bekämpfen. Die Widersprüche, welche Euler an der Definition der Bewegung als relativer Ortsveränderung so unangenehm vermerkt, liegen in Wahrheit gar nicht in jener Definition, sondern in einer falschen Anwendung, welche man bei oberflächlicher Betrachtung davon machen könnte. Dass aus der Veränderung einer bloßen geometrischen Relation noch kein dynamischer Schluss gezogen werden kann, wenn nicht der dynamische Charakter des Bezugssystemes selbst schon bekannt ist, dies ist eine unbestreitbar richtige Erkenntniss, welcher aber durch Einführung der Begriffe des Inertialsystemes und der Inertialzeitscala vollständig und auf die einfachste Weise Rechnung getragen wird. Auf Grund dieser beiden Hilfsbegriffe wird man dann Bewegung und relative Ortsveränderung durchgehends identificiren können, ohne dem Irrthume zu verfallen, als seien zwei geometrisch äquivalente Bewegungen auch von gleichem dynamischen Werthe.

Die Antinomie, welcher der Gegensatz zwischen den Grundanschauungen der beiden ersten Capitel der »Theoria motus« entspringt, ist darnach keineswegs unvermeidlich. Freilich darf nicht geleugnet werden, dass diese Antinomie dem wissenschaftlichen Bewusstsein außerordentlich nahe liegt, und dass es Mühe kostet, sie in wahrhaft

befriedigender Weise zu lösen. Sehr belehrend ist in dieser Richtung der von Kant in den »Metaphysischen Anfangsgründen der Naturwissenschaft« unternommene Lösungsversuch, auf welchen wir nun zu sprechen kommen.

## § 2. Kant.

Schon in seiner vorkritischen Periode hat sich Kant mit der Frage nach dem Bewegungsbegriffe näher abgegeben. Es interessirt uns aber hier nur, dass er in seinem »Neuen Lehrbegriff der Bewegung und Ruhe« den »absoluten Raum« als eine unbegreifliche und darum nutzlose Voraussetzung der Bewegungslehre betrachtet,<sup>1)</sup> während er sich später durch Eulers Aufsatz vom Jahre 1748 bestimmen lässt, in seiner Abhandlung »Von dem ersten Grunde des Unterschiedes der Gegenden im Raume«<sup>2)</sup> den realen absoluten Raum und die absolute Bewegung doch als nothwendige, wiewohl unbegreifliche Grundannahmen der Bewegungslehre anzuerkennen. Die Beschwerlichkeit, wie sie in der Auffassung dieser Begriffe liegt, »zeigt sich allerwärts, wenn man über die ersten Data unserer Erkenntniss noch philosophiren will, aber sie ist niemals so entscheidend als diejenige, welche sich hervorthut, wenn die Folgen eines angenommenen Begriffs der augenscheinlichsten Erfahrung widersprechen«. So scheint also Kant gegen Ende seiner vorkritischen Periode ziemlich genau auf dem Eulerschen Standpunkte gestanden zu haben. Erst im Verlaufe seiner kritischen Periode ändert er seine Ansicht und sucht der Antinomie auszuweichen, ohne indess dabei zu dem erreichbaren Ziele zu gelangen. Fassen wir nun diesen Versuch, so wie er uns in den »Metaphysischen Anfangsgründen der Naturwissenschaft« (1786) vorliegt, genau ins Auge.

»Bewegung eines Dinges ist« nach Kant »die Veränderung der äußeren Verhältnisse desselben zu einem gegebenen Raum«

1) 1758. Vgl. Smtl. Werke hrsg. v. Kirchmann Bd. VII. Abth. II. S. 421.

2) 1768. Smtl. Werke hrsg. v. Kirchmann Bd. V. Abth. III. S. 121 ff. Kants stereometrische Gründe für den realen absoluten Raum kommen hier nicht in Betracht. Die dynamischen entlehnt er von Euler, ohne aber über Andeutungen hinauszugehen.

(192).<sup>1)</sup> Der Grund, warum Kant die Bewegung nicht als Veränderung des Ortes zu einem gegebenen Raume definirt, ist einzig dieser, dass der Ort eines Körpers nur in einem Punkte bestehe und — wie z. B. der Ort einer rotirenden Kugel, als gleichbedeutend mit dem Ort ihres Mittelpunktes — unverändert bleiben könne, während doch der Körper sich bewegt. Wenn man aber für »Ort« den einfachen Ausdruck »Lage« einsetzt, so fällt dieses Bedenken hinweg; denn die Vorstellung der Lage eines Punktsystemes ist so viel als die Vorstellung der Orte seiner sämtlichen Punkte.

Besonderes Gewicht liegt nun in Kants Definition auf der Forderung, dass der Bezugsraum der Bewegung gegeben sein soll. Er soll ein der Empfindung zugänglicher Raum, ein materieller Raum sein. Wir beziehen die Bewegungen eines Dinges, so meint Kant, zunächst auf einen dasselbe umfassenden<sup>2)</sup> materiellen Raum, wie z. B. die Bewegung der in einem Schiffe befindlichen Gegenstände auf dessen Wandung. Einen solchen umfassenden Raum können wir aber immer wieder mit Rücksicht auf einen noch umfassenderen Raum betrachten, in Bezug auf welchen er, weil materiell, (im allgemeinen) beweglich ist; und in Gedanken dehnt sich diese fortgesetzte Relation in einen unendlichen Process aus, dessen Endziel, d. h. den allumfassenden und darum unbeweglichen Raum, wir nimmer erreichen, aber immerhin als Idee hinstellen können. Der ideale allumfassende Raum wird, da er uns nicht materiell gegeben ist, ohne alle Materie gedacht und heißt darum der »absolute Raum«. »Einen absoluten Raum, d. i. einen solchen, der, weil er nicht materiell ist, auch kein Gegenstand der Erfahrung sein kann, als für sich gegeben annehmen, heißt Etwas, das weder an sich, noch in seinen Folgen (der Bewegung im absoluten Raum) wahrgenommen werden kann, um der Möglichkeit der Erfahrung willen annehmen, die doch jederzeit ohne ihn angestellt werden muss. Der absolute Raum ist an sich Nichts und gar kein Object, sondern bedeutet nur einen jeden anderen

1) Seitenzahlen der Smtl. Werke, hrsg. von Kirchmann, Bd. VII. Abth. I.

2) Hier liegt noch eine letzte Spur des Aristotelischen Ortsbegriffes vor, in der freieren Form, welche er bereits bei Copernicus angenommen hatte. Dass es uns psychologisch nahe liegt, den umfassenden materiellen Raum zum Bezugsobjecte zu machen, und nicht den umfassten, rührt von unserm Streben nach Simplicität her. Eine logische Nothwendigkeit ist aber nicht vorhanden.

relativen Raum, den ich mir außer dem gegebenen jederzeit denken kann, und den ich nur über jeden gegebenen ins Unendliche hinausrücke, als einen solchen, der diesen einschließt und in welchem ich den ersteren als bewegt annehmen kann . . . . . Ihn zum wirklichen Dinge zu machen heißt . . . die Vernunft in ihrer Idee missverstehen« (191).

So hat sich also der absolute Raum bei Kant in eine »bloße Idee« verflüchtigt (297). Und noch mehr. Er ist gar nicht einmal ein bestimmter, wie der absolute Raum Newtons. Da er vielmehr so viel gilt, als »jeder andere relative« allumfassend gedachte Raum, und da er folglich Nichts ist, als der Inbegriff zahlloser gegeneinander beliebig bewegter Räume, so gelten mit Bezug auf ihn keine bestimmten Gesetze der Bewegung. Wir werden sehen, in welcher Weise weiterhin Kant seiner Ansicht treu zu bleiben sucht, dass Erfahrung über die Bewegung »jederzeit ohne ihn« (den absoluten Raum) »angestellt werden muss«.

So weit hat Kant die Relativität aller erfahrungsmäßigen Bewegung zum Ausdrucke gebracht, und zwar ohne irgend welche Einschränkung. Er kommt nun im Weiteren auf die Correlativität oder Reciprocität der Bewegung zu sprechen und stellt den Grundsatz auf: »Eine jede Bewegung, als Gegenstand einer möglichen Erfahrung, kann nach Belieben als Bewegung des Körpers in einem ruhigen Raume, oder als Ruhe des Körpers und dagegen Bewegung des Raumes in entgegengesetzter Richtung mit gleicher Geschwindigkeit angesehen werden« (199). In der Anmerkung zu diesem Grundsatz macht Kant gewisse Einschränkungen, auf deren Kritik ich aber erst nachher an passenderer Stelle zurückkomme. Davon abgesehen enthält jene Anmerkung den besonders bemerkenswerthen Satz, dass die absolute Bewegung »für uns Nichts« ist (»wenn man gleich einräumen wollte, der absolute Raum sei an sich Etwas«).

Indem ich nur auf die wesentlichsten Angriffspunkte der Erörterungen Kants eingehe, wende ich mich zu seiner Auffassung des Trägheitsgesetzes, welche für seine weiteren Erwägungen von der größten Wichtigkeit ist. Auch nach Kant ist das Trägheitsgesetz in seiner üblichen Fassung von apriorischer Gewissheit, weil es dem Satze vom zureichenden Grunde entspringt. Freilich wendet er nicht mehr die Phrase an, es liege für den sich selbst überlassenen Punkt



kein Grund vor, nach der einen oder anderen Seite von der geraden Linie bez. von der gleichförmigen Bewegung abzuweichen. Der Kern seiner Ableitung ist vielmehr der, dass Richtung und Geschwindigkeit die bestimmenden Elemente eines Bewegungszustandes sind (194), und darum nicht ohne äußere Ursache geändert werden können (277). Die unbewusste teleologische Berufung Eulers und Anderer auf das Princip der natürlichen Simplicität ist demnach bei Kant vermieden. Gleichwohl wird dessen Causalableitung von ganz ähnlichen Einwürfen getroffen, wie die Deduction Eulers. Kant stellt seiner Begründung das Gesetz wörtlich in der folgenden Fassung voran:

»Ein jeder Körper beharrt in seinem Zustande der Ruhe oder Bewegung in derselben Richtung und mit derselben Geschwindigkeit, wenn er nicht durch eine äußere Ursache genöthigt wird, diesen Zustand zu verlassen«.

Nun frage ich aber: In Bezug worauf? In Bezug auf welchen gegebenen Raum? Denn »Bewegung ist die Veränderung der äußeren Verhältnisse zu einem gegebenen Raume«. Doch nicht in Bezug auf jeden beliebigen gegebenen Raum! Das wäre ja — mit Kant vorausgesetzt die gegenseitige Drehbarkeit gegebener Räume — schlechterdings unmöglich! Oder meint Kant seinen absoluten Raum? Doch auch mit Bezug auf ihn gibt es keine bestimmten Gesetze der Bewegung und »jede Erfahrung muss ohne ihn angestellt werden« (s. o.). Kant bleibt uns die Antwort schuldig. Sein Beweis des Trägheitsgesetzes würde auf jegliche relative Bewegung gleich gut passen, und doch ist es ein Ding der Unmöglichkeit, dass in jeder beliebigen relativen Bewegung eines sich selbst überlassenen Punktes Richtung und Geschwindigkeit unverändert bleiben. Eine Aussage, welche nach den ausdrücklich zu Grunde gelegten Principien von vornherein entweder als inhaltslos oder als positiv unwahr gelten muss, kann man natürlicher Weise nicht durch Berufung auf das Causalgesetz mit axiomatischer Evidenz ausstatten. Ein Räthsel bleibt es, wie Kant dies hat übersehen können.

Wenden wir uns nun zu dem vierten und letzten Hauptstücke des Werkes, der »Phänomenologie«, welche uns am eingehendsten beschäftigen wird. Es kommt hier Kant in der Hauptsache darauf an, zusammenhängend auseinanderzusetzen, in welcher Weise aus der



bloßen »Erscheinung« (nicht mit »Schein« zu verwechseln), als welche uns die Bewegung allein gegeben ist, durch unsere Verstandesthätigkeit »Erfahrung« wird. In der bloßen Erscheinung, so meint er, ist die Bewegung zweifellos reciprok. Aber ist sie es auch durchweg in der Erfahrung? Kant hat diese Frage schon vorher einmal im Vorübergehen gestreift und bringt nun hier die systematische Beantwortung.

Auch für die Erfahrung gültig ist seiner Meinung nach die Reciprocität nur bei der geradlinigen Bewegung, nicht aber bei der krummlinigen Bewegung oder Kreisbewegung, wie sie der Kürze wegen meist genannt wird. Hören wir, wie Kant selbst seiner Ansicht hierüber Ausdruck und Begründung verleiht.

#### »Lehrsatz«.

»Die Kreisbewegung einer Materie ist, zum Unterschiede von der entgegengesetzten Bewegung des Raums, ein wirkliches Prädicat derselben; dagegen ist die entgegengesetzte Bewegung eines relativen Raums, statt der Bewegung des Körpers genommen, keine wirkliche Bewegung des letzteren, sondern, wenn sie dafür gehalten wird, ein bloßer Schein«.

#### »Beweis«.

»Die Kreisbewegung ist (so wie jede krummlinige) eine continuirliche Veränderung der geradlinigten, und da diese selbst eine continuirliche Veränderung der Relation in Ansehung des äußeren Raumes ist, so ist die Kreisbewegung eine Veränderung der Veränderung dieser äußeren Verhältnisse im Raume, folglich ein continuirliches Entstehen neuer Bewegungen. Weil nun nach dem Gesetze der Trägheit eine Bewegung, sofern sie entsteht, eine äußere Ursache haben muss, gleichwohl aber der Körper in jedem Punkte dieses Kreises (nach ebendemselben Gesetze) für sich in der den Kreis berührenden geraden Linie fortzugehen bestrebt ist, welche Bewegung jener äußeren Ursache entgegenwirkt, so beweist jeder Körper in der Kreisbewegung durch seine Bewegung eine bewegende Kraft. Nun ist die Bewegung des Raumes, zum Unterschiede der Bewegung des Körpers, bloß phoronomisch und hat keine bewegende Kraft. Folglich ist das Urtheil, dass hier entweder der Körper oder der Raum in ent-

gegengesetzter Richtung bewegt sei, ein disjunctives Urtheil, durch welches, wenn das eine Glied, nämlich die Bewegung des Körpers, gesetzt ist, das andere, nämlich die des Raumes, ausgeschlossen wird; also ist die Kreisbewegung eines Körpers, zum Unterschiede von der Bewegung des Raums, wirkliche Bewegung, folglich die letztere, wenn sie gleich der Erscheinung nach mit der ersteren übereinkommt, dennoch im Zusammenhange aller Erscheinungen, d. i. der möglichen Erfahrung, dieser widerstreitend, also Nichts als bloßer Schein« (294 f.).

Indem wir unsere Kritik dieser Beweisführung nur auf deren Hauptpunkte ausdehnen, tritt uns als ein erstes Bedenken die wohl-berechtigte Frage entgegen: Kant redet in dem vorangestellten Lehrsatze von kreisförmigen Bewegungen; auf was für ein Relations-object bezieht er diese Bewegungen, d. h. »Veränderungen der äußeren Verhältnisse zu einem gegebenen Raume«? Denn eine Bewegung, welche in Bezug auf ein Object kreisförmig ist, ist dies in Bezug auf andere denkbare Objecte keineswegs. Kant musste sich nach einem so radicalen Ausspruche des Relativitätsgesetzes selber insgeheim jene Frage vorlegen, er macht aber zunächst keinen Versuch, darauf zu antworten.

Der Kern der Beweisführung ist nun, wie man sieht, mit dem Newton'schen Gedankengange aufs nächste verwandt. Weil die Bewegung des Raumes bloß phoronomischen, die des Körpers dagegen dynamischen Charakter besitzt, so sind beide Vorstellungen nur phoronomisch, nicht dynamisch äquivalent. Sehen wir einmal davon ab, dass der Vordersatz dieser Folgerung nur so weit richtig ist, als der zu Grunde gelegte Raum inertuell ruht — eine Bestimmung, welche auszudrücken sich Kant wohl hütet — so werden wir doch nun und nimmermehr zugeben, dass aus der dynamischen Verschiedenheit der beiden in der Erscheinung als gleichwerthig gegebenen reciproken Bewegungen der Schluss zu ziehen sei, als schließe die Annahme der einen die Annahme der anderen aus. Kant, der dieser Folgerung sich hingibt, hat ja doch selber aufs schärfste die Bewegung als einen rein phoronomischen Vorgang definirt, er darf also, wenn er anders consequent sein will, bei Beurtheilung von Bewegungen als solchen gar keine dynamischen Rücksichten nehmen. Sein Verfahren ist nicht besser als das von Euler angewandte, welches wir oben (S. 651) kritisirt haben.

Aber selbst wenn es wahr wäre, dass die beiden Annahmen der Bewegung des Körpers und der Bewegung des Raumes sich wegen ihrer Verschiedenheit ausschließen, so wäre Kants Schluss auf die Wirklichkeit der Bewegung des Körpers und die Scheinbarkeit der Bewegung des Raumes nicht einwurfsfrei. Warum sollte man nicht das Verhältniss umdrehen können? Nach Kants Erwägungen ist gar nicht abzusehen, warum nicht vielmehr die Bewegung des Raumes als wirklich und die des Körpers als scheinbar zu betrachten sei! Um in dieser Richtung zu einer Bestimmtheit der Auswahl zu gelangen, müsste man die Bewegung etwa als etwas specifisch Dynamisches definiren, und dies hat am allerwenigsten Kant gethan. Sonderbarer Weise übersieht er obenein völlig, dass er auch die geradlinige Bewegung, sofern sie nämlich ungleichförmig ist, unter die gleichen Gesichtspunkte hätte stellen müssen, wie die krummlinige: die dynamischen Kriterien sind doch hier und dort dieselben. Spätere Philosophen haben in dieser Richtung eine größere Consequenz geübt.<sup>1)</sup>

In einer kleinen Anmerkung zu dem soeben besprochenen Lehrsatze 2. beruft sich Kant auf Newton: »Uebrigens kann Newtons Scholium zu den Definitionen, die er seinen Princ. Philos. Nat. Math. vorausgesetzt hat, gegen das Ende, hierüber nachgesehen werden, aus welchem erhellt, . . . dass also eine Bewegung, die eine Veränderung der äußeren Verhältnisse im Raume ist, empirisch gegeben werden könne, obgleich dieser Raum selbst nicht empirisch gegeben und kein Gegenstand der Erfahrung ist, welches Paradoxon aufgelöset zu werden verdient«.

Kant gibt also, so scheint es hier auf den ersten Blick, wenn auch widerstrebend, doch absolute Bewegung als Gegenstand der Erfahrung zu, im Widerstreit gegen die oben citirte Behauptung, dass die absolute Bewegung »für uns Nichts« ist. Inwieweit dieser auf

---

1) So beschränkt J. Fr. Fries das Gesetz der Reciprocität auf die geradlinige und gleichförmige Bewegung, worin sich ihm E. F. Apelt anschließt. Man vgl. Fries, Die mathematische Naturphilosophie, Heidelberg 1822. S. 422 f. System der Metaphysik 1824. S. 370. Apelt, Metaphysik 1857. S. 555 ff. Vom absoluten Raume hält Fries ebenso wenig wie Kant, ich meine, vom absoluten Raume Newtons.

den ersten Blick sich darbietende Anschein einer genaueren Betrachtung Stand hält, wird sich alsbald herausstellen.

In der besonders wichtigen »Allgemeinen Anmerkung zur Phänomenologie« kommt Kant zunächst ausführlicher auf die Stellung zu sprechen, welche er dem absoluten Raume in der Bewegungslehre angewiesen hat. Er nennt denselben hier einen Vernunftbegriff und zwar einen nothwendigen Vernunftbegriff. »Wie kommen wir aber zu diesem sonderbaren Begriffe, und worauf beruht die Nothwendigkeit seines Gebrauchs?« so fragt er sich. »Er kann kein Gegenstand der Erfahrung sein; denn der Raum ohne Materie ist kein Object der Wahrnehmung, und dennoch ist er ein nothwendiger Vernunftbegriff, mithin Nichts weiter als eine bloße Idee« (297). Nun erörtert Kant ganz wie früher die Relativität aller erfahrungsgemäßen Bewegung und kommt wiederum zu dem Resultat, dass »absolute Bewegung . . . schlechthin unmöglich sei«; dass man aber gerade, um diese Erkenntniss nie zu vernachlässigen, der Idee des absoluten Raumes bedürfe, weil diese uns lehre, nie einen relativen Raum als an sich ruhig zu betrachten, und darum die Relativität der auf letzteren bezogenen Bewegung zu bedenken (299). Dass der absolute Raum, so wie er hier vorgestellt wird, mit dem absoluten Raume Newtons und der heutigen Dynamik gar Nichts als den Namen gemein hat, davon haben wir uns schon überzeugt. Er ist wieder Nichts als der Inbegriff aller möglichen gegeneinander bewegten und ohne Materie gedachten Räume. Vor dem Vorurtheile aber, als ob eine gegebene Bewegung eine nicht relative sei, wird man vollständig bewahrt durch die beständige Erinnerung daran, dass zwei gegebene relative Bezugsräume im allgemeinen beliebig gegeneinander bewegt sein können: ganz überflüssig ist dazu ein Kunstwort, wie der »absolute Raum«, welches (zumal wegen der ganz anderen Bedeutungen, in denen es noch gebraucht wird) nur dazu dienen kann, die klarsten Dinge unklar zu machen.

Große Schwierigkeiten erkennt weiterhin Kant selber in seiner Auffassung der Kreisbewegung.

»Die Kreisbewegung, weil sie . . . auch ohne Beziehung auf den äußeren empirisch-gegebenen Raum als wirkliche Bewegung in der Erfahrung gegeben werden kann, scheint doch in der That absolute Bewegung zu sein. Denn die relative in Ansehung des äußeren Raums (z. B. die Achsendrehung der Erde relativ auf die Sterne des

Himmels) ist eine Erscheinung, an deren Stelle die entgegengesetzte Bewegung dieses Raums (des Himmels) in derselben Zeit, als jener völlig gleichgeltend, gesetzt werden kann, die aber nach diesem Lehrsatz in der Erfahrung durchaus nicht an deren Stelle gesetzt werden darf, mithin auch jene Kreisdrehung nicht als äußerlich relativ vorgestellt werden soll, welches so lautet, als ob diese Art der Bewegung für absolut anzunehmen sei« (299 f.).

Das kann Kant nicht gelten lassen, wenn er nicht seiner Ansicht von der Unerfahrbarkeit der absoluten Bewegung widersprechen will. Er fährt denn auch fort: »Allein es ist wohl zu merken: dass hier von der wahren (wirklichen) Bewegung, die doch nicht als solche erscheint, die also, wenn man sie bloß nach empirischen Verhältnissen zum Raume beurtheilen wollte, für Ruhe könnte gehalten werden, d. i. von der wahren Bewegung, zum Unterschiede vom Schein, nicht aber von ihr als absoluten Bewegung im Gegensatze der relativen die Rede sei, mithin die Kreisbewegung, ob sie zwar in der Erscheinung keine Stellen-Veränderung, d. i. keine phoronomische, des Verhältnisses des Bewegten zum (empirischen) Raume zeigt, dennoch eine durch Erfahrung erweisliche continuirliche dynamische Veränderung des Verhältnisses der Materie in ihrem Raume, z. B. eine beständige Verminderung der Anziehung durch eine Bestrebung zu entfliehen, als Wirkung der Kreisbewegung, zeige und dadurch den Unterschied derselben vom Schein sicher bezeichne«. Die Bewegung einer isolirten und durch Centrifugalkräfte abgeplatteten Kugel soll darnach in Wirklichkeit auf den mit ihr selbst verbundenen Raum zu beziehen sein und mit Rücksicht auf denselben in weiter Nichts bestehen als in der empirisch zugänglichen Veränderung ihrer Verhältnisse, nämlich in der gestaltlichen Veränderung, welche durch die Centrifugalkräfte bedingt ist. Kant übersieht hier zweierlei. Erstens, wie will er, wenn er die Bewegung der isolirten Kugel in dem auseinandergesetzten Sinne auffasst, eine klare Vorstellung mit der Behauptung verbinden, dass die Kugel »rotirt« und in einer bestimmten Zeit, etwa in vierundzwanzig Stunden einmal sich umdreht? Da hilft ihm die Bezugnahme auf den eigenen Raum der Kugel selbst gar Nichts. Zweitens hat man es doch hier, vorausgesetzt die »gleichförmige« Umdrehung der Kugel, nicht mit einer »continuirlichen Veränderung« im Sinne der Kant'schen

Bewegungsdefinition, sondern mit einem vollendeten Verändertsein zu thun. Wo bleibt überdies hier die Forderung der Definition, wonach es die »äußeren Verhältnisse« eines bewegten Dinges sein sollen, die sich verändern? Im Weiteren erklärt sich Kant noch deutlicher. »Dass aber diese Bewegung, ob sie gleich keine Veränderung des Verhältnisses zum empirischen Raume ist, dennoch keine absolute Bewegung, sondern continuirliche Veränderung der Relation der Materien zu einander, obzwar im absoluten Raume vorgestellt, mithin wirklich nur relative und sogar darum allein wahre Bewegung sei, das beruht auf der Vorstellung der wechselseitigen continuirlichen Entfernung eines jeden Theiles der Erde (außerhalb der Achse) von jedem andern ihm in gleicher Entfernung vom Mittelpunkte im Diameter gegenüber liegenden« (301). Wenn man jedoch an Kants eigener Bewegungsdefinition festhalten soll, so darf man nicht einmal die »wechselseitige continuirliche Entfernung« der diametralen Theile Bewegung nennen, denn sie besteht nicht in einem Entferntwerden, sondern in einem Entferntwordensein.<sup>1)</sup> Vollends aber wäre es ein Missbrauch, wegen jener »Entfernung« von Bewegung der Kugel als eines Ganzen zu reden, wie doch Kant will; denn er selbst lehrt: »die Bewegung eines Dinges ist mit der Bewegung in diesem Dinge nicht einerlei« (193). Es handelt sich keineswegs bei Kant »bloß darum zu zeigen, dass bei der wahren Kreisbewegung durchaus nichts Absolutes erkannt werde«,<sup>2)</sup> sondern auch darum zu zeigen, dass die »wahre Bewegung« der isolirten Kugel mit der von Kant aufgestellten Bewegungsdefinition in Einklang stehe, und dieser Versuch ist als vollständig misslungen zu bezeichnen.

Man kann Kants Erörterungen über den Unterschied zwischen wahrer und scheinbarer Bewegung durch keinerlei Interpretation von

---

1) Sofern man von dem Gedanken ausgeht, dass die diametralen Theilchen beim Nachlassen der Bewegung sich nähern würden, so ist es doch nur eine uneigentliche Redeweise, wenn man ihnen darum ein beständiges Entferntwerden zuschreibt. Wollte man aber die Termini der Kant'schen Bewegungsdefinition in allen möglichen uneigentlichen Bedeutungen auffassen, so würde das zu den größten Ungeheuerlichkeiten führen. Man mag sonst so viel uneigentliche Ausdrücke anwenden, als man will, wenn sich nur die Bedeutung aus dem Zusammenhange ergibt. Aber in der Aufstellung und Anwendung von Definitionen? Nimmermehr. Das hieße, auf Definitionen überhaupt verzichten.

2) A. Stadler, Kants Theorie der Materie S. 267.



dem Vorwurfe innerer Widersprüche reinigen. Die »Metaphysischen Anfangsgründe« bezeichnen einen unverkennbaren Fortschritt in der Entwicklung des Bewegungsbegriffes, insofern sie in Uebereinstimmung mit der Vernunftkritik den realen absoluten Raum Newtons zu einer bloßen Idee verflüchtigt haben; ihr Ende hat aber die Entwicklung damit noch nicht erreicht. Auf dem Wege zum Ziele aufgehalten wurde Kant durch seine Ansicht von der apriorischen Geltung der üblichen Fassung des Beharrungsgesetzes, welche ihm so unmittelbar einleuchtend erschien, dass er die Frage nach dem Bezugssysteme ganz unterdrückte. Hiermit war das Uebel geschehen. Denn nun musste die Kreisbewegung schlechthin (ohne zu fragen, worauf sie sich beziehe) als eine wirkliche betrachtet werden, weil ja das Trägheitsgesetz schlechthin (ohne zu fragen, worauf es sich beziehe) apriorische Geltung besaß. Nachdem aber einmal dieser Schritt gethan war, so musste man entweder die mit Recht verbannte »absolute Bewegung« zurückrufen oder der ursprünglichen Bewegungsdefinition mit einem Scheine Rechts untreu werden, wollte man anders nicht in ganz offenem Widerspruch mit sich selbst gerathen. Kant hat den zweiten Ausweg vorgezogen; die neuen Widersprüche, in die er sich dabei unvermeidlicher Weise verwickelt hat, konnten einer aufmerksamen Untersuchung nicht verborgen bleiben. Um aber allen Widersprüchen mit Sicherheit zu entgehen, braucht man nur zweierlei zu thun. Erstens wird man nicht so ängstlich an der — aus einer Verwechslung von Theorie und Praxis hervorgegangenen — Bestimmung festhalten, dass der Relationsraum gegeben, materiell sein soll. Man wird sich vielmehr auch mit bloß gedachten Räumen begnügen dürfen, welche nur — wie das Inertialsystem — conventionell irgendwie auf Materie fundirt sein müssen, damit der Uebergang von der Theorie zu der Praxis unmittelbar möglich ist. Zweitens wird man die Begriffe des Inertialsystemes und der Inertialzeitscala einführen und damit allen voreiligen Schlüssen von Phronomie auf Dynamik ein Ende machen.

---



## Capitel IV.

### Der Bewegungsbegriff in Gegenwart und Zukunft.

Die neueste Entwicklungsperiode des Bewegungsbegriffes, an deren Betrachtung wir nun herantreten, erfordert eine von den bisherigen Perioden einigermaßen abweichende Form der Darstellung. Wenn bis zu diesem Punkte die Autoren fast ausnahmslos ihrer Zeitfolge nach und die meisten von ihnen auch ziemlich ausführlich zu Worte gekommen sind, so rechtfertigte sich dies vor allem dadurch, dass die langsam und stetig mit der Zeit fortschreitende Entwicklung des Begriffes, so wie sie in jenen vergangenen Zeiten sich vollzog, auf keine andere Weise so klar und gleichzeitig der Kritik so zugänglich sich hätte beschreiben lassen. In der neuesten auf kaum zwei Jahrzehnte zusammengedrängten Periode kann von einer mit der Zeit fortschreitenden Entwicklung in jenem Sinne nicht die Rede sein. Aus diesem Grunde scheint es geboten, von hier an die systematische Anordnung des Stoffes an Stelle der chronologischen treten zu lassen, zumal auf diese Weise manche sonst kaum vermeidliche Wiederholung in Wegfall kommt.

Die Lösungsversuche, welche das Problem des Bewegungsbegriffes in der gegenwärtigen Periode erfahren hat, lassen sich am einfachsten nach der Beziehung ordnen, in welcher sie zu den metaphysischen Annahmen des »absoluten Raumes« und der »absoluten Bewegung« stehen. Ich unterscheide darnach folgende Classen von Versuchen:

1) Versuche, die metaphysischen Annahmen des »absoluten Raumes« und der »absoluten Bewegung« im wesentlich unveränderten Newton'schen Sinne, wenn auch ohne Newtons teleologische Grundanschauungen, beizubehalten.

2) Versuche, die absolute Bewegung beizubehalten und den absoluten Raum durch eine physikalische Hypothese zu stützen.

3) Versuche, die Annahme der absoluten Bewegung, wenn auch nicht diejenige des absoluten Raumes, zu retten.

4) Bisherige Versuche, beide Annahmen ganz fallen zu lassen.

5) Versuch des Verfassers, beide Annahmen durch zweckmäßige Conventionen zu ersetzen.

## 1.

Gehen wir zunächst auf die gemachten Versuche, die Newton'sche Lehre wesentlich unverändert beizubehalten, näher ein. Diese Bestrebungen finden begreiflicher Weise besondere Vertretung in der englischen Fachlitteratur, wo sie vor allem durch gewisse Paragraphen von Thomsons und Taits »Treatise on Natural Philosophy«<sup>1)</sup> deutlich zum Ausdrucke gekommen sind. Bei uns hat sich von Physikern unter anderen Friedrich Zöllner in dem ange deuteten Sinne ausgesprochen. Von den Philosophen endlich dürfte in erster Linie Otto Liebmann zu nennen sein, welcher den absoluten Raum und die absolute Bewegung als Postulate der mathematischen Vernunft bezeichnet und ihnen, wenngleich nicht transcendente Realität, so doch transcendentale Geltung zugestanden wissen will.<sup>2)</sup>

Neue Begründungsversuche für die Newton'sche Lehre, d. h. andere, als schon von Newton selbst, von Euler und von Kant unternommen worden, finden wir kaum vor. Es ist ganz im Sinne Eulers, wenn z. B. Liebmann behauptet: »Nun! Wer das Trägheitsgesetz anerkennt, der gibt absolute Bewegung zu; und wer diese leugnet, stößt jenes um.«<sup>3)</sup> Da nun durchweg auch hier, wie bei Euler, von dem Begriffe der Bewegung als bloßer relativer Ortsveränderung ausgegangen wird, um von diesem Fundamente aus die Unhaltbarkeit jenes Begriffes nachzuweisen, so bedarf es keiner neuen Widerlegung solcher sich im Kreise drehenden Begründungsversuche (S. 651. 662).

Mehr als diese Begründungsversuche interessiren uns gewisse anderweitige von Seiten neuerer Verfechter des Newton'schen Dogmas vollzogene Erwägungen, die den Zweck haben, das Dunkel zu lichten, welches die metaphysischen Voraussetzungen des absoluten Raumes und der absoluten Bewegung als solche über die mechanischen Principien ausbreiten. Man hält an diesen Voraussetzungen fest, aber man will gleichzeitig ein klar verständliches mathematisch-physikalisches Aequivalent für dieselben bieten. Hierher gehört vor

1) Vgl. zum voraus: Preface, p. VII.

2) An Liebmann schließen sich an: Fritz Schultze, Philosophie der Naturwissenschaft, Bd. II. S. 94f., und Chr. Sigwart, Logik, Bd. II. S. 315 ff.

3) Zur Analysis der Wirklichkeit, S. 120 (1. Aufl.).

allem die Auseinandersetzung des Thomson-Tait'schen Werkes,<sup>1)</sup> inwiefern es möglich sei, wenn auch nicht feste Punkte, so doch feste Richtungen »im Raume« zu bestimmen, ungeachtet dieser letztere ja an sich unserer Erfahrung unzugänglich sei. Als feste Richtung im Raume habe z. B. diejenige der Verbindungslinie zweier gleichzeitig aus demselben Raumpunkte projectirter und dann sich selbst überlassener materieller Punkte zu gelten. Wenn auch in Praxis damit nicht viel anzufangen sei, so habe man hier doch gleich gute, allerdings complicirtere Mittel zur Verfügung, um feste Richtungen »im Raume« zu bestimmen: es folgt der Hinweis auf die Laplace'sche invariable Ebene.

Dass diese Ueberlegungen auf der gewöhnlichen Formulirung des Beharrungsgesetzes beruhen, welche eine Bezugnahme auf »den Raum«, d. h. eben keine menschlicher Erfahrung zugängliche Bezugnahme einschließt, ist klar: in der That wird auch bei Thomson und Tait das Gesetz ganz in der gewöhnlichen Fassung ausgesprochen. Es wäre eine sehr überflüssige Wiederholung früherer Erwägungen, wollte man die Schwächen jener Anschauungen noch besonders hervorheben. Nur soll noch auf die Inconsequenz hingewiesen werden, welche darin liegt, wenn man, wie Thomson und Tait, den absoluten Raum als metaphysische Voraussetzung festhält und die absolute Zeit durch »particulare Determination«<sup>2)</sup> eliminirt: dass Raum und Zeit in dieser Hinsicht parallel zu setzen sind, darauf hat schon Newton mit Recht hingewiesen.

Wenn Zöllner<sup>3)</sup> betont, dass die Vorstellung eines realen absoluten Raumes freilich nicht aus extensiven, sondern aus intensiven Empfindungen, insbesondere aus der Empfindung von Druckveränderungen abzuleiten sei, so liegt darin bei Lichte betrachtet doch Nichts, was gerade die Realität jenes sogenannten absoluten Raumes plausibler machen könnte. Es ist nicht der geringste Grund vorhanden, weshalb man jenes Inertialsystem, auf welches man nur Bezug zu nehmen braucht, um die fraglichen Druckveränderungen aus Be-

1) A. a. O. Vol. 1. P. I. §§ 245—249.

2) Vgl. »Philos. Studien«, Bd. II. S. 275, sowie »Sitzungsberichte der Kgl. Sächs. Gesellsch. d. Wissenschaften«, 1885. S. 338, Randnote.

3) »Wissenschaftliche Abhandlungen«, Bd. II. S. 892 ff.

schleunigungen oder Drehungen gegen dasselbe abzuleiten, als ein reales nach außen projeciren sollte. In den Fragen allerdings, zu deren Vorbereitung jene Betrachtungen Zöllners dienen sollen, mag ein realer absoluter Raum nöthig sein; in der mechanischen Erkenntniss aber ist er durchaus überflüssig, seine Annahme sogar nur verdunkelnd, statt aufklärend.

## 2.

Um den Newton'schen realen absoluten Raum von der ihm anhaftenden Unfassbarkeit zu befreien, hat ihn C. Neumann<sup>1)</sup> gewissermaßen materialisirt, m. a. W. an Materie des Weltraumes in hypothetischer Weise angeknüpft. Ich habe diesen Vorschlag bereits in früheren Arbeiten (s. o. S. 390) in Betracht gezogen. Die Hypothese des concret-existirenden Körpers Alpha soll nach Neumann der Bewegungslehre in ähnlicher Weise zum Fundamente dienen, wie die Hypothese des Lichtäthers der Optik oder die Hypothese der elektrischen Fluida der Elektrizitätslehre. Dabei soll, gemäß der herrschenden aufgeklärten Anschauung über das Wesen der Hypothese, allen diesen Annahmen keineswegs ausgemachte Wahrheit, ja nicht einmal ein angebbarer Grad der Wahrscheinlichkeit, vielmehr nur das Verdienst zugeschrieben werden, dass wir auf Grund ihrer große Classen von Erscheinungen aus wenigen allgemeinen Principien zu deduciren vermögen. Endlich muss noch hervorgehoben werden, dass Neumann auch auf der Hypothese concreter Materialität des Körpers Alpha keineswegs mit absoluter Strenge besteht. Statt des Körpers Alpha kann auch ein immaterielles System Alpha angenommen werden, welches aber dann an gegebene concrete Materie angeheftet gedacht wird und immerhin noch Gegenstand der Hypothese bleibt: »So könnte z. B. das System Alpha constituirt

---

1) Ueber die Principien der Galilei-Newton'schen Theorie, Leipzig 1870; vgl. zu Obigem besonders noch S. 21. 9 ff. 24 f. 26. 27. dieser 1869 gehaltenen Antrittsvorlesung. Dieselbe enthält seit Kants »Metaphysischen Anfangsgründen« die ersten ausführlicheren Reflexionen über unser Thema, und verdient um so größeres Interesse, als sie zu den meisten neueren Auslassungen über den Gegenstand den Anstoß gegeben hat. Unter den Philosophen schließt sich, wie hier beiläufig bemerkt werden mag, A. Riehl (Der philosophische Kriticismus, Bd. II. Th. 1. Cap. II. S. 92 ff.) ziemlich eng an Neumann an.

sein durch die drei sogenannten Hauptträgheitsachsen irgend eines nicht starren (sondern in seiner Gestaltung sich mit der Zeit ändernden) materiellen Körpers. Ja man könnte (das Bedürfniss nach Einfachheit würde dazu hindrängen) die Behauptung wagen, dass das System Alpha repräsentirt sei durch die Hauptträgheitsachsen des Weltalls (nämlich durch die Hauptträgheitsachsen sämmtlicher im Universum enthaltenen Materie). Nur würde leider eine solche Behauptung so gut wie ohne Inhalt sein, insofern keine Möglichkeit vorhanden sein dürfte, sie durch empirische Data sei es zu befestigen, sei es zu erschüttern.

Dass die Neumann'sche Hypothese (in der einen oder anderen Form) vollkommen am Platze wäre, wenn man durchaus nichts Passenderes an ihre Stelle setzen könnte, ist a. a. O. zugestanden worden. Zugleich wurde aber auch gezeigt, wie man sie durch eine unserm Erkenntnissbedürfniss viel adäquatere Hülfsvorstellung, nämlich die Convention des Inertialsystemes, überflüssig zu machen im Stande ist.

Zum Beweise der Nothwendigkeit, alle Bewegungen der Körper nicht auf andere gegebene Körper des Weltalls, sondern auf einen unbekanntem hypothetischen Körper (System) Alpha zu beziehen, bedient sich Neumann eines einfachen Beispielles, welches ungeachtet großer Aehnlichkeit mit einem der früher besprochenen, von Newton herangezogenen Beispiele doch besondere Besprechung verdient. Ein rotirender Weltkörper aus flüssiger Materie nimmt durch Centrifugalkräfte die abgeplattete Gestalt eines Sphäroids an. Wenn nun plötzlich alle übrigen Himmelskörper außer ihm vernichtet würden, so müsste, meint Neumann, nach der Auffassung der Bewegung als einer bloßen relativen Ortsveränderung, die Bewegung des Sternes aufhören, er müsste also in den Zustand der Ruhe übergehen, folglich mit einem Male Kugelgestalt annehmen. Diese Consequenz ist aber absurd, mithin muss die vorangestellte Ansicht vom Wesen der Bewegung unrichtig sein. Wir müssen, so wird weiter gefolgert, um jene Absurdität zu vermeiden, das Princip des unbekanntem Körpers (Systems) Alpha einführen und nur auf diesen die Bewegungen beziehen.

Gegen diese Folgerung lassen sich nun aber doch sehr gewichtige Bedenken geltend machen. Wenn die übrigen Himmelskörper außer dem rotirenden Stern verschwinden, so hört zwar seine Bewegung

relativ zu ihnen auf. Aber abgesehen davon, dass doch ein consequenter Vertreter der Lehre von der Relativität der Bewegung im Rechte wäre, die Ruhe des nunmehr isolirten Sternes reichlich für ebenso bestreitbar wie seine Bewegung zu erklären (s. o. S. 358) — abgesehen hiervon folgt doch aus dem Verschwinden der äußeren umgebenden Himmelskörper noch keineswegs Inertialruhe des Sternes, folglich auch nicht Uebergang in die Kugelgestalt. Unser ideales Inertialsystem brauchen wir nicht aus dem Auge zu verlieren, so viel wir auch die Umgebung des Sternes hinwegdenken mögen.

Die bleibende Abplattung werden wir aus einer Rotation des Sternes relativ zu einem Inertialsysteme oder, wenn man lieber will, aus einer Rotation eines Inertialsystemes um den Stern in befriedigender Weise und so einfach als möglich erklären können. Wäre auch jede Möglichkeit der praktischen Constitution eines Inertialsystemes in diesem Falle ausgeschlossen, so würde dies, da sich alle Erklärungen der Dinge nicht draußen, sondern in uns abspielen, ganz gleichgültig sein. Vorausgesetzt wird lediglich, dass wir bereits ein andermal ähnliche Centrifugalerscheinungen aus Drehungen zu wirklich construirten Inertialsystemen abgeleitet haben: wer noch nie in diesen Fall gekommen wäre, würde sich über die Möglichkeit einer Erklärung jener Abplattung überhaupt keine Gedanken machen.

## 3.

Die in neuester Zeit von physikalischer Seite gemachten Versuche,<sup>1)</sup> wenn auch nicht den absoluten Raum,<sup>2)</sup> so doch die absolute Bewegung<sup>3)</sup> beizubehalten, sind, was wenigstens die dafür beigebrachten wissenschaftlichen Gründe anlangt, implicite durch das Vorige so gut wie erledigt. Da hier von einer Verinnerlichung des Bewegungsbegriffes — wonach die Lagenänderung nur äußerer Erfolg der Be-

1) Vgl. Maxwell, Substanz und Bewegung, deutsch von E. v. Fleischl, Braunschweig 1878.

H. Streintz, Die physikalischen Grundlagen der Mechanik, Leipzig 1883.

J. Thomson, Proceedings of the R. S. of Edinburgh, 1883/84. Vol. XII. No. 116. p. 568—578.

2) Vgl. Maxwell, a. a. O. S. 14. 93. Streintz, an vielen Stellen. J. Thomson, l. c. p. 573.

3) Maxwell, S. 95—99. Streintz, S. 17. Thomson p. 577.



wegung wäre (s. o. S. 340) — nicht die Rede ist, so wird man schon von vornherein diese Versuche der Inconsequenz zeihen müssen, und eine einfache Folge dieser Inconsequenz ist es denn auch, wenn die Verteidiger der absoluten Bewegung um das offene Zugeständniss des absoluten Raumes bisweilen doch nur mit genauer Noth herkommen können. Was hat man z. B. unter der absoluten »Richtung einer Linie in einem materiellen Systeme« zu verstehen, deren Constanz oder Veränderlichkeit sich nach Maxwell (a. a. O. S. 95) erkennen lassen soll —, wenn man keinen absoluten Raum zu Grunde legt?

Durchweg eigenthümlich ist diesen Versuchen, dass sie nicht eine absolute Bewegung im allgemeinsten Sinne, sondern nur eine absolute Rotation anerkannt wissen wollen. Die früherhin von uns erwiesene Thatsache, dass mit gleichem Rechte wie von einer absoluten Rotation von einer absoluten Beschleunigung bei geradlinigen Bewegungen geredet werden könnte (s. o. S. 663), wird nicht etwa nur übersehen, sondern mehrfach geradezu geleugnet.<sup>1)</sup>

Von den Erörterungen über die Nothwendigkeit der Annahme absoluter Drehbewegungen dürfte allenfalls eine von Streintz angestellte neues Interesse verdienen. Wie ich anderwärts<sup>2)</sup> auseinandergesetzt habe, bezieht sich Streintz auf sogenannte »Fundamentalkörper«, welche durch physikalische und zwar insbesondere durch gyroskopische Beobachtungen als »nicht rotirend« erkannt worden sein müssen. Mit Rücksicht auf Fundamentalkörper ist, so meint Streintz, das Beharrungsgesetz auszusprechen und sind alle Drehbewegungen, soweit sie wirklich sein sollen, zu bemessen. Die Drehbewegungen, welche so erkannt werden, sollen nun nach Streintz absolute sein, d. h. nicht etwa auf die »festen« Achsenrichtungen seiner Gyroskope sich beziehen, wie es auf den ersten Blick scheinen könnte. Dies gehe daraus hervor, »dass die Drehung von der Wahl dieser Apparate sich ganz unabhängig ergibt. Alle Beobachter, welcher (gyroskopischen) Comparse sie sich auch bedienen mögen, werden . . . dieselben Resultate erhalten. Zwei Körper, von welchen ohne gegenseitige Beziehung erkannt worden ist, dass sie Drehungen von gleicher Ge-

1) Z. B. Maxwell, a. a. O. S. 29. Streintz, a. a. O. S. 17.

2) Sitzungsberichte d. Kgl. Sächs. Gesellschaft, 1885. S. 348f. »Philosophische Studien«, Bd. II. S. 281.



schwindigkeit ausführen, werden mit einander verglichen dieses Resultat bestätigen.«<sup>1)</sup> Ich sehe aber nicht ein, wieso aus diesen Betrachtungen die behauptete Nichtrelativität der beobachteten Rotation folgen sollte. Weil man, um die Rotation eines Körpers zu ermitteln, nicht nothwendig auf einen bestimmten Apparat sich zu beziehen braucht, soll die ermittelte Rotation überhaupt keine Bezugnahme involviren. Wider einen ganz ähnlichen Fehlschluss bemerkt Mach<sup>2)</sup> sehr zutreffend: »Weil ein Papiergulden nicht nothwendig durch einen bestimmten Münzgulden fundirt sein muss, sondern durch einen beliebigen Münzgulden fundirt sein kann; so darf man nicht glauben, dass er gar nicht fundirt zu sein braucht«. Dass übrigens die verschiedenen Apparate verschiedener Experimentatoren dieselben Rotationselemente eines Körpers liefern, ist unter Zugrundelegung eines Inertialsystemes leicht daraus zu begreifen, dass alle Rotationsachsen nach dynamischen, dem Beharrungsgesetze entspringenden Theoremen feste Richtungen in jenem Inertialsysteme einnehmen müssen. Streintz freilich, welcher auf Grund der angeführten und anderer Erwägungen das Beharrungsgesetz erst noch formuliren will, muss jene Unabhängigkeit der Versuche von einzelnen besonderen Apparaten — nicht in Wirklichkeit von Apparaten überhaupt — als eine geheimnissvolle Erfahrungsthatsache hinnehmen, was in den Principien der Mechanik nicht nur höchst unelegant, sondern auch verdunkelnd ist.

## 4.

Verhältnissmäßig gering ist in der Gegenwart die Zahl Derer, welche sich durch die veralteten Begründungsversuche früherer Jahrhunderte nicht haben abhalten lassen, sowohl den absoluten Raum als auch die absolute Bewegung als unbegreifliche und überflüssige Fictionen des esprit métaphysique ganz und gar über Bord zu werfen.

Ohne nähere Beschränkung dürfte hierher überhaupt nur E. Machs<sup>3)</sup> Versuch zu rechnen sein, die Bezugnahme auf den absoluten

1) Streintz, a. a. O. S. 17.

2) E. Mach in der ersten seiner beiden sogleich anzuführenden Schriften, S. 48.

3) Die Geschichte und die Wurzel des Satzes von der Erhaltung der Arbeit, Prag, 1872. Ferner: Die Mechanik in ihrer Entwicklung historisch-kritisch darge-

Raum durch die Bezugnahme auf das All der Weltkörper zu ersetzen und an Stelle der absoluten Bewegung eines Punktes sozusagen seine mittlere Bewegung gegen das Weltall einzuführen. Diesen Vorschlag habe ich schon anderwärts <sup>1)</sup> besprochen und einer kurzen Kritik unterzogen. Nur Eins mag noch bemerkt werden. Der Grund, warum Mach sich auf die sinnlich gegebene Materie des Weltraumes bezieht, liegt darin, dass er den Uebelstand des »absoluten Raumes« vermeiden möchte, dessen wir einmal trotz aller Bemühungen »nicht habhaft werden können«. Dieser dem realen absoluten Raum mit vollstem Rechte gemachte Vorwurf trifft indess, wie Mach kaum bestreiten wird, nun und nimmermehr die von dem betrachtenden Subjecte ausgehende Convention des idealen Inertialsystemes. Dass wir aber in den letzten Gründen der Naturbetrachtung über gewisse reine Ideen einmal nicht hinwegkommen, wird von Jedermann zugestanden, und dass auch bloße Ideen in der Erklärung der Dinge zulässig sind, wird ja am allerwenigsten von der Mach'schen Grundanschauung geleugnet, welche das Wesen und die Aufgabe der wissenschaftlichen Erkenntnis darin erblickt, Phänomene und Erinnerungsbilder von Phänomenen auf die denkbar übersichtlichste Weise und überhaupt unter Berücksichtigung instinctiver Forderungen des Geistes mit einander — durch Vermittelung höherer Principien — in Einklang zu setzen.

In etwas beschränkterem Sinne scheinen mir hierher auch gewisse von Hermann Lotze <sup>2)</sup> in seiner »Metaphysik« angestellte Erwägungen zu gehören. Lotze prüft die Annahmen eines absoluten Raumes und einer absoluten Bewegung mit der größten Objectivität auf das Für und Wider (§§ 164 ff.), und kommt so zu dem Endergebniss, dass es wünschenswerth wäre, wo möglich etwas Besseres an ihre Stelle zu setzen. »Kann nun«, so fragt er weiterhin, »die Ansicht, welche dem Raume eine nur phänomenale Geltung zugesteht, zur Lösung

---

stellt, Leipzig 1883. Die in der ersten Schrift angestellten Erwägungen hat Mach bereits 1868 zu Prag mündlich ausgeführt in einer öffentlichen Vorlesung »Ueber einige Hauptfragen der Physik«. Das durch keinerlei Abhängigkeit erklärte Zusammentreffen mit Neumann bietet den besten Beweis für die Wichtigkeit und Zeitgemäßheit der von beiden Forschern angeregten Frage.

1) »Sitzungsberichte u. s. w.« 1885. S. 348. »Philosophische Studien« Bd. II. S. 272.

2) System der Philosophie, Theil II. Metaphysik (1879) §§ 161—170.

dieser Zweifel etwas Zufriedenstellendes anbieten?« (§ 167). Die Antwort des Philosophen läuft wesentlich hinaus auf einen Versuch, den realen absoluten Raum durch den Lotze'schen »phänomenalen« Raum zu ersetzen. So wird die Möglichkeit, über die Drehung oder Nichtdrehung einer isolirten Kugel zu urtheilen, dadurch plausibel gemacht, dass man sich selbst doch als Beobachter hinzuzudenken habe (§ 168f.). M. a. W. es wird ein ideales Coordinatensystem eingeführt, um die Dinge darauf zu beziehen. So unbestreitbar die Richtigkeit dieses Gedankens ist, so fehlt doch die nichts weniger als unwesentliche nähere Bestimmung über den dynamischen Charakter desjenigen idealen Coordinatensystemes, welches den absoluten Raum ersetzen soll, und man muss nothwendig die Definition des Inertialsystemes hinzufügen, um diese Lücke auszufüllen.

Wenn wir Lotzes Erwägungen nicht ohne Beschränkung hierher gerechnet haben, so geschah dies darum, weil in dem letzten der citirten Paragraphen seines Werkes (§ 170) die Meinung ausgesprochen ist, man müsse der äußeren räumlichen Bewegung als Antecedens ein inneres unräumliches Geschehen in den bewegten Dingen zuordnen, welches seinerseits freilich unbegreiflich bleibe. Es ist hier nicht der Ort, die für eine solche Annahme vorgeführten Gründe zu kritisiren. Es genügt zu bemerken, dass sie rein metaphysischer Natur sind und für die Dynamik nicht in Betracht kommen. In dieser Wissenschaft wäre die Annahme solcher innerer Zustände nicht von aufklärender, sondern im Gegentheil von verdunkelnder Wirkung.

## 5.

Einen wirklichen vollgültigen Ersatz für die veralteten metaphysischen Voraussetzungen des realen absoluten Raumes und der realen absoluten Bewegung zu liefern, unternimmt der Lösungsversuch des Verfassers. Da dieser Versuch seinen Grundzügen nach schon im Vorhergehenden entwickelt worden ist, so wird es an dieser Stelle genügen, seine Hauptpunkte kurz, aber systematisch geordnet noch einmal zusammenzufassen.

Wir haben gesehen, wie diejenige Definition der Bewegung, wonach das Wesen der letzteren in der äußeren Veränderung der relativen Lage besteht, durchaus dem Geist der Wissenschaft am nächsten

liegt. So gehen, um nur zwei der wichtigsten Beispiele anzuführen, sowohl Kant als auch Euler von ihr aus und legen sie ihren ferneren Untersuchungen zu Grunde. Wenn sie nun im Weiteren dennoch von ihr abweichen, so thun sie es nur aus Anlass besonderer Umstände, nämlich gewisser angeblich unvermeidlicher Widersprüche, in welche man durch den Gebrauch jener Definition verwickelt werde. Diese Widersprüche aber existiren, wie gezeigt worden ist, in Wirklichkeit gar nicht, und wenn man zur Ergänzung des allgemeinen Bewegungsbegriffes die Begriffe des Inertialsystemes, der Inertialzeitscala, der Inertialdrehung und der Inertialruhe einführt, so wird dadurch aufsicherste jeder falschen Anwendung des allgemeinen Bewegungsbegriffes vorgebeugt, welche den Schein innerer Widersprüche desselben nach sich ziehen könnte. Die metaphysischen Voraussetzungen des realen absoluten Raumes und der realen absoluten Bewegung werden durch diese neuen Begriffsbestimmungen in allen ihren für die Mechanik bedeutsamen Functionen vollkommen ersetzt und überflüssig gemacht.

Als grundlegende Definition der Mechanik hat darnach die folgende zu gelten:

Bewegung ist die Veränderung der relativen Lage zu irgend einem gegebenen Bezugskörper oder auch zu irgend einem bloß vorgestellten Bezugssysteme.

Bei Urtheilen über die Bewegung eines Dinges ist also, um Missverständnissen vorzubeugen, Angabe des Bezugskörpers oder Bezugssystemes erforderlich; ausgenommen sind nur solche Fälle, wo durch den Zusammenhang der Rede oder sonst irgendwie jeder Zweifel über die Bezugnahme von vornherein ausgeschlossen ist.

Nach dieser Principiensetzung fällt die althergebrachte Unterscheidung zwischen »wahrer« und »scheinbarer« Bewegung als gänzlich grundlos und überflüssig hinweg. Die tägliche Umdrehung des Firmamentes um die Erde ist genau eben so wirklich, als die tägliche Rotation der Erde, wie sie Copernicus lehrt. Ja sogar die Umwälzung der Erde und des Weltalls um den Körper eines Tanzenden ist durchaus kein bloßer Schein, sondern vielmehr eine unbestreitbare Erfahrungsthat- sache. Die Bezugnahme auf den Tanzenden ist keineswegs

unrichtig, sondern nur so unpraktisch, dass Niemand sie im Ernste der umgekehrten Bezugnahme vorziehen wird. Es sei mir gestattet, bei diesem Beispiele, zum letzten Male, auf Gegengründe Bezug zu nehmen. Man könnte gegen die Bewegung der Welt um den Tanzenden zweierlei Einwände erheben, welche auf den ersten, aber auch nur auf den ersten Blick viel Gewicht zu haben scheinen. Erstens: Wie ist es möglich, dass der Tänzer durch seine geringe Muskelkraft die ungeheure Masse der Welt um sich herumwälzt? Nach dem Princip von der Erhaltung der Flächen müsste doch er selbst dadurch in eine unendlich viel geschwindere Umdrehung gerathen! Man vergisst hier, dass das Princip von der Erhaltung der Flächen sich auf ein Inertialsystem bezieht und nur insoweit, als es dies thut, auf Wahrheit beruht: Niemand behauptet ja, dass der Tänzer inertiell-ruhig bleibe und die Welt in Inertialdrehung versetze! Zweitens: Zugegeben, der Tanzende könne die Erde in Rotation um sich versetzen, wie sollte sich diese Bewegung auf die übrigen Himmelskörper übertragen? Dazu müsste doch die Schwungkraft der Erde auf dieselben übertragen werden, was durchaus eine materielle Verbindung zwischen Erde und Himmelskörpern voraussetzen würde, welche ohne Zweifel nicht besteht! Man vergisst hier, dass nur der Uebergang aus der Inertialruhe in die Inertialdrehung, nicht aber der Uebergang aus der Ruhe in die Bewegung schlechthin Kraft erfordert. Sobald man sich dies vergegenwärtigt, fällt es einem geradezu wie Schuppen von den Augen und man erkennt aufs klarste die Haltlosigkeit des zweiten gegen die Reciprocität der »Bewegung« soeben erhobenen Einwandes. Ganz ähnlich steht es nun mit allen derartigen Einwänden, wie sie sich uns wohl gelegentlich aufdrängen können, wenn wir vorübergehend einmal unser Fundament aus dem Auge verloren haben. Sobald wir einen solchen Einwand ernstlich prüfen, entdecken wir auf einmal die alte ewige *petitio principii* darin, welche infolge der Nachwirkung des trivialen Bewegungsbegriffes anfänglich unseren Blicken verborgen blieb.

Kehren wir nach dieser Abschweifung zur Exposition der mechanischen Fundamente zurück. Als zweite grundlegende Definition der Mechanik ist diejenige des Inertialsystemes, als dritte diejenige der Inertialzeitscala aufzustellen; beide Definitionen sind, wie kaum gesagt zu werden braucht, mit dem Ausspruche des Beharrungs-

gesetzes zu verschmelzen.<sup>1)</sup> Daran haben sich dann endlich viertens und fünftens die Erklärungen der Ausdrücke »Inertialruhe« und »Inertialdrehung« anzuschließen, eine Ergänzung, durch welche jede missbräuchliche Anwendung des allgemeinen Bewegungsbegriffes unmöglich gemacht wird. (Vgl. o. S. 667.)

Das Copernicanische Weltsystem in der Fassung, worin die Bewegung des Himmels um die Erde als Schein bezeichnet wird, war den von uns entwickelten Principien zufolge als irrthümlich zu bezeichnen. Sein ganzer Wahrheitsgehalt lässt sich nunmehr auf die allerdings unanfechtbare Behauptung reduciren, dass die Erde nicht inertiell-ruhig, sondern auf gewisse Weise in Inertialdrehung begriffen ist, während das Firmament, von den verhältnissmäßig geringen Fixsterneigenbewegungen abgesehen, als inertiell-ruhig zu gelten hat. Präciser noch werden wir so sagen können: Der Schwerpunkt der von der Sonne regierten Weltkörpergruppe darf mit hinreichender Genauigkeit als inertiell-ruhig gelten; nennen wir nun dasjenige unzweideutige Inertialsystem, worin er ruht, das »heliocentrische Inertialsystem«, <sup>2)</sup> so ist relativ zu letzterem die Erde in einer zwiefachen Bewegung, nämlich einer jährlichen Revolution um jenen Schwerpunkt und einer täglichen Rotation um eine in ihr gelegene Achse von nahezu (d. h. Präcession und Nutation abgerechnet) constanter Inertialrichtung begriffen, währenddessen die nach den Fixsternen gezogenen Strahlen ihre Richtung im heliocentrischen Inertialsysteme nur äußerst langsam verändern. In dem Copernicanischen Weltsysteme mehr erblicken zu wollen, als hier auseinander gesetzt worden ist, heißt: die Grenzen menschlicher Erkenntniss überschreiten.<sup>3)</sup> In wie unange-

1) Es versteht sich von selbst, dass man hierbei in einer systematisch ausgeführten Entwicklung der mechanischen Principien von der ursprünglichen geocentrischen Fassung des Beharrungsgesetzes ausgehen würde, um von da aus durch die verschiedenen möglichen Zwischenstufen zu der vorgeschlagenen Fassung fortzuschreiten. Vgl. »Philosoph. Studien«, Bd. II. S. 267 f.

2) Das heliocentrische Inertialsystem ist ein besonders schönes Beispiel des allgemeineren »barycentrischen Inertialsystemes«, welches sich bei Betrachtung materieller Systeme vor anderen Inertialsystemen durchgängig durch besondere Vereinfachung der Rechnungen auszeichnet.

3) Ich erinnere hier an die auf denselben Gegenstand bezüglichen Worte Herbarts (Allg. Metaphysik § 296): »Jeder Mathematiker hat ein Recht, seine Gleichung zu ordnen, um sie aufzulösen. Die Anordnung ist aber nicht die Wahrheit der Gleichung; dieser kann sie Nichts geben noch nehmen«. Von dieser und



nehmer Weise sich aber eine solche Ueberschreitung rächen kann, dafür lässt sich ein merkwürdiges und hier in mehrfacher Beziehung interessantes Beispiel aus der Geschichte der Stellarastronomie anführen.

Bekanntlich nimmt die neuere Astronomie seit William Herschel (1783) eine wahre Eigenbewegung, wie aller übrigen Fixsterne, so auch unserer Sonne mitsammt ihrem ganzen Systeme an. Wer sich gegenwärtig hält, was man unter den »wahren Bewegungen« der Planeten versteht, nämlich so viel als deren Bewegung zum heliocentrischen Inertialsysteme, der wird a priori vermuthen dürfen, dass sich die »wahren Bewegungen« der Sonne und der Fixsterne auf ein solches Coordinatensystem beziehen, mit Bezug worauf der Schwerpunkt des Fixsternhimmels ruht, und welches bei etwaiger dynamischer Untersuchung der allmählichen Verschiebung aller himmlischen Constellationen hinreichend genau als Inertialsystem gelten darf. M. a. W. er wird sich unter der »wahren Bewegung« der Sonne so viel denken als ihre Bewegung relativ zum »barycentrischen Inertialsysteme« des Fixsterncomplexes. Erwägt man indessen die mancherlei Methoden, welche von den Astronomen zur Ermittlung der wahren Sonnenbewegung angewandt worden sind, so überzeugt man sich, dass die Bezugnahme bei dieser Bewegung, so wie die letztere von den Astronomen gelehrt wird, ihrem Wesen nach eine ganz andere ist und höchstens durch reinen Zufall mit dem barycentrischen Inertialsystem des Fixsterncomplexes Etwas zu thun haben könnte. Nun aber hat der berühmte Astronom Argelander aus der Richtung der »wahren Sonnenbewegung« auf die Gegend am Himmel geschlossen, wo das dynamische Centrum dieser Bewegung seinen Sitz habe. Da nämlich die »wahre Bewegung« eines Planeten — in Folge der geringen Excentricität seiner Bahn — ziemlich senkrecht zu dem nach

---

einigen sich anschließenden sehr zutreffenden Bemerkungen abgesehen dürften Herbarts übrige Ausführungen über den Bewegungsbegriff hier von geringem Interesse sein. Insbesondere werden darin die dynamischen Paradoxien, welche doch gegenwärtig den Kern der ganzen Frage ausmachen, ignorirt und auf die Gründe der Gegner wird überhaupt viel zu wenig Rücksicht genommen, als dass die geäußerten Ansichten weitere Anregung hätten geben können. — Vgl. zu Obigem auch Mach, Die Mechanik S. 216: »Relativ sind die Bewegungen im Weltsystem . . . dieselben nach der Ptolemäischen und nach der Copernicanischen Auffassung. Beide Auffassungen sind auch gleich richtig, nur ist die letztere einfacher und praktischer«.



der Sonne gezogenen Vector steht, so verfiel Argelander auf den Gedanken, das dynamische Centrum der »wahren Bewegung« der Sonne — natürlich unter der (hier nicht weiter zu kritisirenden) Hypothese einer ebenfalls nahezu kreisförmigen Gestalt der Sonnenbahn — etwa  $90^\circ$  vom Zielpunkt (Scheitelpunkt, Apex) der wahren Sonnenbewegung zu suchen. Dieser Analogieschluss stützt sich auf den Gleichklang des Wortes »wahre Bewegung« in Planetentheorie und Stellarastronomie; er wäre aber doch nur dann logisch gerechtfertigt, wenn die gleichklingenden Worte auch analoge Vorgänge bezeichneten, m. a. W. wenn in Analogie zur »wahren Bewegung« der Planeten die »wahre Bewegung« der Sonne auf das barycentrische Inertialsystem des Fixsterncomplexes sich bezöge, was nach dem Vorhergehenden nicht im geringsten der Fall ist. Dieser offenkundige Trugschluss eines so hochbedeutenden Astronomen wäre unmöglich gewesen, wenn man statt von »wahrer Bewegung« bei den Planeten von heliocentrischer Inertialdrehung, bei der Sonne etwa von mittlerer Bewegung relativ zum Fixsterncomplex<sup>1)</sup> geredet hätte. Argelanders Anschauung ist nun zwar aus anderen Gründen von der Wissenschaft schon längst verworfen worden. Dennoch glaubte ich sie in Betracht ziehen zu sollen, weil sie so recht deutlich zeigt, wie gefährlich der Gebrauch solcher mysteriöser Worte, wie »wahre« und »absolute Bewegung«, in der Wissenschaft werden kann.

Nach dieser Abschweifung dürfte es schließlich noch am Platze sein, einige allgemeiner interessante dynamische Consequenzen der von mir entwickelten Anschauungen kurz anzudeuten. Abgesehen von dem Gauß'schen Princip des kleinsten Zwanges, dessen Ausspruch überhaupt kein bestimmtes Bezugssystem der Bewegung voraussetzt, sind die sämtlichen teleologisch gefärbten Hauptsätze der Dynamik, insbesondere diejenigen von der Erhaltung des Schwerpunktes, der Erhaltung der Bewegungsgröße und der Erhaltung der lebendigen Kraft, ferner der Satz von der invariablen Ebene durchweg nur gültig, sofern man ein Inertialsystem zu Grunde legt. Die Energie

---

1) Mehr als dies zu sein, kann die sogenannte »wahre« Bewegung der Sonne auf keinen Fall beanspruchen. Ich komme hierauf, wie auf die Schwierigkeiten, welche es macht, jene Art der Bewegung klar zu definiren, im Anhang dieser Abhandlung ausführlich zu sprechen.

eines materiellen Systemes ist bemerkenswerther Weise auch unter Zugrundelegung eines Inertialsystemes nichts Bestimmtes, sondern ganz von der Wahl eines einzelnen besonderen Inertialsystemes abhängig.<sup>1)</sup>

### Schlusswort.

Wir sind am Ende unserer Untersuchungen angelangt. Es dürfte sich im Laufe derselben aufs klarste herausgestellt haben, dass die von mir befürworteten Principien der Bewegungslehre sich in gleichem Maße durch ungestörte innere Harmonie wie durch eine außerordentliche Einfachheit der Gestaltung auszeichnen. Wenn ich schon aus diesen beiden Gründen von der zukünftigen Adoption jener Principien durch die Wissenschaft fest überzeugt bin, so werde ich in dieser Ueberzeugung durch einen Blick auf die vergangene Entwicklung des Bewegungsbegriffes nur bestärkt. Die von mir vorgeschlagene Modification dieses Begriffes bietet in der That nach zwei verschiedenen Seiten hin die naturgemäße ungezwungene Vermittelung zwischen gewissen bemerkenswerthen Entwicklungsformen dar, welche der Begriff früherhin durchlaufen hat. Erstens hat die Anwendung des Bewegungsbegriffes eine eigenthümliche Entwicklung durchgemacht in Hinsicht der obersten logischen oder methodologischen Principien, auf welche man dabei Bezug nahm. Die Erklärung der gegebenen Bewegungsphänomene geschah wesentlich teleologisch bei Aristoteles; causal aus einem (objectiv-)teleologisch gegründeten Princip bei Galilei und Newton; endlich causal aus einem Princip, welches selbst wieder causal begründet wurde, bei Kant. Wir haben gesehen, dass gegenwärtig sowohl die objectiv-teleologische als auch die rein causale Begründung jenes Princip nicht zu halten ist. Hier treten uns nun die vorgeschlagenen Grundlagen der Bewegungslehre in gewissem Sinne als vermittelnde entgegen, insofern sie dazu führen, die gegebenen Bewegungsphänomene causal aus einem Princip abzuleiten, welches selbst theils auf zweckmäßiger Convention, d. h. subjectiver

1) Schon Maxwell hebt mit Recht hervor, dass der uns bekannte Werth der Energie eines Körpers nichts Absolutes ist. Vgl. Substanz und Bewegung, S. 103.

Teleologie, theils auf dem allgemeinen Causalgesetze, theils endlich auf der physikalischen Erfahrung basirt ist. Noch in einer zweiten Hinsicht dient der vorgeschlagene Bewegungsbegriff auf die ungezwungenste Weise zur Vermittelung, nämlich was seine äußere Seite, was den zu Grunde zu legenden Bezugsraum der Bewegung anlangt. Von dem Bezugsraume der Bewegung, sofern sie eine wirkliche sein soll, forderte Aristoteles (und im Anschlusse an ihn Descartes) Materialität, ja sogar Contiguität mit dem bezogenen Körper, Newton dagegen Immaterialität sowie transcendente Realität. Zufolge der vorgeschlagenen Begriffssetzung gilt hingegen eine Bewegung als gleich wirklich, einerlei ob der Bezugsraum materiell oder ob er immateriell und ein bloß vorgestellter, idealer ist; Bezugsräume von transcendenten Realität werden allerdings nicht zugelassen, weil sie nachgewiesener Maßen der Erklärung der Erscheinungen in keiner Weise dienlich sind.

Ein Blick auf die neueste Litteratur über die Principien der Bewegungslehre lässt erkennen, dass sich das Interesse für die in vorliegender Abhandlung berührten Fragen während der letzten Jahre beträchtlich gesteigert hat. Möge es mir gelungen sein, die Theilnahme an jenen Grundfragen der Mechanik durch die angestellte historisch-kritische Untersuchung meinerseits so viel als möglich zu fördern und insbesondere die erste und wichtigste dieser Fragen, die Frage nach der widerspruchsfreien Formulirung des Bewegungsbegriffes, der Entscheidung näher zu führen, welcher sie in der neuesten Zeit sichtlich zudrängt.

---

## A n h a n g.

**Ueber die sogenannte »absolute Translation« der Sonne und die Vorstellung, welche in Wirklichkeit damit zu verbinden ist.**

Nachdem wir die metaphysische Voraussetzung des realen absoluten Raumes endgültig aufgegeben haben, drängt sich uns die nicht unwichtige Frage auf, was denn eigentlich unter der, von den Astronomen durchweg auf »den Raum«, d. h. den »absoluten Raum« bezogenen, sogenannten »absoluten Translation« oder »wahren Eigenbewegung« der Sonne in Wirklichkeit zu verstehen sei.

Bei Bestimmung der Richtung und Geschwindigkeit dieser Bewegung stützen sich die Astronomen bekanntlich auf die durch Beobachtung erkannten Verrückungen der »wirklichen« Fixsternörter, d. h. auf die »Fixsterneigenbewegungen«. <sup>1)</sup> Wäre der Complex der Fixsterne ein unveränderliches materielles System, so würden sich diese Eigenbewegungen ganz und gar aus einer gewissen Translation der Sonne relativ zu ihm ableiten lassen, und diese Translation bestünde demnach nur in einer Bewegung relativ zu jenem Complexe, von dem man gar nicht wissen könnte, ob er nicht im »absoluten Raume« irgendwie, z. B. geradlinig und gleichförmig bewegt wäre; kurz man hätte nicht den geringsten Grund, die ermittelte, den beobachteten Fixsterneigenbewegungen entsprechende Translation als eine »absolute« anzusehen. Nun aber sind die Eigenbewegungen aus einer bloßen Translation der Sonne relativ zum starr gedachten Complexe der anderen Fixsterne nicht vollständig zu erklären, und aus diesem Grunde werden sie von den Astronomen nicht nur von einer absoluten Trans-

---

1) Eigenbewegungen heißen diese Verrückungen im Gegensatze zu den verschiedenartigen sonstigen Verrückungen der Fixsternörter, welche der Astronom aus der Bewegung der Erde ableitet. Von den »Eigenbewegungen« zu unterscheiden sind die sogenannten »wahren« Eigenbewegungen (s. u.).

lation der Sonne, sondern auch von absoluten Translationen der Fixsterne hergeleitet. Die Eigenbewegungen der Fixsterne seien, so heißt es, nur zu einem gewissen Theil »wahre«, zum anderen Theil aber scheinbare, parallaktische, bloß durch die Translation der Sonne (und damit auch unseres Standpunktes) hervorgebrachte Bewegungen. Um nun die »wahren Eigenbewegungen« der Fixsterne von den bloß parallaktischen Antheilen abzusondern, welche außer ihnen in den beobachteten Eigenbewegungen noch enthalten sind, gehen die Astronomen von der Vermuthung aus, dass (was Richtung und Geschwindigkeit anlangt) die wahren Eigenbewegungen im Gegensatze zu den parallaktischen (eine einfache und bestimmte Regel befolgenden) Verschiebungen ganz regellos verstreut seien; dass also, wenn man nur eine hinreichende Anzahl von Sternen in Betracht zöge, die Resultirende ihrer wahren Eigenbewegungen sozusagen verschwinden müsste.<sup>1)</sup>

Worauf aber stützt sich denn diese Vermuthung? Schlechterdings auf gar Nichts! Denn woher will man wissen, dass nicht z. B. einmal der ganze Complex der Fixsterne einen gemeinsamen Antrieb erhalten und dadurch relativ zum absoluten Raume eine gemeinsame geradlinige und gleichförmige Bewegung angenommen hat? Wir können nun einmal über die Bewegung relativ zu diesem Gespensterraume Nichts aussagen, ohne die unserer Erkenntniss gesteckten Grenzen zu überschreiten.

Wenn sich sonach die geläufige Anschauung, welche in der von den Astronomen gefundenen Translation der Sonne eine absolute Bewegung derselben erblickt, als vollkommen unhaltbar herausgestellt hat, so bliebe doch vielleicht die Berechtigung übrig, jener Translation als bezüglich auf irgend ein conventionelles System eine gewisse Bedeutung beizumessen. Ehe wir aber untersuchen, in welcher Weise dieses conventionelle System etwa zu definiren wäre, gilt es, die zur Ermittlung der Fixsterneigenbewegungen von den Astronomen angewandte Methode in genauere Erwägung zu ziehen.

Die Fixsterneigenbewegungen pflegen in Rectascension ( $AR$ ) und Declination ( $D$ ) angegeben zu werden, sind aber keineswegs identisch

1) P. A. Secchi, Die Sterne, Leipzig 1878. S. 203.

mit den Verrückungen der Sterne nach  $AR$  und  $D$ , welche durch unmittelbare Messung mit den astronomischen Instrumenten erhalten werden. Ist uns nämlich die Verrückung eines Sternes nach  $AR$  und  $D$  durch unmittelbare Messung gegeben, so müssen wir, um daraus seine »Eigenbewegung« zu erhalten, erst noch Einiges in Abrechnung bringen. Ich will einmal annehmen, die von der Erdrevolution herührenden Antheile, Parallaxe und Aberration, seien bereits abgerechnet, so dass also der Rest auf ein Coordinatensystem zu beziehen wäre, welches sein Centrum in der Sonne hat und im übrigen dem durch den Erdmittelpunkt als Centrum gelegten ursprünglicheren  $AR$ - $D$ -Systeme parallel ist. Was alsdann von Aenderung der  $AR$  und  $D$  übrig bleibt, ist auch noch keineswegs zu identificiren mit der Eigenbewegung des Sternes. Vielmehr muss noch die Veränderung abgerechnet werden, welche die beiden sphärischen Coordinaten durch Präcession des Frühlingspunktes sowie durch Nutation der Erdachse erleiden. Das heliocentrische  $AR$ - $D$ -System ist nämlich in einer eigenthümlichen zwiefachen Drehung sowohl zu dem (verhältnismäßig als starr zu betrachtenden) Fixsterncomplexe, als auch, wie d'Alembert theoretisch aus der allgemeinen Schwere abgeleitet hat, relativ zu dem heliocentrischen Inertialsysteme begriffen. Die Drehung zum Fixsterncomplexe wird nun von den Astronomen so genau angegeben, dass man nur annehmen kann, sie bilde das Mittel aus zahlreichen auf verschiedene einzelne Fixsterne bezüglichen Drehungen, welche ja wegen der Veränderlichkeit des Complexes um ein Beträchtliches von einander abweichen müssen. Dass aber diese mittlere Drehung hinreichend genau für eine etwaige Dynamik der Eigenbewegungen mit der Rotation zum heliocentrischen Inertialsysteme übereinstimme, dafür haben wir absolut keine Gewähr und die Wahrscheinlichkeit ist äußerst gering.

Nun wollen wir einmal annehmen, auch die Antheile der Präcession und Nutation seien in Abrechnung gebracht, so erhalten wir diejenige Veränderung der  $AR$  und  $D$  des Sternes, welche der Astronom die »Eigenbewegung« desselben nennt. Da sich bei Bestimmung der Präcessions- und Nutationsconstanten eine mittlere Beziehung auf den veränderlichen Fixsterncomplex eingeschlichen hat, so folgt, dass die Eigenbewegung des Sternes ebenfalls eine mittlere Beziehung auf den Complex involvirt; freilich dürfte es kaum



möglich sein, eine kurze Definition dieser Art von »mittlerer Beziehung« aufzustellen, man würde vielmehr einer recht weitläufigen Auseinandersetzung bedürfen, um dieselbe begrifflich zu bestimmen.

Wir wenden uns nun zur »absoluten Translation« der Sonne zurück. Um dieselbe zu bestimmen, geht, wie gesagt, der Astronom von der Kenntniss der Fixsterneigenbewegungen aus. Er fragt sich: Gegen welche Region der Sphäre muss eine durch die Sonne hindurchgehende gerade Linie gerichtet sein, damit, wenn auf ihr ein Punkt in directem Sinne fortschreitet, die dadurch für ihn bedingten parallaktischen Verschiebungen der Sterne solcher Art sein werden, dass, nachdem man sie von den Eigenbewegungen in Abrechnung gebracht hat, die zurückbleibenden Antheile die Resultante Null geben (s. o. S. 686)? Nachdem er die fragliche Gerade ermittelt hat, erklärt er sie — wie gezeigt, ganz ohne Grund — für die absolute Translationsrichtung der Sonne und die zurückgebliebenen Antheile der Eigenbewegungen für die »wahren Eigenbewegungen« der Fixsterne, oder richtiger für deren Componenten senkrecht zum Visionsradius.

Es liegt auf der Hand, dass sich hier eine zweite mittlere Beziehung auf den Fixsterncomplex zu jener ersten hinzugesellt, welche schon bei Bestimmung der Eigenbewegungen sich eingeschlichen hatte. Die Art dieser zweiten mittleren Beziehung ist aber wiederum ihrer verwickelten Beschaffenheit wegen nicht so einfach anzugeben, und noch viel weniger ist es die Complication, welche durch das gemeinsame Auftreten beider Arten von mittlerer Beziehung erzeugt wird. Nun bedenke man noch, dass die Bewegungen längs dem Visionsradius von vornherein ganz außer Rechnung geblieben sind, so wird man sich nicht verhehlen können, dass eine Definition des räumlichen Coordinatensystemes, worauf sich sowohl die »absolute Translation« der Sonne als auch die »wahren Eigenbewegungen« der Fixsterne beziehen, schlechterdings unmöglich sein dürfte. Nur so viel wissen wir, die »absolute« Translation der Sonne so gut wie die »wahren, absoluten« Eigenbewegungen der Fixsterne sind nichts Absolutes, sondern schließen eine Bezugnahme auf den Fixsterncomplex ein.

Immerhin könnte uns noch ein Einwurf gemacht werden, welcher nähere Beachtung verdient. Die Astronomen haben ihren Be-

rechnungen des Sonnenapex (d. h. des Zielpunktes der »absoluten Translation« der Sonne) natürlich nicht die Gesamtheit aller Fixsterne, aber auch nicht einmal immer dieselbe Sterngruppe, sondern vielmehr sehr verschiedene Sterngruppen zu Grunde gelegt. Trotzdem hat sich wesentlich immer derselbe Apex ergeben. Wie wäre das nun möglich, wenn nicht gleichwohl eine wirkliche absolute Sonnenbewegung gegen jenen Apex hin stattfände?

Hierauf lässt sich zweierlei erwiedern.

Erstens: So übertrieben groß ist die Uebereinstimmung der Resultate denn doch nicht. Die von verschiedenen Astronomen auf Grund verschiedener Sterngruppen (und unter Anwendung verschiedener Rechenmethoden) für die Rectascension des Apex ermittelten Werthe schwanken zwischen  $244^{\circ}$  und  $286^{\circ}$ ; <sup>1)</sup> die für die Declination ermittelten Werthe schwanken zwischen  $+ 10^{\circ}$  und  $+ 53^{\circ}$ . <sup>2)</sup> Das Schwankungsgebiet erstreckt sich also rund über  $40^{\circ}$  Rectascension und  $40^{\circ}$  Declination, ein ganz beträchtliches Stück der Himmelskugel.

Zweitens: Sollte man denn wirklich, um diese recht mäßige Uebereinstimmung der Resultate zu erklären, genöthigt sein, eine ihrem Begriffe nach selbst unklar bleibende »absolute Bewegung« der Sonne gegen jenen Apex hin zu supponiren? Sind nicht vielleicht andere Erklärungen möglich, mit denen man eine klare Vorstellung verbinden kann? Die Antwort lautet: Ja! In der That könnte man jene Uebereinstimmung der Resultate z. B. sehr gut aus der Hypothese erklären, dass rücksichtlich des ganzen Fixsterncomplexes die mittlere Bewegung der Sonne eine sehr beträchtliche Geschwindigkeit besitzt im Vergleiche mit den mittleren Bewegungen bei weitem der meisten

1) Argelander (1837) 1. Gruppe:  $256^{\circ} 25',1 \pm 12^{\circ} 21',3$ .

Martini (1882) Zone I:  $244^{\circ} 47'$ .

Ranckén (1880):  $285^{\circ} 51'$ .

2) Lundahl (1840):  $+ 14^{\circ} 26',1 \pm 4^{\circ} 29',3$ .

Martini (1882) Zone III:  $+ 13^{\circ} 0'$ .

Id. Zone IV:  $+ 52^{\circ} 43'$ .

Vgl. H. Martini, Beitrag zur Frage der Eigenbewegung des Sonnensystemes. Inauguraldissertation, Leipzig 1882.

anderen Fixsterne.<sup>1)</sup> Nun scheint dieser Hypothese allerdings die Vermuthung Martinis<sup>2)</sup> zu widersprechen, dass die Sonne zu den Sternen mit verhältnissmäßig kleinen Eigenbewegungen gehöre. Allein Martini selbst misst seiner Vermuthung keine besondere Sicherheit bei, und Argelander nahm, wie bemerkt zu werden verdient, genau im Gegentheil an, dass die Sonne in die Classe der stark bewegten Fixsterne zu rechnen sei.<sup>3)</sup> Die Mehrzahl der Astronomen dürfte indess gegenwärtig der Ansicht sein, dass die ungenügende Kenntniss der Fixsternabstände eine auch nur einigermaßen genaue Bestimmung der »absoluten Sonnengeschwindigkeit« nicht ermöglicht.<sup>4)</sup>

So bliebe denn von der »absoluten Translation« der Sonne nach Abzug dessen, was der esprit métaphysique überflüssiger Weise hinzugedichtet hat, als thatsächlicher Rest lediglich die mittlere Bewegung der Sonne relativ zum Fixsterncomplexe übrig. Man wird sich hiernach schwerlich der Täuschung hingeben, als sei der Entdeckung William Herschels, auch abgesehen davon, dass sie in der Geschichte der Himmelskunde schon ein großartigeres Vorbild fand, nur entfernt eine ähnliche Tragweite wie der Entdeckung des Copernicus beizumessen. Dies wäre nur dann der Fall, wenn die gefundene Translation ihrem Wesen nach auf das barycentrische Inertialsystem des Fixsterncomplexes sich bezöge, wovon nach dem Vorhergehenden nicht die Rede sein kann. Für eine Dynamik der Fixsterneigenbewegungen, zu der es ja freilich noch gute Wege hat, wäre die von den Astronomen ermittelte Sonnenbewegung ein ganz werthloses Datum, es könnte hier höchstens eine noch zu ermittelnde barycentrische Inertialdrehung in Frage kommen. Insofern also die Bemühungen der Astronomen um Feststellung jener Sonnenbewegung als Vorarbeiten zu einer Dynamik der Eigenbewegungen gelten sollen, sind sie als durchaus verfrüht zu betrachten.

Aber auch aus dem Gesichtspunkte der reinen Phoronomie

---

1) Wie das Bezugssystem dieser mittleren Bewegungen von Rechts wegen zu definieren ist, wird auf f. S. angegeben werden.

2) A. a. O. S. 25.

3) Vgl. Humboldt, Kosmos, Bd. I. S. 154.

4) Vgl. P. A. Secchi, Die Sterne, S. 205 f.

betrachtet hat die ermittelte »Translation der Sonne gegen das Sternbild des Hercules hin« sowie die ermittelten »wahren Eigenbewegungen« der anderen Fixsterne nur in beschränktem Sinne die Bedeutung, welche man sonst relativen Bewegungen in Bezug auf ein nicht inertiellles Coordinatensystem beilegen darf und welche darauf beruht, dass man unter Voraussetzung eines solchen Coordinatensystemes wenigstens eine einheitliche Uebersicht über die Bewegungen des zu betrachtenden Punktsystemes gewinnen kann. Denn nur hinsichtlich der Verrückungscomponenten der Sterne auf der Sphäre, nicht aber hinsichtlich der Componente längs der Gesichtslinie wird uns durch jene mittlere Beziehung auf den Fixsterncomplex eine gewisse Uebersicht ermöglicht (s. o. S. 688.). Sollte die Uebersicht sich statt auf bloß zwei auf alle drei Raumdimensionen erstrecken, so müsste überhaupt an Stelle des zweidimensionalen *AR-D*-Systemes ein dreidimensionales Raumsystem zu Grunde gelegt werden. In diesem Sinne könnte das räumliche Coordinatensystem, worauf von Rechts wegen die mittlere Bewegung eines Fixsternes gegen den ganzen Complex zu beziehen wäre, etwa definirt werden als dasjenige Coordinatensystem, worin die Summe der Geschwindigkeitsquadrate aller Fixsterne jederzeit ein Minimum ist. Nur fehlt es leider gegenwärtig und vielleicht für immer an Mitteln, um dieses Coordinatensystem und die darauf bezüglichen Bewegungen genauer zu bestimmen.

---