

Zur Geschichte der Schätzung der lebenden Kräfte.

Von Dr. J. Bach in München.

(Fortsetzung.)¹⁾

V. Lehre vom Stoff.

Hier liegt nun der Kernpunkt der Physik eines Leibniz, dass die Theorie der Materie, bei dem letzten Elemente des Stoffes nicht für sich, losgelöst von dem Uebrigen stehen kann, sondern dass das zweite wichtige Problem, das Problem der Kräfte, auf's engste mit dem Problem des Stoffes verknüpft ist, nämlich durch das Grundgesetz der Physik, das Gesetz der Causalität.²⁾

„Weil die ersten Gründe alles dessen, was in den Körpern vorgeht, endlich in den Elementen zu finden sein müssen, aus denen sie zusammengesetzt sind, so muss auch der erste Grund der Verbindung der Körper, insofern sie zugleich sind und aufeinander folgen, in den einfachen Dingen liegen. Die Verbindung der Theile der Welt beruht auf der Verbindung der Elemente als dem Grunde und dem ersten Princip. Folglich schliesst der Zustand eines jeden Elementes eine Beziehung auf den jetzigen Zustand der ganzen Welt und auf alle, die aus dem gegenwärtigen entstehen werden und vor ihm gewesen sind, in sich; ebenso wie in einer guten Maschine der kleinste Theil mit allen anderen eine Verbindung hat.“ . . . „Man kann also sagen, in dem Systeme des Leibniz liege eine metaphysisch-geometrische Aufgabe: Wenn der Zustand eines Elementes angegeben ist, den vergangenen, gegenwärtigen und zukünftigen Zustand der ganzen Welt zu bestimmen.“ (Die spätere Laplace'sche Weltformel.) „Die Lösung dieser Aufgabe — fährt Du Chatelet fort — ist dem ewigen Geometer vorbehalten, der sie jeden Augenblick auflöset, weil er die Beziehung deutlich einsieht, die der Zustand eines jeden einfachen Elementes (être simple) auf einen jeden vergangenen, gegenwärtigen und zukünftigen aller anderen einfachen Dinge in der Welt hat.“ „Endlichem Wesen zwar — fügt sie noch weiter beschränkend hinzu — wird es für immer unmöglich sein, von dieser unendlichen Beziehung aller Dinge aufeinander einen deutlichen Begriff zu haben; denn sonst würden sie Gott sein.“

In dem Begriff des einfachsten Elementes der Materie — das ist der Gedankengang — liegt zugleich nicht bloß ein geometrisches Element,

¹⁾ Vgl. »Philos. Jahrb.« 9. Bd., 4. Heft, S. 411 ff. — ²⁾ Instit. § 131. p. 141. „Les raisons primitives de tout ce qui arrive dans les corps, devant se trouver enfin dans les élémens dont ils sont composés il s'ensuit que la raison primitive de la liaison des corps . . . se trouve dans les êtres simples.“

sondern ein physikalisches, ein Kraftprincip, das in sich die Ursache der Bewegung trägt¹⁾: die lebende Kraft.

„Man weiss, und alle Philosophen sind einverstanden, dass die Bewegung im freien Raum sich nach allen Seiten hin fortpflanzt. Der kleinste Stein, den man in das Meer wirft, verrückt den horizontalen Stand dieser grossen Wasserfläche und macht darin Ringe, deren Ende man nicht mehr deutlich wahrnehmen kann.“

Der menschliche Körper gleicht einem Schiffein auf dem Weltmeere, fährt sie weiter, zugleich den mechanischen Grund menschlichen Wissens berührend. Von allen Seiten wird er von den Wellen bespült, welche die Merkmale ihres Ursprunges mit sich führen. Wenn ein Eindruck auf die Organe unserer Sinne stark ist, und in uns eine heftige Bewegung verursacht, weil dasjenige Ding, das sie hervorbringt, nahe ist, so nehmen wir ihn wahr, und haben davon eine sehr klare Vorstellung. Die fortgepflanzten und erweiterten Wellen, da sie bis in's unendliche hinausgehen, müssen nothwendig zu uns kommen; folglich muss in unserer Seele eine Vorstellung entstehen nach Beschaffenheit der Bewegung, welche unsere Sinnesorgane empfunden haben. Wir können zwar nur von den merklichsten Veränderungen, welche unsere Sinneswerkzeuge mit einer gewissen Stärke berühren, eine klare Vorstellung haben. Indes sind doch all' diese Vorstellungen wirklich da, obgleich unsere Seele sie nicht wahrnimmt, weil sie so schwach und unendlich vielfach sind, dass man sie unmöglich unterscheiden kann, und sie demgemäss nur dunkle Vorstellungen zu erregen fähig sind.

Dieses mechanische Verknüpftsein des Menschen mit der ganzen Welt²⁾ — so wird weiter geschlossen — entspringt aus der Vereinigung der Elemente untereinander und den Verhältnissen eines jeden mit dem anderen. Diese Verhältnisse aber erwachsen aus ihrer Unähnlichkeit, kraft deren die Elemente sich selbst zu erhalten und gegen andere coëxistente zu erhalten suchen. Daraus entsteht die mechanische Vereinigung der Elemente in den sichtbaren Körpern, welche im Grunde eine Wirkung der metaphysischen Vereinigung der Elemente ist.

Nun — zum Schluss — kommt die eigentliche Achillesferse der Monadenlehre, nämlich die Frage, wie aus einer Sammlung einfacher Elemente zusammengesetzte Körper, d. h. aus einer Addition von nicht ausgedehnten Elementen eine Summe wird, welcher das Prädicat der Körperhaftigkeit, d. h. der Ausdehnung zukommt.

Es ist dies genau dasselbe Problem, wie es der speculativere Atomismus eines Faraday usw. stellt, sobald er den Atomen die Ausdehnung abspricht, und dann doch aus einer Summirung dieser Nicht-Ausgedehnten eine ausgedehnte Körperwelt erzeugt.

¹⁾ Instit. cap. VI. § 132. p. 153. — ²⁾ Instit. ch. VII. § 133. p. 147.

Mag man auch viele coëxistente einfache Dinge im Nebeneinander denken, daraus folgt nicht, dass der Summe ein Prädicat, d. h. die Ausdehnung zukommt, welches den einzelnen Factoren, den Elementen abgeht.¹⁾ Hier liegt allerdings zunächst nicht nur ein Widerspruch gegen die Einbildungskraft²⁾, wie die Schülerin eines Leibniz behauptet, — sondern wir stehen, scheint es uns, auch am Ende unserer Dialektik.³⁾ Statt der Lösung wird uns ein Axiom für die Forschung gegeben: Bei Dingen, von denen man sich keine sinnlichen Bilder machen, und die man sich nicht durch Zeichen vorstellen kann, muss man suchen, diesen Abgang dadurch zu ersetzen, dass man feste Maxime nie aus den Augen verliert und durch wohl verbundene Folgerungen daraus die richtigen Schlüsse zieht, niemals aber einen Sprung in den Urtheilen macht.⁴⁾

Hier darf nicht vergessen werden, dass die Opposition gegen den Cartesianismus und dessen Definition des Körpers als blos in der Ausdehnung bestehend, das leitende Motiv ist. Dass Descartes und seine Schule deshalb für die Physik blos ein *corpus mortuum* — nicht aber wirkliche Körper geschaffen haben, ist eine am häufigsten wiederkehrende Bemerkung eines Leibniz. Ebenso fehlt es bei ihm nicht an der Angabe des Grundes für diesen Irrthum, nämlich die roh-empiristische Fassung der Atome, als der Elemente der Materie und Körper. Gegen den empiristischen Atomismus, nach welchem die Theile der Körper sich gegenseitig nicht unterscheiden, und der Grund des Unterschiedenseins der Elemente des Stoffes lediglich die äusseren Lagerungsverhältnisse wären: dagegen protestirt die Schule des Leibniz wohl mit Recht. Nach dieser Fassung gäbe es ja nur mechanische, nicht aber chemische, stöchiometrische Verhältnisse der Stoffe überhaupt.⁵⁾

Das Wesen des Körpers kann nicht in der blosen Ausdehnung bestehen. Denn wenn man dem Gesetz der Causalität gerecht werden will, so muss man nothwendig in den Theilen der Materie einen inneren, qualitativen Unterschied annehmen, der seinen Grund in dem Wesen der Materie selbst hat und aus einigen ihrer Eigenschaften entsteht. Diese Eigenschaft der Materie, wovon dieser innere Unterschied bedingt ist, kann nichts anderes als die innere Kraft sein, welche in aller Materie wohnt; und weil sie sich auf unendliche Art unterschieden macht, auch einen wirklichen Unterschied unter allen Theilen der Materie hervorbringt, so dass es unmöglich ist, einen Theil an die Stelle des anderen zu setzen, weil nicht einmal zwei derselben ein und dieselbe Kraft und Bewegung, mithin einerlei Form haben. Denn alle Form setzt eine Bewegung, folglich eine Kraft voraus. Hier ist wohl der stärkste Protest gegen den empiristisch-mechanischen Monismus.

¹⁾ § 133 u. 134. — ²⁾ § 135. — ³⁾ Ib. § 136 gibt das Frau Du Chatelet selbst zu. — ⁴⁾ Ib. § 135. p. 150. — ⁵⁾ Instit. chap. 8. § 138. p. 154.

„Ich sage“, schliesst de Ch., „die Eigenschaft, woraus der Unterschied entsteht, wodurch die Theile der Materie unterschieden sind, kann nichts anderes als die bewegende Kraft sein.“¹⁾

Denn es wäre unmöglich, dass ein Stückchen Materie, so klein man es auch nehmen wollte, nicht aus ähnlichen Theilen bestände, wenn alle diese Theile in vollkommener Ruhe wären. Also kann der Unterschied der Theile nur aus der bewegenden Kraft herrühren. Man muss deshalb zugeben, dass diese Kraft zu dem Wesen des Körpers ebenso nothwendig ist, als die (Descartes'sche) Ausdehnung, dass somit kein Theilchen Materie in der Welt ohne Bewegung und ohne Kraft ist, einfach weil nach dem Satze des zureichenden Grundes kein Element da ist, das nicht von allen anderen unterschieden wäre.²⁾

Alle Körper — wird streng logisch weiter argumentirt — bestehen aus Theilen. Also müssen ihnen die Eigenschaften eines zusammengesetzten Dinges zukommen. In einem zusammengesetzten Ding jedoch kann keine Veränderung vorgehen, als in Ansehung der Figur, der Grösse, der Lage der Theile und des Ortes des Ganzen. Da nun keine unter den gedachten Veränderungen ohne Bewegung geschehen kann, so muss eine jede Veränderung in den Körpern durch die Bewegung verursacht werden. Es ist somit gar nicht nothwendig, zum Descartes'schen *Deus ex machina* seine Zuflucht zu nehmen. Es genügt hier noch der Satz vom Grunde.

Also ist auch die Grunddefinition des Descartes, dass die Ausdehnung allein das Attribut der Körper sei, falsch. Es gehört nothwendig noch das Vermögen zu wirken und zu thun hinzu. Also folgt, dass die Kraft oder der Grund des Thuns in der ganzen Materie ausgebreitet ist. Demnach kann keine Materie ohne bewegende Kraft, und keine bewegende Kraft ohne Materie sein.³⁾

Ausser der bewegenden Kraft haben wir aber noch die Kraft des Widerstandes oder die leidende Kraft der Körper. Diese ist von Kepler als die Trägheitskraft (*vis inertiae*) bezeichnet worden. Ohne dieselbe könnte es kein Gesetz der Bewegung geben, und alle Bewegungen müssten ohne zureichenden Grund vor sich gehen. Sobald man zugibt, dass die Materie keinen Widerstand und keine Kraft der Trägheit hat, so ist keine Aehnlichkeit mehr zwischen der Ursache und der Wirkung. Man kann daraus, dass ein Körper so grosse Bewegung und eine solche Masse hat, nicht schliessen, er habe solche Kraft haben müssen, sie ihm mitzuthellen. Der grösste und der kleinste Körper könnte durch die gleiche

¹⁾ Ib. p. 155: „Il faut donc qu'il y ait quelque chose dans la matière, d'ou cette différence interne tire son origine; mais elle n'en peut point avoir d'autre que la force interne tendant au mouvement qui est dans toute la matière, et qui se diversifiant à l'infini mette une différence réelle entre toutes les parties de la matière.“ — ²⁾ chap. 8. § 140. — ³⁾ Instit. ch. 8. § 142.

Kraft mit derselben Leichtigkeit und Geschwindigkeit bewegt werden, wenn beide keine Trägheitskraft besässen: Wäre die Materie ohne Trägheit, so wäre keine bestimmte Wahrheit in den Veränderungen der Körper. Denn dieselben Veränderungen könnten so wie sie sind, aber auch ganz anders sein, ohne dass man imstande wäre, davon einen Grund anzugeben.

„Sobald man neben der Ausdehnung den Widerstand zugibt, zeigt sich bei den Wirkungen der Körper auf einander, dass die Wirkungen stets den Ursachen gemäss sind. Denn wenn eine doppelte Ausdehnung einen doppelten Widerstand entgegengesetzt, so wird eine doppelte Kraft erfordert, eben dieselbe Bewegung wie sonst, mitzuthellen. Soll also die Bewegung mit zureichendem Grunde geschehen d. h. möglich sein, so muss man den Körpern diese Widerstands- oder leidende Kraft beilegen; denn sonst kann man niemals bestimmen, wie viele Kraft erfordert werde, eine gegebene Wirkung zu realisiren.“¹⁾

Daraus folgt, dass, um das Wesen der Materie richtig zu erfassen, man mit der Ausdehnung die bewegende und die Widerstandskraft verbinden muss. Ohne bewegende Kraft gibt es nämlich keinen hinreichenden Grund des inneren Unterschiedes, wodurch die Theile der Materie von einander unterschieden werden. In gleicher Weise wird die Ausdehnung und die bewegende Kraft ohne Widerstandskraft keinen Grund von der Mittheilung der Bewegung angeben und nicht zeigen, warum die Wirkungen der bewegenden Kraft vielmehr so als anders sind.

Wenn man dagegen nebst der Ausdehnung in den Körpern die bewegende und die Trägheitskraft setzt, so kann man alles, was sich in den Körpern findet, und alle ihre Veränderungen auch als vorausgesetzt annehmen, und aus diesen drei Gründen erklären.²⁾

„Hieraus erhellt, dass die Philosophen, welche in der Philosophie nichts als mechanische Gründe gelten lassen und alle natürlichen Wirkungen mechanisch erklären wollen, recht haben. Denn die Möglichkeit einer Wirkung muss aus der Figur, Grösse, Lage des Zusammengesetzten, ihre Wirklichkeit aber aus der Bewegung erwiesen werden, d. i. aus der bewegenden Kraft als der Ursache der Bewegung, ihre Grösse aber aus der Trägheitskraft. Wer so urtheilt, der geht darin der Ordnung nach, welche die Natur der Dinge und die Regeln der gesunden Vernunft erfordern.“³⁾

Daraus wird der eigentliche Begriff der Materie abgeleitet. Die genannten drei Eigenschaften, Ausdehnung, bewegende und Trägheitskraft machen das Wesen der Materie aus.

VI. Grundbegriff der Physik.

Der Grundbegriff der Materie in diesem Sinne ist der leitende Gedanke der ganzen Physik. Die Descartes'sche Fassung, wonach die Ausdehnung allein das Wesensmerkmal des Stoffes ist, beruht auf dem empiristischen Atomismus, welcher die Materie als eine todte, unwirksame, schwere und blos passive Masse sich vorstellt.⁴⁾

1) Instit. ch. VIII. § 143. — 2) Ib. § 144. — 3) § 146. — 4) § 117.

Der Quell dieses Irrthums der Phantasie liegt in einem anderen Irrthum, d. h. in der falschen Vorstellung von der bewegenden Kraft als einer von der Materie verschiedenen Substanz. Diesen letzten Irrthum bezeichnet die Marquise als einen fast unüberwindlichen. Nun ist aber im Sinne der Leibniz'schen Philosophie ebenso sehr die bewegende, als auch die Widerstandskraft, wie die Ausdehnung ein bloßes Phänomen: alle drei¹⁾ sind Erscheinungen, welche uns Substanzen zu sein scheinen. Denn es gibt keine wahrhaften Substanzen ausser den einfachen Dingen. Durch einen Schluss nach dem Causalgesetz kommen wir zu der Forderung, dass in den letzten einfachsten Elementen der Materie (den Monaden) ein Grund der Thätigkeit sei, aus welchem sich begreifen lasse, warum die zusammengesetzten thätig sind. Obwohl also Ausdehnung und Kraft ganz verschiedene Substanzen zu sein scheinen, so haben sie doch einen gemeinsamen Quell, aus dem beide hervorgehen, nämlich die einfachen Elemente (Monaden, Moneren, Molekeln usw.)²⁾ Denn die Ausdehnung entspringt aus der Sammlung der einfachen Dinge, und die bewegende und Widerstandskraft offenbart sich, sofern die gesammelten Elemente selbst einen Grund des Thuns und des Widerstandes in sich fassen. Somit recurriert sowohl der Begriff der Materie als der der Kraft auf den gemeinsamen Grundbegriff des letzten einheitlichen Elementes, der Monade, welche beide sozusagen im Mutterschoosse trägt. Woher dann die dritte Eigenschaft, nämlich die Ausdehnung kommt, wird nicht gesagt.

Alle mechanischen Veränderungen fliessen aus der Ordnung der Theile und aus den Regeln der Bewegung. Was nicht aus diesen Quellen entspringt, existirt nicht³⁾: so lautet das leitende Axiom für das Problem der Materie und der Kraft. Die Unterscheidung eines Leibniz von Grund- und abgeleiteten Kräften ist nicht von so grossem Belang.

VII. Todte und lebende Kräfte.

Wichtiger ist für die Physik die Unterscheidung der todten und der lebenden Kräfte.⁴⁾

Leibniz wird geradezu als der Entdecker des Maasses der lebenden Kraft bezeichnet.⁵⁾ Die Verfasserin geht auf den Streit ihres Meisters mit den Cartesianern über die Schätzung des Maasses der lebenden Kräfte hier nicht näher ein. Gemäss dem didaktischen Zwecke der »*Institutions*« geht sie von dem Satze des Grundes aus.

Nach diesem Satze ist kein Sprung in der Natur möglich. Kein Körper kann von einem Zustand in einen anderen übergehen, ohne die

¹⁾ Ib. § 156. — ²⁾ Ib. § 157. — ³⁾ § 162. — ⁴⁾ Instit. ch. 21. § 557 sq. —

⁵⁾ p. 566.

dazwischen liegenden Grade zu durchwandern. Also kann nach diesem Gesetze ein Körper aus der Ruhe nicht plötzlich zur Bewegung kommen, sondern muss nach und nach, gleichsam Schritt für Schritt dazu übergehen und alle Grade der Bewegung, die zwischen der Ruhe und der zu erlangenden Bewegung sind, eine nach dem anderen durchmachen. Ein Körper, der in Bewegung ist, besitzt eine gewisse Kraft, die zugleich mit der Geschwindigkeit des Körpers wächst und abnimmt. Da wir nun wissen, dass ein Körper seine volle Geschwindigkeit nicht auf einmal, sondern stufenweise erlangt, so muss auch die Kraft, welche diese Geschwindigkeit begleitet, von der drückenden Ursache nach und nach in den Körper kommen, den sie in Bewegung setzt.

Daraus ergeben sich zwei Methoden, die Kraft der Körper zu beobachten: die eine, wenn die Kraft eben entsteht oder im Begriffe ist zu entstehen; die andere, wenn sie bereits in dem Körper entstanden ist, d. h. wenn der Körper in dem Zustande einer wirklichen und endlichen Bewegung ist.

Ist die Kraft noch in ihrem Beginn, so ist sie die Wirkung einer fremden Ursache auf den Körper, der ihn aufnimmt.

Dieser Druck theilt dem Körper einen Anfang der Bewegung mit, wenn er weichen und der sollicitirenden Kraft nachgeben kann. Wenn er aber durch ein unüberwindliches Hinderniss zurückgehalten wird, welches ihm nicht gestattet, seine Geschwindigkeit zu erreichen und die Grade der Kraft in sich zu steigern, welche die auf ihn wirkende Ursache ihm mittheilen kann, so empfängt er von dieser Ursache nur eine blose Tendenz zur Bewegung.¹⁾

Von dieser Art ist die Kraft der Schwere, wenn ihre Wirkung zurückgehalten wird. Jedermann gibt zu, dass es diese Kraft ist, welche den Fall der Körper zur Erde verursacht. Ist diese Kraft durch dazwischen liegende Hindernisse gehemmt, ihre Wirkung auszuüben, so heisst sie todte Kraft.

Wenn nun die Hindernisse, welche die Wirkung der drückenden Ursache verhinderten, weggenommen werden, und ihr die Freiheit gegeben wird, sich zu entfalten und auf den gedrückten Körper Kraft zu übertragen, so weicht der Körper sofort, reagirt nicht mehr weiter gegen den Druck, sondern nimmt ihn auf und häuft ihn in sich an, und dann wird dieser Druck, welcher bloßes Streben (*effort*) und todte Kraft war, zur lebenden Kraft, aber zuerst zu einer unendlich kleinen lebenden Kraft, welche nur, wenn sie unendliche Wiederholungen erfährt, thätig wird. Weil nun diese unendlich kleine Kraft, welche der Anfang der lebenden Kraft ist, die Wirkung des Druckes ist, der eine todte Kraft war, als der Körper noch zurückgehalten ward und die Bewegung nicht

¹⁾ ch. 21. § 560. p. 414.

annehmen konnte: weil nun die todte und der Anfang der lebenden Kraft ein gleiches Maas haben, nämlich die Masse des Körpers multiplicirt durch die unendlich kleine Geschwindigkeit, welche ihm der Druck in jedem unendlich kleinen Moment mittheilt, so verwechselt man sie und kann es ohne Irrthum thun.

Nun wird des weiteren erörtert, dass das Maas dieses Anfanges der Geschwindigkeit das Maas der todten Kraft ist; wie man die Kräfte der Maschinen, welche todte Kräfte sind, misst usw.¹⁾

Das wichtigere Moment bietet die Theorie der lebenden Kräfte. Diese verhalten sich wie die Quadrate der Geschwindigkeiten. Dieses beweist der Fall der Körper. Durch die Schwere werden die Körper jeden Augenblick und in allen Punkten, darin sie in der Zeit ihres Falles sich befinden, gleichförmig gedrückt. Galilei²⁾ hat bewiesen, dass die Räume, welche die fallenden Körper durch ihre Schwere zurücklegen, sich wie die Quadrate der Geschwindigkeiten verhalten. Demnach verhalten sich die lebenden Kräfte, welche die Körper im Fallen erlangen, auch wie die Quadrate ihrer Geschwindigkeiten, weil die Kräfte sich wie die Räume zu einander verhalten. Diese Quadrate sind nämlich aus der Häufung aller der Stösse entstanden, die in einer endlichen Zeit auf den Körper gewirkt haben.

Diese Entdeckung Leibnizens, fährt die Marquise weiter, ist durch alle Experimente bestätigt. Sie haben alle dargethan, dass in allen Fällen die Kraft der in wirklicher und endlicher Bewegung befindlichen Körper den Quadraten ihrer Geschwindigkeiten multiplicirt mit ihrer Masse proportionirt ist. Diese Schätzung der Kräfte ist eines der fruchtbarsten Kapitel in der Mechanik geworden.

VIII. Die Constanz der Naturkräfte.

Dass bei dieser Schätzung zunächst die Zeit ausser Betracht bleibt und nur die überwundenen Hindernisse in Rechnung kommen, wird weiter bewiesen. Ferner wird die physische Kraft von der metaphysischen unterschieden.³⁾ Hier wird namentlich auf die einschlägigen Schriften von Daniel Bernoulli und Mairon verwiesen, es werden dann die einzelnen Fallgesetze erörtert. An anschaulichen Beispielen wird das Verhältniss der Kraft zu dem Quadrate der Geschwindigkeit ihrer Leistung dargethan. Was hundert Jahre später einen Robert Mayer zu seinen Speculationen veranlasste, indem er über das Verhältniss von der Geschwindigkeit des Laufes der Postpferde zu dem Verbrauch von lebender Kraft seine Reflexionen machte, das deutet die Schülerin eines Leibniz an dem Beispiele von drei Schnellläufern an, um den Satz klar zu machen, „dass

¹⁾ Instit. ch. 21. § 562, 563 etc. — ²⁾ Inst. ch. 13. — ³⁾ ch. 26. § 570.

ein Läufer, je geschwinder er laufen, und in je kürzerer Zeit er einen gewissen Weg zurücklegen soll, desto mehr Kraft braucht.“¹⁾

„Da nun der dritte Läufer zweimal so viel Kraft braucht, als der zweite, und dieser zweimal so viel als der erste, so ist klar, dass der, welcher in eben der Zeit mit doppelter Geschwindigkeit läuft, viermal mehr braucht, und dass folglich die Kräfte, die dieser Läufer angewendet hat, wie die Quadrate ihrer Geschwindigkeiten sind.“

Dass bei derartigen Experimenten mit lebenden Geschöpfen Factoren in Betracht kommen, welche sich einer exacten Berechnung entziehen, das entgeht der scharfen Beobachtungsgabe der Verfasserin nicht, welche solche „fremde Umstände“ ausdrücklich nennt, so wenig als in unserem Jahrhundert einem Robert Mayer, Joule, Helmholtz, Secchi u. A. Eine Speculation im Sinne des Monismus, welche die Hypothese von der Einheit der Naturkräfte in ihrem Sinne zurechtlegt, kümmert sich um solche fremde Umstände wenig. Ein Leibniz hat gegen Papin und Jurin Beweise aus dem Gebiete exacter Beobachtung beigebracht²⁾, um die Constanz der Kraft darzuthun: „Die Kraft bleibt stets dieselbe, mag sie in kurzer oder längerer Zeit mitgetheilt sein.“³⁾ Welch' eine Bewegung der Geister dieses Problem gerade damals hervorrief, fühlt man aus der Art, wie die Marquise diese Frage behandelt, heraus. Sie liebt es, gerade auf die Schwierigkeiten mit besonderer Schärfe einzugehen.⁴⁾

Als den hervorragenden Gegner der lebenden Kräfte nennt sie Newton; sie versäumt es auch nicht, auf den Grund dieses Verhaltens hinzuweisen, nämlich auf dessen rein empiristische Fassung der Trägheit der Materie. Dies ist der springende Punkt, weshalb Leibniz den von ihm sonst so hochgeschätzten und verehrten Mathematiker⁵⁾ nicht mit Unrecht tadeln zu dürfen glaubt, indem er behauptet, dass man ohne die Annahme der constant wirkenden lebenden Kräfte nothwendig das Verhältniss Gottes zur Welt entsprechend dem damals herrschenden aufklärerischen Deismus unter dem Bilde des Verhaltens des Uhrmachers zu der von ihm verfertigten Uhr vorstellig machen müsse, welcher von Zeit zu Zeit das Räderwerk zu richten habe. Es ist somit die Grundfrage der Physik über Sein oder Nichtsein der constant wirkenden Kräfte, welche den heftigen Streit zwischen Leibniz einerseits und Clarke-Newton anderseits verursacht hat.

„Aus der Trägheit der Materie schliesst Newton, die Bewegung nehme in der Welt immer ab, und unser Weltenbau werde dereinst von seinem Urheber reformirt werden müssen. Dieser Schluss war eine nothwendige Folge der Trägheit der Materie und der Meinung Newton's, dass die Grösse der Kraft der Grösse der Bewegung gleich sei. Wenn man aber das Product der Masse durch

¹⁾ ch. 21. § 578. — ²⁾ Ib. § 579, 581 u. 582. — ³⁾ Ib. § 582. — ⁴⁾ § 583 und 585. — ⁵⁾ Vgl. Ausgabe der Werke von Leibniz, von Gerhardt. 3. Bd. S. 202 u. 228.

das Quadrat der Geschwindigkeit für die Kraft annimmt, so ist es leicht zu erweisen, dass die lebende Kraft immer constant bleibe, obgleich die Grösse der Bewegung in der Welt vielleicht fast alle Augenblicke anders wird: dass folglich in allen und namentlich in dem von Newton angeführten Falle die lebendige Kraft unveränderlich bleibt.“¹⁾

Deshalb bedarf es in der Physik keines *Deus ex machina*, keines von Zeit zu Zeit nachhelfenden Uhrmachers.

„Da die Kraft der bewegten Körper ihrer Masse und dem Quadrate ihrer Geschwindigkeiten proportionirt ist, so folgt, dass, wenn man die Geschwindigkeit und Masse eines Körpers gleich vermehrt, seine Kraft ungleich vermehrt.“²⁾

Wenn man, wie Leibniz, zwischen der Grösse (*quantité*) der Bewegung und zwischen der Grösse (*quantité*) der Kraft der bewegten Körper unterscheidet, und diese Kraft dem Producte der Masse durch das Quadrat der Geschwindigkeit proportionirt sein lässt, so zeigt sich, dass, obgleich die Bewegung sich alle Augenblicke in der Welt ändert, dennoch eine constante Grösse der lebendigen Kraft darin beständig erhalten wird «la même quantité de force vive s'y conserve cependant toujours».³⁾ Denn die Kraft verzehrt sich nicht ohne eine Wirkung, wodurch sie verzehrt wird, und diese Wirkung kann nichts anderes sein, als ein gleicher Grad der Kraft, der einem anderen Körper mitgetheilt wird. Denn derjenige, welcher nimmt, raubt dem, von dem er nimmt, stets so viel Kraft, als er für sich behält. Wenn also der geringste Grad der Kraft in einem Körper entsteht, so muss dadurch nothwendig ein gleicher Grad der Kraft in einem anderen Körper verloren worden sein usf. Also kann die Kraft weder ganz noch theilweise so vergehen, dass sie nicht in der hervorgebrachten Wirkung wieder zu finden wäre. Daraus lassen sich alle Gesetze der Bewegung ableiten.⁴⁾

Wie viel Staub gerade diese Frage aufwirbelte, lässt sich aus dem Briefwechsel eines Leibniz mit de Volder, Bernoulli, Burnett, Clarke usw. einerseits, am deutlichsten vielleicht aus der leidenschaftlichen Correspondenz zwischen der Marquise und Herrn von Mairon ersehen.

Die Schärfe ihres Verstandes und vollständige Beherrschung des Stoffes leuchtet uns in gleicher Weise entgegen.⁵⁾

Dieses Capitel ist wohl das wichtigste des ganzen Buches und auch dasjenige, welches erst nach hundert Jahren verstanden werden konnte. Um ein volles Jahrhundert war somit die geniale Intuition eines Leibniz

¹⁾ § 586. Vgl. Dr. Max Zwenger, Die lebendige Kraft und ihr Maas. München, Lindauer. 1885. S. 163 u. a. — ²⁾ § 587. — ³⁾ Ib. § 588. p. 448. — ⁴⁾ § 588. p. 448. »ainsi la force ne saurait périr en tout ni en partie, qu'elle ne se retrouve dans l'estat qu'elle a produit, et l'on peut tirer de là toutes les lois du mouvement«. — ⁵⁾ Die Originale derselben sind mir unauffindbar geblieben; eine deutsche Uebersetzung gibt Steinwehr als Anfang zu der „Naturlehre“ S. 490 ff.

von der Constanz der Kräfte verführt. Nur wenige Gleichlebende durchschauten deren volle Tragweite, aber auch deren logische Grenzen gegenüber einer phantastischen Speculation. Zu diesen gehört in erster Reihe die Marquise Du Chatelet.

So sehr gerade Voltaire in seinen »Éléments de Newton« durch die würdige und oft gründliche Art der Behandlung der Probleme sich selbst hoch über seine sonstige Art zu schreiben stellt: seine Polemik gegen dieses Hauptcapitel in dem Buche seiner Freundin ist kaum der Beachtung werth.¹⁾

Das Capitel über die Erhaltung der Kräfte ist wohl das glänzendste, wie es das letzte des geistreichen Werkes über Physik ist.²⁾

„Diese Erhaltung der Kräfte »cette conservation des forces« — schliesst die Marquise — ist also ein überaus starker metaphysischer Grund, wenn alles übrige gleich ist, die Kraft bewegter Körper nach dem Quadrate ihrer Geschwindigkeit zu bestimmen und zu schätzen. Denn wenn man die Kraft in ihren Wirkungen verfolgt, so findet sich nicht das Product der Masse durch die Geschwindigkeit, sondern das Product der Masse durch das Quadrat der Geschwindigkeit. Dass die Bewegung aufhört und wiederum entsteht, ist nicht gegen die geltenden Grundsätze, wenn nur die Kraft, wodurch sie hervorgebracht wird, dieselbe bleibt (»pourvu que la force qui le produit, reste la même«). Die Geschwindigkeit ist ja eine veränderliche Eigenschaft der bewegenden Kraft. Wenn also die Geschwindigkeit grösser oder kleiner wird, so wird dadurch nichts Substantielles weder geschaffen, noch vernichtet; sondern die bewegende Kraft, die in den Körpern war, ist lediglich modificirt durch die Veränderung der Geschwindigkeit, und diese Kraft selbst, die doch etwas Wirkliches ist, und welche dauert wie die Materie, kann nicht zerstört oder von neuem geschaffen werden (»et cette force elle-même qui est quelque chose de réel, et qui dure comme la matière, ne saurait être détruite, ni produite de nouveau«)³⁾; denn es ist leicht geometrisch nachzuweisen, dass in allem, was unter elastischen Körpern, auf welche Art immer sie aufeinander stossen, vorgeht, gleichwohl die Quantität der Kraft, die einmal da war, unveränderlich erhalten wird, wenn man das Product des Quadrates der Geschwindigkeit durch die Masse für die Kraft annimmt. Ständen aber die Kräfte der bewegten Körper nicht in dieser Proportion, so würde eben dieselbe Quantität der lebenden Kräfte, welche der Quell der Bewegung in der Welt sind, sich nicht erhalten haben.“

Das leitende Motiv in der Erörterung ist die Durchführung des Causalgesetzes. Bei der Behandlung der naturwissenschaftlichen Probleme dürfen zunächst nur mechanische Ursachen zugelassen, und die Phänomene der Natur dürfen nur auf mechanische Art erklärt werden.⁴⁾

¹⁾ Voltaire opp. T. 31. p. 256. „Défense du Newtonianisme.“ — ²⁾ Du Chatelet, Institutions. ch 21. § 588 ff. — ³⁾ Der Satz fehlt in der Steinwehr'schen Naturlehre. — ⁴⁾ Instit. p. 160 u. 178 cf. § 182 p. 196: »Ainsi quelque difficile que soit l'application des principes mécaniques aux effets physiques, il ne faut jamais abandonner cette manière de philosopher qui est la seule bonne« etc.

„Diejenigen, die nicht fortwährende Wunder in der Philosophie zulassen wollen (d. h. nicht fortan auf den transscendenten Grund der Dinge, Gott im Sinne eines Cartesius und auch Newton's), müssen die Ursache der Wirkungen in der Natur der Dinge selbst suchen. All das, was nicht durch diese Principien erklärlich ist, gehört nicht zu dem Ressort der Philosophie, welche sich nur mit den natürlichen Wirkungen zu befassen hat.“

Dieses methodische Axiom, welchem wir bei Leibniz und seinen Schülern so häufig begegnen, wird namentlich auf das Hauptproblem der Physik, das Newton'sche Gesetz der Schwere, das Problem der Gravitation und das damit innig verknüpfte der gegenseitigen Attraction der Körper angewendet.¹⁾ — Es ist kein anderer Gedanke, als den unsere gegenwärtige Mathematik vertritt.

„Was ein Agens zu bewirken strebt“, sagt Riemann²⁾, „muss durch den Begriff des Agens bestimmt sein; seine Action kann von nichts Anderem, als von seinem eigenen Wesen abhängen.“

Wir können auf die wichtigen Capitel über Bewegung, einfache und zusammengesetzte Bewegung, über die relative Bedeutung von Ruhe und Bewegung nur vorübergehend hindeuten, soweit hier nämlich Leibniz'sche Ideen die leitenden Gesichtspunkte sind. Es sind die Gedanken des Copernicus, eines Galilei, Kepler und Newton, welche in allgemein verständliche Form gefasst und in der Regel streng präcisirt sind.³⁾

(Fortsetzung folgt.)

¹⁾ Instit. ch. 15 u. 16. — ²⁾ Riemann's Ges. Math. Werke. Leipzig 1876 S. 492. Nicht so klar ausgedrückt bei Gauss, Ges. WW. Göttingen 1874. 6. Bd. u. a. ³⁾ Instit. ch. 11 u. 12.