

Peter Ruben

Mechanik und Dialektik

untersucht am Streit der Cartesianer und Leibnizianer
über das „wahre Maß der bewegenden Kraft“¹

Inhalt

Mechanik und Dialektik	1
1. Der Streit um das „wahre Maß der bewegenden Kräfte“	6
a) Das mechanische Grundproblem des Streits	6
b) Die Auffassung Descartes'	12
c) Die Auffassung Leibniz'	18
d) Kant und d'Alembert.....	29
2. Zu den philosophischen Grundlagen der Mechanik	39
a) Engels' Einschätzung des Streits	39
b) Ist die Mechanik „mechanistisch“?	47
c) Das geschichtliche Verhältnis der Mechanik zum metaphysischen Materialismus.....	53

¹ Erstveröffentlichung in: *Mikrokosmos-Makrokosmos*, Bd. 2. Hrsg. v. H. Ley u. R. Löther. Berlin 1967, S. 15-54. Druckfehler wurden korrigiert. Die Herausgeber danken Oliver Schlaudt für die Erstellung einer digitalen Fassung. (Anm. der Herausgeber)

Es ist üblich, in den gegenwärtigen Diskussionen über den Zusammenhang von Physik und Philosophie fast ausschließlich von den Resultaten der Relativitätstheorie und Quantenphysik auszugehen. Die klassische Mechanik spielt in ihnen eine nur sehr bescheidene Rolle. Und wenn sie bedacht wird, gilt sie zumeist als überwundene Stufe. Dieser sich schon bei flüchtiger Übersicht der Literatur aufdrängende Tatbestand ist jedoch keineswegs etwa „natürlich“, sondern recht verwunderlich. Denn die moderne Physik läßt keinen Zweifel darüber zu, daß die klassische Mechanik zum Fundament des physikalischen Abbildes der Wirklichkeit gehört. Jenes sonderbare Schattendasein dieser Disziplin für das philosophische Interesse ist sicher mit Auffassungen in Zusammenhang zu bringen, die der klassischen Mechanik philosophische Intentionen unterstellen, welche einer dialektischen Naturauffassung nicht entsprechen.

Die landläufige Anschauung verbindet die Mechanik mit dem sogenannten „mechanischen“ Materialismus als einander wechselseitig bedingende und hervorbringende theoretische Auffassungen. Man meint, der Mechanik liege die „mechanische“ Konzeption in der Philosophie zugrunde, oder die Mechanik führe bei ihrer philosophischen Auswertung und Verallgemeinerung zum „mechanischen“ Materialismus. So kommt zustande, daß die Mechanik „mechanistisch“ zu sein scheint. In philosophiegeschichtlichen Darstellungen erscheint dann auch die Entstehung der klassischen Mechanik als Ursache für den Rückgang dialektischer Naturauffassung: „Mit der Entwicklung der noch überwiegend mechanischen Naturwissenschaft im 17. und 18. Jh. erlangte das undialektische metaphysische Denken vorübergehend die Vorherrschaft.“² Demnach wäre offenbar der Mechanik, also einer Einzelwissenschaft (!), die Fähigkeit zuzuschreiben, philosophische Denkweisen auszuschalten und andere zu erzeugen.

Daß die Mechanik, obwohl sie heute ungleich reicher entwickelt ist, diese Fähigkeit sichtlich nicht mehr zu entfalten vermag, kann solches Vorstellen im Grunde nicht anders erklären als durch Hinweis auf die Mechanik als *eine unter vielen* Naturwissenschaften. Aber der Verlust ihrer dominierenden Rolle ist nicht zugleich auch der Verlust prinzipieller Aussagen über die mechanische Qualität der Wirklichkeit. Und

² Meyers Neues Lexikon, Leipzig 1962, Bd. 2, S. 596.

wenn jene Vorstellung über den Zusammenhang des metaphysischen Denkens mit der Mechanik einen Sinn haben soll, so kann er nur darin bestehen, daß die grundsätzlichen Aussagen dieser Wissenschaft eben Metaphysik enthalten. Denn das bloße Überwiegen einer bestimmten Naturwissenschaft kann schlechterdings nicht für gewisse inhaltliche theoretische Konzeptionen ausschlaggebend sein.

Nun bestehen die Aussagen der klassischen Mechanik nach wie vor. Daß bestimmte physikalische Bereiche sich nicht mittels mechanischer Interpretation deuten lassen, ist nicht Ausdruck des Versagens der mechanischen Prinzipien, sondern vielmehr positive Bestimmung ihrer *besonderen* Geltungsbereiche. Ist also die klassische Mechanik integrierender Bestandteil des physikalischen Abbildes der Wirklichkeit – worüber sich jede Diskussion erübrigt –, so kann vom Standpunkt des dialektischen Materialismus jene Vorstellung von einer „mechanistischen“ Mechanik nicht akzeptiert werden. Denn entweder ist die mechanistische Konzeption falsch, dann kann sie die Mechanik nicht zu ihrer Basis haben, weil diese ein richtiges Abbild der Natur ist. Oder die mechanistische Konzeption stellt eine zutreffende philosophische Interpretation der Wirklichkeit dar, dann kann natürlich die Mechanik „mechanistisch“ sein. Man brauchte sich so keine Gedanken über einen Zusammenhang von Mechanik und Dialektik zu machen, weil die *dialektische* Naturauffassung damit ausgeschlossen wäre.

Die marxistische Philosophie, weil sie die materialistische Dialektik zu ihrer konstituierenden Grundlage hat, muß daher die Untersuchung der tatsächlichen philosophischen Intentionen der klassischen Mechanik als legitime und zu lösende Aufgabe ansehen. Damit kann zugleich ein Beitrag für die Klärung der theoretischen Basis des Bündnisses zwischen Naturwissenschaft und marxistischer Philosophie geleistet werden.

Die Mechanik kann in erster Näherung als Theorie der Bewegung materieller Körper definiert werden. Sie ist dies natürlich nur, d. h. ist nur Wissenschaft, wenn sie ihre Gegenstände „in ihrem eigenen Zusammenhang und in keinem phantastischen“³ auffaßt. Das bedeutet, daß die Mechanik die Bewegung materieller Körper aus dem

³ F. Engels, Ludwig Feuerbach und der Ausgang der klassischen deutschen Philosophie. In: Marx/Engels, Werke, Bd. 21, S. 292.

Zusammenhang eben dieser, d.h. als Selbstbewegung zu bestimmen hat. Nichts anderes tut sie. Die Selbstbewegung der Natur unter einem besonderen Gesichtspunkt ist Gegenstand der Mechanik. Nun ist das Begreifen aller materiellen Bewegung als Selbstbewegung der Wirklichkeit gerade der Inhalt des dialektischen Denkens. Daher kann es ein derartiges Auseinanderklaffen von mechanischer und dialektischer Naturauffassung, wie das in jener Vorstellung von der „mechanistischen“ Mechanik unterstellt wird, nicht geben.

In dieser Darstellung soll am geschichtlichen Beispiel demonstriert werden, inwiefern die angedeutete Vorstellung in der Tat nichts als ein Vorurteil ist. Der heute fast vergessene Streit der Cartesianer und Leibnizianer um das „wahre Maß der bewegenden Kräfte“ ist dieses historisch außerordentlich instruktive Beispiel. Im Bewußtsein der meisten Physiker der Gegenwart handelt es sich dabei nur um die bescheidene Angelegenheit eines unnützen Wortgechts um unklar gefaßte Begriffe. Aber die Erzeugung klarer Begriffe ist *wirkliche* Anstrengung des Denkens. Und es ist dieser Erzeugungsakt, der das philosophische Interesse herausfordert, weil in ihm gerade deutlich wird, wie philosophisches Denken zur Klärung vorausgesetzt wird. In Wahrheit reflektiert der Streit die durch die sich entfaltende Mechanik der Philosophie gestellte Aufgabe, ihre Bewegungsauffassung in einer wissenschaftlichen Dialektik zu begründen.

Es ist in der Tat die klassische Mechanik gewesen, die die Dialektik des Renaissance-Denkens unabänderlich zerstörte. Sie tat dies jedoch nicht, weil sie mechanische Abbildung der Wirklichkeit, sondern *wissenschaftliche* ist. Nicht die besondere Qualität dieser Wissenschaft, vielmehr ihre allgemeine, eben Wissenschaft zu sein, war die bestimmte Grundlage für die Auflösung der Renaissance-Dialektik, einer bestimmten *historischen* Stufe der Dialektik also. Aber ebenso sehr hat die klassische Mechanik die neue Gestalt des dialektischen Denkens initiiert, hat wesentlich dazu beigetragen, daß die dialektische Methode wissenschaftlichen Charakter annehmen konnte. Natürlich kann die Dialektik, da sie *philosophische* Theorie und Methode ist, nicht als Resultat einer Einzelwissenschaft gewonnen werden. Die Entwicklung der klassischen Mechanik konnte daher selbstverständlich nicht die Vorherrschaft des metaphysischen Denkens brechen. Eine beliebige Einzelwissenschaft kann überhaupt nicht irgendwelche philosophische Auffassungen unmittelbar überwinden; ebensowenig kann sie solche unmittelbar

hervorbringen. Die Entwicklung der klassischen Mechanik ist keinesfalls Ursache des metaphysischen Denkens gewesen. Die scheinbare Korrelation beider hat sehr viel tiefer liegende Gründe.

1. Der Streit um das „wahre Maß der bewegenden Kräfte“

Wenn nun der geschichtliche Verlauf des Streits der Cartesianer und Leibnizianer untersucht wird, ist dabei sein philosophischer Inhalt, der Gegensatz von Metaphysik und Dialektik, das wesentliche Problem.

a) Das mechanische Grundproblem des Streits

Die theoretische Mechanik war in ihrer galileischen Ausprägung ein halbes Jahrhundert alt, als der Streit ausbrach. Sie (wie auch die spätere Mechanik Newtons) war wesentlich für die sogenannten freien Massenpunkte formuliert. Der Streit bezog sich nun auf das Verhältnis der mechanischen Größen Impuls und Energie, die erst in der Behandlung von *Systemen* Bedeutung besitzen. Daher konnte die Mechanik des freien Massenpunktes nicht Ausgangsbasis des Streits werden. Neben der philosophischen Haltung Newtons war dies Moment bestimmend für sein Desinteresse am Streit, der, mit der Systemmechanik verbunden, ausgefochten wurde. Die Vertreter der streitenden Parteien blieben im wesentlichen auf Frankreich und Deutschland beschränkt.

Die Ausbildung der Systemmechanik wurde bereits sehr früh in Angriff genommen. Anlaß dazu bot die von Mersenne gestellte Aufgabe, den Schwingungsmittelpunkt des physikalischen Pendels zu ermitteln. Die Beschreibung des physikalischen Pendels war also bereits gefordert, als die galileische Bewegungslehre ihre erste Gestaltung erfuhr. Damit ergaben sich naturgemäß große Schwierigkeiten, die Aufgabe auch zu lösen.

Es sei zunächst ein Hinweis von E. Mach vorangestellt, der das Verständnis des geschichtlichen Verlaufs des Streites erleichtert, zumal er richtig das Moment des Zufalls in der geschichtlichen Entwicklung darstellt. Mach verweist darauf, daß Galilei für das Studium der Fallbewegung zunächst den Ansatz $v \sim s$ machte. Indem er diesen auf seine logischen Konsequenzen prüfte, glaubte er in ihm einen Widerspruch zu erkennen, so daß er ihn wieder verwarf. Sodann setzte er an: $v \sim t$. Die zweite Beziehung fand er in der logischen Analyse widerspruchsfrei. So ging er zum Experiment über, worin sich der Ansatz bestätigte. Das Gesetz ergab sich zu

$$v = gt \tag{1}$$

Durch geniale Anlage des Experiments erhielt Galilei zugleich das Weg-Zeit-Gesetz

$$s = \frac{g}{2} t^2 \quad (2)$$

Daraus ergab sich die Weg-Geschwindigkeits-Beziehung

$$v = \sqrt{2gs} \quad (3)$$

Wegen dieser historischen Genesis erschien nun die Beziehung (1) als *ursprüngliche*, die Beziehung (3) als *abgeleitete*. Nimmt man – unabhängig vom konkreten Verlauf des Streits – mit Newton die Kraft zu $p = ma = m \frac{v}{t}$ an, so ergibt sich der Impuls durch Multiplikation mit der „ursprünglichen“ Beziehung (1):

$$pt = mv \frac{v}{gt} = mv \quad \left(\text{mit } t = \frac{1}{g} v\right) \quad (4)$$

Die Energie (kinetische) ergibt sich durch Multiplikation mit der „abgeleiteten“ Beziehung (3):

$$ps = \frac{m}{2} v^2 \frac{v}{gt} = \frac{m}{2} v^2 \quad \left(\text{mit } s = \frac{1}{2g} v^2\right) \quad (5)$$

So erscheint der Begriff des Impulses oder der Bewegungsgröße gewissermaßen mit dem Recht des Erstgeborenen und prädestiniert, Maß der „bewegenden Kraft“ zu sein. Gegen dieses Recht der Tradition verging sich Leibniz, indem er die Größe mv^2 als „wahres Maß“ behauptete, womit er den Streit initiierte.

Mach bemerkt weiter, daß mit Sicherheit Kepler wegen seines hohen mathematischen Könnens nicht bei der bloß linearen Proportionalität von Fallweg und -geschwindigkeit verblieben wäre, sondern eine Reihe verschiedener funktionaler Abhängigkeiten durchprobiert hätte, darunter natürlich den relativ einfachen Fall $s: v^2$ (bzw. $v: \sqrt{s}$). Wäre, so meint Mach, dieser Ansatz geschichtlich ursprünglich verwirklicht worden, so hätte es mit hoher Wahrscheinlichkeit keinen Streit um das „wahre Maß der bewegenden Kraft“ gegeben. In dem zufälligen Moment des mathematischen Könnens Galileis liege die volle Erklärung des Streits.

Nun ist zweifellos richtig, daß für den Streit durch die Besonderheit des Herangehens Galileis spezifische Bedingungen seines Ablaufs geschaffen worden waren. Aber Mach irrt, wenn er den Kern des streitigen Problems in der *zufälligen* Reihenfolge der

Begriffsbildungen und der damit tradierten Autoritätsstufung erblickt. Seine philosophische Konzeption läßt die Geschichte der Mechanik nur als quantitative Begriffsentfaltung zu. Daher ist Mach nicht in der Lage, zum eigentlichen Kern der Auseinandersetzung vorzudringen.

In den gegeneinander behaupteten Größen mv und mv^2 wurden in der Tat gegensätzliche Materieauffassungen ausgefochten, standen sich einander ausschließende philosophische Konzeptionen gegenüber. Diesen Zusammenhang sieht Mach nicht und schon gar nicht, inwiefern der Streit notwendige Bedingung der Begriffsbildung (die ja nicht einfach durch bloße formale Operation mit verschiedenen möglichen Relationen allein realisiert wird) selbst ist.

Noch auf ein weiteres Moment ist hinzuweisen. Während der Entwicklung des mechanischen Begriffszusammenhangs bis hin zu Lagrange wurden die besonderen Bestimmungsgrößen der mechanischen Bewegung stets nur in *besonderen* Zusammenhängen aufeinander bezogen. Der Gesamtzusammenhang stellt sich erst im Begriff der *Wirkung* dar, wurde daher auch erst mit der Formulierung dieser Größe deutlich. Sobald die mechanische Wirkung definiert war, fiel tatsächlich der Streit in sich zusammen. Denn sie bezieht ja Impuls und Energie aufeinander, erklärt also gerade die ausschließende Behauptung der einen gegen die jeweils andere Größe als unsinnig, ohne aber Impuls und Energie logisch zu identifizieren. Die Wirkung läßt sich ohne größere Schwierigkeit aus dem von d'Alembert herrührenden Prinzip gewinnen, so daß mit Recht gesagt werden kann, daß d'Alembert den Streit faktisch beendete. Lagrange jedenfalls kümmerte sich nicht mehr um ihn.

Das dritte (mathematische) Moment, daß dem Streit zugrunde lag und ihn wesentlich beeinflusste, war die Unkenntnis des *Grenzwertbegriffs*. Gewiß wurde mit Differentialen gearbeitet, aber sie waren noch nicht mathematisch begründet, hatten einen etwas mystischen Charakter. Das gilt sowohl von den Newton-Fluxionen wie von den Leibniz-Differentialen. Für den Verlauf des Streits bedeutete diese Komplikation, daß der Übergang von Impuls und Energie nicht gesehen werden konnte. Er reduziert sich auf die Frage nach dem Zusammenhang von v und $\frac{v^2}{2}$. Es gilt bekanntlich $v = \frac{d}{dv} \left(\frac{v^2}{2} \right)$ und

folglich $mv = \frac{d}{dv} \left(\frac{m}{2} v^2 \right)$. Umgekehrt besteht die Beziehung $\int mv \, dv = \frac{m}{2} v^2$. Also gerade

jene „Größen“ legen das Verhältnis von Impuls und Energie fest, die im Sinne Newtons und Leibnizens einerseits Null und andererseits nicht Null sein sollten.

Da in der mechanischen Praxis überdies die fraglichen Begriffe *empirisch* aufgenommen wurden, zu ihrer mechanischen Existenz daher vorderhand ihre *mathematische* Entwicklung auseinander nicht nötig war, so wurde der Zusammenhang um so weniger bemerkt. Der Impuls ergab sich an der Zeit, die Energie aber am Wege. Erst im Rahmen der Ausbildung des Grenzwertbegriffs durch d'Alembert und die ihm Folgenden wurde sozusagen nebenher die Energie als „absolute Menge“ der Summe der Impulse erfaßt. Dabei war der Ausdruck „absolute Menge“ die Formulierung d'Alemberts für den endlichen Grenzwert einer unendlichen Produktensumme.

Descartes war einer der ersten, der einen Versuch zur Lösung der von Mersenne gestellten Aufgabe lieferte. Dabei legte er den Begriff der Bewegungsgröße zugrunde. Es kann hier angemerkt werden, daß Descartes nicht – wie noch Engels⁴ meinte – mit dem Impulsbegriff auf den Schultern Galileis stand. Wie aus Briefen an Mersenne von 1629 hervorgeht, waren Descartes' Vorstellungen über die Natur der mechanischen Bewegung durchaus selbständig entstanden, wahrscheinlich im Zusammenhang mit Stoßversuchen, die er schon früher in Holland unternommen hatte. Galileis „Discorsi“ sind jedoch erst 1638 in Leiden erschienen.

Die Schwierigkeit für die Berechnung des Schwingungsmittelpunktes des physikalischen Pendels lag nun darin, daß die Kräfte – wegen der starren räumlichen Verbindung – unbekannt waren. Sie mußten daher aus ihrer „Wirkung“ hergeleitet werden. Für Descartes war diese Wirkung gegeben durch mv . Er erklärte, daß die Frage nach dem Schwingungsmittelpunkt zusammenhänge mit der Frage nach dem Schwerpunkt des Systems. Wie bei einem fallenden Körper ein Schwerpunkt existierte, der so fiele, als wäre alles übrige am Körper vernichtet oder in ihm enthalten, so gäbe es beim rotierenden Körper mit fester, außerhalb seiner gelegenen Rotationsachse einen gewissen Mittelpunkt. Dieser – von Descartes als „Antriebsmittelpunkt“ bezeichnet – bewege sich so, als wären die Antriebskräfte aller übrigen Körperteile im Gleichgewicht.

⁴ Marx/Engels, Werke, Bd. 20, Berlin 1962, S. 370.

Es käme darauf an, den Schwerpunkt der Antriebskräfte zu suchen, um den Schwingungsmittelpunkt zu finden. Dies könnte so erfolgen, daß die Kräfte nach mv gemessen würden und angenommen werden müßte, daß die Teile des Körpers auf eine Ebene, die durch seinen Schwerpunkt und die Rotationsachse verlief, so projiziert würden, daß ihre Abstände von dieser Achse erhalten blieben.

Roberval führte dagegen ins Feld, daß Descartes nur den Stoßmittelpunkt gesucht hätte. Um den wirklichen Schwingungsmittelpunkt zu finden, müßte jedoch die *Schwere* berücksichtigt werden, die das Pendel ja überhaupt erst bewegte.

Die richtige Lösung formulierte Huygens. 1673 erschien sein „Horologium oscillatorium“, worin die Berechnung des Schwingungsmittelpunktes enthalten war. Huygens erkannte, daß der Mittelpunkt nicht angegeben werden könnte, sofern man nicht das Gesetz des Zusammenhanges besäße, wonach die verschiedenen Gewichte des zusammengesetzten Pendels gegenseitig ihre Bewegungen beeinflussten, die ihnen die Schwerkraft erteilte. Er ersann zur Lösung der Aufgabe Mersennes den folgenden Grundsatz: Wenn mehrere zu einem Pendel befestigte Gewichte fallen, so kann jedes einzelne Gewicht – falls die starren räumlichen Verbindungen getrennt werden – genau so hoch steigen, daß der gemeinsame Mittelpunkt aller Gewichte auf seine alte Höhe gelangt.

Unschwer ist hier der Gedanke Galileis zu erkennen, daß eine Kugel auf einer schiefen Ebene nur so hoch rollt, als sie von der gegenüberliegenden herabrollt. Es ist der Gedanke von der Unmöglichkeit des Perpetuum mobile, den sowohl Galilei wie Huygens mechanisch fruchtbar machten.

Auf diese Weise konnte Huygens zu einer Gleichung der Schwerpunktshöhe und der Summe der einzelnen Höhen kommen. Da – nach Galilei – sich die Höhen wie die Geschwindigkeitsquadrate verhielten, so bedeutete dies Erhaltung der Summe $\sum_i m_i v_i^2$. Huygens erklärte schließlich als neues Theorem der Mechanik, daß bei der Bewegung schwerer Körper diese Summe stets konstant bliebe, unabhängig davon, ob die Körper verbunden oder frei vertikale Höhen durchliefen.

Gegen die Ableitung Huygens' erschienen sehr bald Einwände, vor allem gegen dessen neues Prinzip (zusammengefaßt im „Journal des savants de Paris“ von 1681).

Huygens mühte sich nicht um befriedigende Antworten. So war seitens der Mechanik die Möglichkeit des Streits entwickelt.

Einen wichtigen Schritt über Huygens hinaus tat Jakob Bernoulli. Er führte den Begriff der „*verlorenen Kräfte*“ ein. Jedoch endete sein Beistand für Huygens unversehens in einem Angriff auf ihn. Denn mangels der Ausbildung der Infinitesimalrechnung kam Bernoulli beim Übergang von der Betrachtung der „*verlorenen Kräfte*“ zu der der Geschwindigkeiten zu der irrigen Unterstellung, daß sich die ersteren wie die letzteren verhielten.

L'Hospital bemerkte diese ungewollte Umkehrung der Position Jakob Bernoullis. In einem Brief an Huygens schrieb er bezüglich der Abhandlung Bernoullis: „...ich war sehr überrascht zu sehen, wie am Ende seiner Darlegungen sich das Gegenteil Ihrer Demonstrationen findet. Das gab mir Anlaß, die Sache mit Sorgfalt zu untersuchen; und ich habe erkannt, daß es (das Prinzip der verlorenen Kräfte von Jakob Bernoulli – d. V.) sich als ein sehr wahres Prinzip darstellt, obgleich er sich in seiner Anwendung täuscht. Denn das Prinzip führt, wie ich zeigen werde, zu derselben Wahrheit, die Sie in Ihrem Satz ...bewiesen haben.“⁵ L'Hospital ermöglichte sich den Nachweis seiner Behauptung dadurch, daß er anstelle der Geschwindigkeiten Bernoullis Beschleunigungen einführte, im damaligen Sprachgebrauch also die Geschwindigkeiten in „unendlich kleinen“ Zeiten. So verwandelten sich bei ihm unter der Hand die Bewegungsgrößen des Descartes in Kräfte. Mit dem Übergang zu den infinitesimalen Größen ebnete er den Weg zum Prinzip von d'Alembert.

1743 erschien d'Alemberts „*Traité de Dynamique*“, worin das überlieferte Prinzip so gestaltet war, daß es sowohl für Kräfte wie für Geschwindigkeiten zulässig wurde. D'Alembert unterschied zwischen Eigenbewegungen und den der wechselseitigen Aktion der Körper eines Systems geschuldeten, „erzwungenen“ Bewegungen. Er gab das Prinzip auf folgende Weise an: „Man muß die Bewegungen, die einen Druck auf jeden Körper ausüben, zerlegen in a, b, c, \dots etc. und $\alpha, \beta, \gamma, \dots$ etc.; die letzteren sind von der Art, daß sie, wenn man nur die Bewegungen a, b, c, \dots etc. auf die Körper wirken läßt, diese

⁵ Zit. nach: F. v. Krbek. Grundzüge der Mechanik, Leipzig 1961, S. 150.

Bewegungen bewahren können, ohne sich gegenseitig zu behindern; und wenn man nur die Bewegungen α , β , γ , ...etc. wirken läßt, bleibt das System in Ruhe; ...“⁶

Lagrange bewertete das D'Alembert-Prinzip sehr hoch: es hätte die Präzision wie die Tag- und Nachtgleiche. Allerdings wäre seine Anwendung für die wirkliche Aufstellung der Bewegungsgleichungen in den meisten Fällen sehr kompliziert wegen der Schwierigkeit, die „verlorenen Kräfte“ stets bestimmen zu müssen. Er formte daher das Prinzip mittels des Arbeitsbegriffs in die noch heute gebräuchliche Form um. Die Auffassung d'Alemberts von den Bewegungen α , β , γ ...etc.. die – allein wirkend – das System in Ruhe belassen, wandelte sich so in die Lagranges: Zwangskräfte leisten keine Arbeit! Mit Hilfe seiner Variationsrechnung konnte Lagrange das Prinzip als erstes Extremalprinzip der Mechanik formulieren. Damit erreichte die Mechanik ihren vorläufigen Abschluß. Ein wesentlich neues Prinzip konnte nicht mehr gefunden werden; die mechanische Bewegung war in ihrem physikalischen Wesen vollkommen bestimmt.

So hatte die von Mersenne gestellte Aufgabe im Verlaufe von etwa 150 Jahren zur Aufstellung der Mechanik für Systeme geführt. Der Streit der Cartesianer und Leibnizianer bildete dabei den konkreten geschichtlichen Ausdruck des Bewußtwerdens der Natur der mechanischen Bewegung. Gerade die hartnäckige Verteidigung der einander ausschließenden Behauptungen war die Grundlage wie der Antrieb für das immer tiefere Eindringen in das Wesen der Systemmechanik. Um den eigenen Standpunkt zu stützen, wurden stets neue Beispiele gesucht und konstruiert. Dadurch erweiterte sich rasch der Erfahrungsschatz, der schließlich die Verallgemeinerung erlaubte, die den Streit selbst gegenstandslos machte. Es ist eine ahistorische Vorstellung, in dem Streit ein sinnloses Wortgefecht zu sehen.⁷

b) Die Auffassung Descartes'

Während seines Aufenthalts in Holland von 1617 bis 1619 hatte sich Descartes mit dem freien Fall beschäftigt. Er erkannte den Trägheitssatz, bemerkte, daß unter dem Einfluß einer konstanten Kraft eine gleichförmig beschleunigte Bewegung erfolgte. Da er aber die *Fallbewegung* aus einer unterstellten konstanten Kraft ableitete, blieb es ihm

⁶ Ebenda, S. 155 f.

⁷ Zur genaueren Information über den Ablauf ist noch immer die Arbeit E. Machs am geeignetsten: Die Mechanik in ihrer Entwicklung, Leipzig 1908.

versagt, das Abhängigkeitsgesetz des Weges von der Zeit zu entdecken. Aus seinen Stoßbeobachtungen hatte er gefolgert: ohne Abgabe von Bewegung an andere Körper bleibt die Bewegung erhalten; jede Bewegung ist ursprünglich oder übertragen; die ursprüngliche Bewegungsmenge ist unzerstörbar.

1644 erschienen „Die Prinzipien der Philosophie“, worin Descartes zur Ursache der Bewegung ausführte: „Die allgemeine Ursache kann offenbar keine andere als Gott sein, ... der durch seinen gewöhnlichen Beistand so viel Bewegung und Ruhe im ganzen erhält, als er ... geschaffen hat. Denn wenn auch diese Bewegung nur ein Zustand an der bewegten Materie ist, so hat sie doch eine feste und bestimmte Menge,...“⁸ Zur besonderen Vollkommenheit Gottes, so meinte Descartes, gehörte nicht nur die eigene Unveränderlichkeit, sondern auch die unveränderliche Weise seines Wirkens. Es dürfte aus den Werken Gottes nicht auf dessen Unbeständigkeit geschlossen werden können. „Deshalb ist es durchaus vernunftgemäß, anzunehmen, daß Gott, ...wie er diese ganze Materie in derselben Art und in demselben Verhältnis, in dem er sie geschaffen, erhält, so auch immer dieselbe Menge von Bewegung in ihr erhält.“⁹

Damit findet sich bei Descartes die erste Formulierung eines Erhaltungssatzes für eine dynamische Bestimmungsgröße der mechanischen Bewegung. Es muß hier angemerkt werden, daß diese Deutung ein wenig gewagt ist. Denn Descartes (wie Leibniz) besaß keinen klaren Massenbegriff, so daß ihm daher die Bedeutung der Größe mv nur annähernd gegenständlich war. Er benutzt den Begriff der Bewegungsgröße dann auch im Sinne der mechanischen Wirkung. Der Massenbegriff wurde erst gewonnen, nachdem Newton die Resultate Galileis und Keplers vereinigte, also feststellte, daß bei Übertragung der Prinzipien Galileis auf die Planetenbewegung streng zwischen Schwere und Trägheit zu unterscheiden war. Der Massenbegriff ist eine Frucht der Vereinigung von Mechanik und Astronomie: je nach der Lage im Raum erfährt der Körper verschiedene Beschleunigungen; sein Gewicht ist so variabel, während seine Masse konstant bleibt.

Als Ergebnis seiner großen Entdeckung der analytischen Geometrie (die er freilich mit Fermat teilt) entwickelte Descartes das Bestreben, die Mechanik auf reine Geometrie der Bewegungen zu reduzieren. Dieser einzelwissenschaftliche Antrieb erhielt seine

⁸ R. Descartes, Die Prinzipien der Philosophie. Berlin 1965, S. 48.

⁹ Ebenda, S. 49.

philosophische Begründung durch die dualistische Konzeption, in der die Materie sich als „res extensa“ darstellte. Gassendis atomistische Theorie verwarf Descartes. Die Materie galt ihm als unendlich teilbar, die Bewegung als ihr rein äußerliches Attribut, als ein Zustand an der Materie. Für den weiteren Verlauf des Streits ist die Reduktion der Mechanik auf Geometrie der Bewegungen wichtig. Darin drückt sich aus, daß Descartes auch keine hinreichend klare Vorstellung über mechanische Kräfte besaß. Ohne sie bzw. ohne eine zeitliche Funktion der Lagekoordinaten ist aber Mechanik unmöglich.

Diesen Mangel hob Leibniz später hervor. Die Materie, an welcher Descartes Mechanik betreiben wollte, war ein rein räumliches Gebilde, von dem beim besten Willen nicht zu sagen war, was an ihm eigentlich Bewegung sei. D'Alembert äußerte treffend: „Man muß zugeben, daß, wenn man von einer solchen Anschauung ausgeht (von der Materie als res extensa – d. V.), die Bewegung äußerst schwierig zu begreifen wäre, und daß ein Cartesianer es vielleicht viel eher fertig brächte, ihre Existenz zu leugnen, als nach dem Wesen derselben zu forschen.“¹⁰

Daß Descartes dennoch der Schöpfer der Keimform des Impulsbegriffs werden konnte, ist dadurch begründet, daß der Impulssatz dort fast rein praktisch deutlich wird, wo große Kräfte in sehr kurzer Zeit wirken, d.h. vor allem bei Stoßkräften. Die Erfolge der Anwendung des Impulssatzes auf Stoßvorgänge waren dann auch das Weihwasser, womit die Cartesianer ihre Angriffe auf die Leibnizianer würzten. Das Paradedpferd stellte der unelastische Stoß dar, bei dem wohl die Erhaltung des cartesischen (mv), nicht aber die des leibnizischen Maßes (mv^2) der „bewegenden Kraft“ galt.

Für den Zusammenhang von Mechanik und Philosophie ist nun insbesondere die Tatsache wichtig, daß Descartes von der Erhaltung der Bewegung ausgeht. Die Erhaltungsthese steht bei allen bedeutenden Schöpfern der theoretischen Mechanik am *Anfang* der Überlegungen. (Galilei und Huygens setzen sie in Gestalt der Vorstellung von der Unmöglichkeit des Perpetuum mobile erster Art voraus!) Nun handelt es sich hier um nichts anderes als die *Vereinigung* philosophischer Deutung der Wirklichkeit mit vorgegebenen mathematischen Beziehungen, wodurch die einzelwissenschaftliche Analyse ihre Hypothese rational macht, d.h. zum messenden Experiment übergehen kann.

¹⁰ Zit. nach: Vorreden und Einleitungen zu klassischen Werken der Mechanik, Leipzig 1899, S. 49.

Die Grundvorstellung von der Unzerstörbarkeit, der Unaufhebbarkeit der Bewegung ist Resultat der philosophischen Reflexion.

Es ist eine naive (zugleich nachträglich explizierte) Interpretation, daß die Erhaltungssätze etwa jene philosophische Aussage beweisen. Einerseits sind einzelne Resultate der Einzelwissenschaften nicht schlechthin Beweise für philosophische Aussagen. Andererseits handelt es sich aber wesentlich darum, daß die philosophische Aussage über die allgemeine Natur der Bewegung hier als *Voraussetzung* behandelt wird. Das heißt natürlich, daß im logischen Sinne überhaupt kein Beweis vorliegt. Die experimentelle Prüfung liefert eine relative Basis für die Zulänglichkeit der philosophischen Aussage, jedoch keine Bestätigung im absoluten Sinne. Denn die Eigenart der einzelwissenschaftlichen Behandlung der philosophischen Aussage besteht darin, daß sie, indem sie zur Interpretation einer mathematischen Relation verwendet wird (was unabdingbar durch den Übergang zum Experiment notwendig ist), genau ihre allgemeine Natur verliert, nun unter *besonderen* Bedingungen gültige Aussage ist.

Für das Problem des Zusammenhanges von Dialektik und Mechanik ist hier vor allem hervorzuheben, daß die These von der Unaufhebbarkeit der Bewegung eines der Grundprinzipien dialektischer Bewegungsauffassung ist. Wenn die Dialektik die materielle Bewegung als Selbstbewegung der Materie erklärt, so kann sie dies selbstverständlich nur behaupten, indem sie die Unzerstörbarkeit der Bewegung als Prinzip unterstellt. Die theoretische Mechanik bestätigt also insofern die dialektische Auffassung, als sie sich diese zur Voraussetzung ihrer eigenen Bestimmung der Bewegung als mechanischer macht. Für die metaphysische Bewegungsauffassung ist jene These nicht unbedingt erforderlich; sie ist ihr nur *zufällige* Zutat, die die besondere Stellung des Metaphysikers zu Gott ausdrückt. Ist er diesem gegenüber in gläubiger Beziehung, so kann gut auf die Behauptung der Unaufhebbarkeit der Bewegung verzichtet werden. Die Erhaltung läßt sich dann als beständiges Eingreifen Gottes deuten (was gerade die Stellung Newtons ist). Ist jedoch seine Haltung antitheologisch, so muß er jene These formulieren. Indem sie als *wesentlich* für das philosophische System gilt, ist bereits die Metaphysik *unterhöhlt*.

Das normale Alltagsbewußtsein nimmt die Wahrheit jener These ganz richtig auf, sofern es erklärt: aus nichts wird nichts! Es ist die Ablehnung des Wunders, das Aussprechen der Vernünftigkeit der Wirklichkeit, was sich im Bewußtsein von der

Unmöglichkeit der Schöpfung aus dem Nichts ausdrückt. Es handelt sich um ein Bewußtsein, das unmittelbar aus der universellen Stellung des Menschen zur Wirklichkeit entspringt. Allein, es ist erst auf einer *bestimmten* Stufe der menschlichen Entwicklung formulierbar. Diese ist die sozial dominierende Existenz der Warenproduktion. Es ist die alltägliche Erfahrung des Wertgesetzes, die den Wunderglauben tatsächlich vernichtet. Dem allein Agrikultur treibenden Bauern ist das Wunder gegenständlich: er erntet in der Tat ein Vielfaches der Saatmenge. Die jährlichen Schwankungen sind daher auch Ausdruck der Strafe oder Liebe Gottes. Der Kaufmann aber „erntet“ *Äquivalente*. Ihm erst sind in den Waren die natürlichen Dinge auf allgemeine Weise gegenständlich. Sie sind durch ihren Tauschwert als Dinge überhaupt (als Gebrauchswerte) vermittelt. Daher kann hier soziales Bewußtsein von der Unmöglichkeit der Schöpfung aus dem Nichts auftreten. Ohne eine solche soziale Basis aber kann diese These nicht zur Voraussetzung der Erkenntnis der Natur werden.

Es ist ohne Wissen um die Natur des philosophischen Erkennen vorgestellt, wenn man meint, Galilei habe den Trägheitssatz „entdeckt“, Descartes und Huygens haben die Erhaltungssätze für Impuls und Energie „entdeckt“, sofern man hier unter „Entdeckung“ einen Vorgang versteht, wie er z.B. das Auffinden eines neuen Planeten, einer bisher unbekannt Pflanze usw. ist. Von solcher Art Entdeckung kann hinsichtlich der mechanischen Formulierung der Ablehnung der Schöpfung aus dem Nichts keine Rede sein. Wie die Physiker sagen, handelt es sich um Extrapolation aus dem wirklichen Sachverhalt. Mit philosophischen Begriffen ausgedrückt, handelt es sich um das Auffinden des konkret Allgemeinen im sinnlich Konkreten.

Es ist so für das Verständnis der Beziehungen von Mechanik und Dialektik zueinander von großer Bedeutung, daß die Mechanik gerade mit der *Affirmation* einer Grunderkenntnis dialektischer Philosophie anhebt. Mit der Annahme der Vorstellung von der Unzerstörbarkeit der Bewegung durch die Mechanik wird aber diese philosophische Aussage in ihrer *überkommenen* Form aufgehoben. Die Philosophie hat nun nicht mehr Alltagsbewußtsein zu ihrer Voraussetzung, sondern *wissenschaftliches* Bewußtsein. Die Verwandlung der Anschauung des „nihil ex nihilo“ in die mechanische Aussage der Erhaltungssätze erfordert von der Philosophie für ihre eigene weitere Entwicklung das Nach-Denken der vollzogenen *mechanischen* Erkenntnis (welche selbst erst nach experimenteller Bestätigung wirkliche Erkenntnis ist). Aber sie vollzieht dieses Nach-

Denken unter ihrer eigenen Bestimmtheit, d.h. als Reflexion der mechanischen Aussagen unter dem Aspekt des *konkret Allgemeinen*. Genau dieses Anliegen richtete die entstehende Mechanik an die Philosophie. Der Streit der Cartesianer und Leibnizianer drückt die geschichtliche Bewegung des Denkens aus, das dieses Anliegen zu bewältigen suchte.

Die Erkenntnis der ungefähren Bedeutung des Impulssatzes steht bei Descartes im engen Zusammenhang mit seiner Reduktion der Materie auf die *res extensa*. Die Konstanz des Impulses gilt ja bei Systemen ohne äußere Einwirkung, also bei abgeschlossenen Systemen der Ruhe oder gleichförmigen Bewegung. Nun ist das Verhältnis von Raum und Zeit in den Begriffen „Geschwindigkeit“ und „Beschleunigung“ jeweils von sehr unterschiedlicher Natur. Da Descartes nur mit dem ersteren Begriff operieren konnte, erschienen ihm mechanische Systeme überhaupt nur vom Charakter der *Stoßvorgänge*. Die Welt des Descartes war eine Welt von lauter Inertialsystemen, die in zeitloser Gleichgültigkeit ruhten oder sich mit gleichförmiger Bewegung beschäftigten. Für eine solche Welt spielt die Zeit in der Tat nur die Rolle eines rein äußerlichen, ihr nicht immanenten Parameters. Die Zeit ist nicht ihr konstitutives Moment. Daher ist es ganz verständlich, daß Descartes diese Welt als eine ausschließlich räumlich bestimmte Mannigfaltigkeit begriff, den Raum als ihr alleiniges konstitutives Moment behauptete.

Damit soll keineswegs erklärt werden, daß die cartesische Reduktion der Materie auf die *res extensa* *allein* Folge der ausschließlichen Kenntnis von Stoßsystemen sei. Sicher besitzt auch die von ihm entdeckte analytische Geometrie dafür ebenfalls große Bedeutung. (Sie gab ihm das Mittel in die Hand, das Zusammenkommen von Denken und Wirklichkeit zu deuten!) Jedoch ist der Zusammenhang zwischen der beschränkten Kenntnis mechanischer Systeme und jener philosophischen Konzeption offensichtlich.

In der Konsequenz konnte die Philosophie Descartes' nicht als Basis für die Gewinnung mechanischer Grundprinzipien dienen. Mit der Reduktion der Materie auf die *res extensa* verschwindet für ihn auch die *Schwere* als theoretischer Gegenstand. Descartes hat in der Tat nicht eine einzige einzelwissenschaftliche Aufgabe lösen können. Es kann damit etwas für das Problem des Zusammenhanges von Dialektik und Mechanik sehr Wesentliches festgestellt werden: die metaphysische Konzeption ist außerstande, die Mechanik zu *schaffen*! Das „natürliche Licht“ der „angeborenen Ideen“ scheitert, wenn es zur Begründung der Einzelwissenschaft schreiten soll.

Die Konzeption Descartes' ist tatsächlich erst fruchtbar geworden, als die wesentlichen dynamischen Grundbestimmungen der Mechanik bereits in *mathematischer* Form vorlagen. Und hier zeigt sich der rationelle Kern seiner Position. Descartes ist positiv der Begründer der deduktiven Methode in der Einzelwissenschaft, ist der Verfechter der *Mathematisierung* des Wissens. Die „einleuchtenden“ und „klaren“ Ideen, die er fordert, sind – vernünftig verstanden – widerspruchsfrei definierte Relationen zur Abbildung wirklicher Zusammenhänge. Die philosophische Metaphysik verwandelt sich durch *Elimination* der philosophischen Problematik in den besonderen Standpunkt des mathematischen Denkens. In dieser Umwandlung, die im 18. Jahrhundert unter der Losung des Kampfes gegen die Metaphysik geführt worden ist, ist die eigentliche Leistung Descartes' erst fruchtbar geworden.

c) Die Auffassung Leibniz'

1672 kam Leibniz nach Paris, um im Auftrage des Mainzer Kurfürsten dem Sonnenkönig ein Unternehmen gegen Ägypten anzuraten. Die diplomatisch erfolgreiche Mission wandelte sich zum Nutzen der Wissenschaft in eine Art Schülerdasein Leibnizens bei Huygens. Drei Jahre später revolutionierte er die Mathematik. Elf Jahre danach erschien sein „Kurzer Beweis eines wichtigen Irrtums, den Descartes und andere in der Aufstellung eines Naturgesetzes, nach dem Gott stets dieselbe Bewegungsquantität erhalten soll, begangen haben“. Dieser Aufsatz wurde zum unmittelbaren Anlaß des Streits.

Leibniz warf Descartes vor, daß dieser die „bewegende Kraft“ fälschlich mit der Bewegungsquantität identifizierte. Wenn dieser erklärte, es wäre vernunftgemäß, immer dieselbe Bewegungsmenge als erhalten anzunehmen, so behauptete nun Leibniz: es ist „der Vernunft angemessen, daß sich dieselbe Summe der bewegenden Kraft in der Natur erhält...“¹¹

Im weiteren Verlauf seiner kurzen Abhandlung führte Leibniz seine Absicht aus, den *Unterschied* beider Begriffe zu zeigen. Dabei stützte er sich auf die Gedanken Huygens',

¹¹ G. W. Leibniz, Hauptschriften zur Grundlegung der Philosophie 1. Bd., Leipzig 1924, S. 246.

die er überdies entschieden gegen Angriffe von Kritikern verteidigte. Zum Nachweis seiner Behauptung stellte er folgende Grundsätze auf: 1. „...daß ein Körper, der von einer bestimmten Höhe herabfällt, dadurch die Kraft erlangt, die notwendig ist, um ebenso hoch wieder emporzusteigen,...“; 2. „...daß eine gleichgroße Kraft nötig ist, um den Körper A (= 1 Pfund) zur Höhe $CD = 4$ Meter, oder aber den Körper B (= 4 Pfund) zur Höhe $EF = 1$ Meter zu heben.“¹² Leibniz verwies darauf, daß diese Annahmen von den Cartesianern zugegeben würden.

Aus den vorgegebenen Grundsätzen folgte nun sofort die Gleichheit der „bewegenden Kräfte“, während die Bewegungsquantitäten nicht gleich wären. Nach Galilei hätte nämlich der Körper A in D die doppelte Geschwindigkeit erreicht als der Körper B in F . Würde für den Körper A die Geschwindigkeit mit 2 angenommen, für B daher mit 1, so wäre die Bewegungsquantität des Körpers A dann 2, die des Körpers B aber 4. Mithin wären „bewegende Kraft“ und Bewegungsquantität sehr zu unterscheidende Begriffe, die nicht auseinander abzuschätzen wären.

Mit diesem Schluß verweist Leibniz im Grunde auf die Bedingung der Gültigkeit des Impulssatzes, ohne sich freilich dessen bewußt zu sein. Der Impulssatz gilt bei Abwesenheit äußerer Kräfte. In dem von Leibniz konstruierten Beispiel wird der Körper gerade unter dem Einfluß einer solchen Kraft untersucht. Seine Argumentation vermengt überdies das Erhaltungsproblem mit dem Begriff „bewegende Kraft“. Nur das sollte offenbar den Namen „bewegende Kraft“ verdienen, was erhalten bleibt. Aber die Erhaltungssätze gelten für beide strittige Größen, jedoch nur unter bestimmten Bedingungen. Die Vermengung verschiedener Probleme machte einen guten Teil des Unverständnisses aus, mit dem sich die streitenden Parteien gegenüberstanden. Im Hintergrund jedoch stand die gegensätzliche Bewegungsauffassung der Cartesianer und Leibnizianer.

Die einzelwissenschaftliche Grundlage für jenes Unverständnis ist u. a. die mangelhafte Bildung des unterstellten Kraftbegriffs. An diesem Punkt setzt auch die Kritik der nachfolgenden Generationen von Physikern am Streit ein. Der Begriff entstand selbstverständlich innerhalb anthropomorpher Vorstellungen, was zunächst noch keinen Mangel bedeutet. Die Wirkungsfähigkeit der Natur wird nie anders als in der sinnlich-

¹² Ebenda.

gegenständlichen Aktion auf die Umwelt erfahren. Indem der praktisch tätige Mensch seine Kraft gegen die natürlichen Dinge richtet, erfährt er, daß diese selbst „Kraft“ besitzen. Seine Kraftaufwendung ist nur die Bestätigung der Naturkraft. Der Anthropomorphismus in der Naturbeschreibung resultiert aus dieser *konkreten* Einheit von Mensch und Natur, die jeder Einzelwissenschaft, da sie experimentell vorgehen muß, notwendig zugrunde liegt.

In unserem Zusammenhang ist nun wichtig, daß in der unmittelbaren subjektiven Vorstellung von der Kraft, d. i. die Muskelkraft, Möglichkeit und Wirklichkeit zusammenfallen. Das naive Bewußtsein spricht von Kraft, ohne zwischen der Fähigkeit (der Möglichkeit) und der tatsächlichen Kraftausübung (der Wirklichkeit) zu unterscheiden. Die Unterscheidung ist für den alltäglichen Gebrauch, zu dem sie natürlich auch notwendig ist, bald angesichts praktischer Erfahrung getroffen. Eine exakte Begriffsbestimmung erübrigt sich hier, denn das Bewußtsein verbleibt in der unmittelbaren sinnlichen Gegenständlichkeit. Für den Aufbau des mechanischen Begriffszusammenhanges jedoch ist diese Unentschiedenheit hinsichtlich der Trennung von Möglichkeit und Wirklichkeit nicht mehr möglich.

Es dauerte eine geraume Zeit, ehe sich der Begriff der Kraft, sofern er ihre Wirklichkeit ausdrückt – das ist der Newtons –, von den Kraftbegriffen. Descartes' und Leibnizens gesondert hatte. Doch wurde dieser Unterschied noch im Verlaufe des Streits deutlich gesehen. Hinsichtlich der Möglichkeit der Kraft, also der Fähigkeit, Wirkungen auszuüben, gelang eine weitere Unterscheidung nicht. Der Streit war gerade die bestimmte Anstrengung des Denkens, die Verschiedenheit begrifflich zu bestimmen. Die Möglichkeit der Kraft ist an den beiden Momenten der Kinematik, am Raume und an der Zeit, zu *unterscheiden*. Einerseits ist von der Fähigkeit, Arbeit zu leisten, die Rede; dann wird die Möglichkeit in bezug auf den Raum bestimmt. Andererseits ist von der Fähigkeit, z.B. einen Stoß auszuüben, zu sprechen; dann wird die Möglichkeit der Kraft in bezug auf die Zeit angegeben. Energie und Impuls sind die mechanischen Begriffe, die die Möglichkeit der Kraft in bezug auf den Raum bzw. die Zeit bestimmen. Sie sind die dynamischen Charakteristika der mechanischen Bewegung, nicht aber diese Bewegung selbst.

Wenn man in elementarmathematischen Symbolen die einfache – empirisch aufzunehmende – Relation $p : m = v : t = v^2 : s$ angibt, lassen sich die dynamischen Größen unmittelbar herstellen: der Impuls mit $mv = pt$, die Energie mit $mv^2 = ps$. So ist ersichtlich, daß die streitenden Parteien mit mehrdeutigen Begriffen operierten. Die cartesische „bewegende Kraft“ ist der Ausdruck pt , die „bewegende Kraft“ Leibnizens jedoch ps . Da mit dem Ausdruck mv (bzw. mv^2) allein gerechnet worden ist, konnte trotz ungeklärter Interpretation richtig gerechnet und doch mit Vehemenz gestritten werden.

Da Leibniz die Impulserhaltung etwa beim unelastischen Stoß nicht bestreiten konnte, führte er die Unterscheidung zwischen „toten“ und „lebendigen Kräften“ ein. Beide verhielten sich zueinander wie Punkt und Linie. Die „toten“ Kräfte waren danach die Drücke, Züge usw., die „lebendigen“ die, welche eine „wirkliche“ Bewegung verursachten. Den Übergang der toten in die lebendige Kraft vermochte Leibniz nicht zu durchschauen. Dies hätte Formulierung des *Grenzwertbegriffs* bedeutet. Durch seine Unterscheidung hatte Leibniz das Problem des Zusammenhanges der dynamischen Größen nur in das des Zusammenhanges von Geschwindigkeit und Beschleunigung transformiert, also für die geometrischen Charakteristika ausgesprochen.

Man kann die Frage stellen, warum nach Bekanntwerden der mechanischen Grundgleichung Newtons die streitenden Parteien nicht sofort den Zusammenhang erkannten. Unter Voraussetzung des Grundaxioms $p = ma$ folgt ja als erstes Integral bei unterstellter Kräfteabwesenheit sogleich der Impulssatz; als zweites Integral erhält man den Energiesatz. Eine solche Fragestellung übersieht zunächst den Umstand, daß Newton selbst dem Streit unentschieden, ja ablehnend gegenüberstand, weil ihm dessen Grundannahme (worin sich also Cartesianer und Leibnizianer einig waren), nämlich die Erhaltung der Bewegung, nicht annehmbar erschien. Für ihn war die dauernde Einwirkung Gottes auf das mechanische Geschehen sicher. Zum anderen aber sind Impuls und Energie Systemgrößen. Und die Mechanik von Systemen war nicht Gegenstand der Überlegungen Newtons.

Natürlich lassen die Newton-Gleichungen rein formal die Möglichkeit zu, die Maße Descartes' und Leibnizens als logische Folgerungen zu erhalten. Diese formale Operation setzt aber empirische Erfahrungen voraus, die zur Erweiterung der Interpretation jener Gleichungen führen, so daß eine solche Operation überhaupt erst deutlich und damit

praktisch möglich wird. Die rein syntaktische Struktur des Grundaxioms von Newton läßt Interpretationen zu, an die Newton selbst nie gedacht hat. Mechanische Erkenntnis aber reduziert sich nicht auf die Aufstellung syntaktischer Strukturen. Sie müssen auch gedeutet werden. Und für diesen Akt des Deutens ist experimentelle und allgemeine Erkenntnis über die konkrete Natur der Bewegung gefordert. Sie aber ist kein logisches, sondern ein historisches Phänomen. Schließlich darf nicht übersehen werden, daß auch der logische Zusammenhang erst mit der Begründung der Infinitesimalrechnung deutlich werden konnte.

Es sei nun auf die eigentliche philosophische Problematik eingegangen, die Leibniz überhaupt erst zum Angriff auf Descartes veranlaßte. In einer Abhandlung von 1694 führte er aus: „...daß in den materiellen Dingen etwas erhalten ist, was zu der bloßen Ausdehnung hinzukommt, ja ihr vorangeht: nämlich eine natürliche Kraft, die vom Schöpfer den Dingen allerorts eingepflanzt worden ist.“¹³ Diese „natürliche Kraft“ war für Leibniz nicht bloß Fähigkeit im Sinne Aristoteles', d.h. im Sinne der Möglichkeit des Nachgebens auf einen äußeren Anstoß. Sie galt ihm vielmehr als *immanente* Tendenz in den Dingen, die auch zur vollen Wirksamkeit gelangte, sofern sie nicht durch gegensätzliches Streben gehemmt würde. Sie bedürfte *keines* äußeren Anstoßes.

Leibniz erklärte, daß sich ihr Dasein aus Vernunftgründen einsehen ließe: „Wirken ist das Charakteristikum der Substanzen; die Ausdehnung dagegen besagt nichts anderes als die stetige Wiederholung oder Ausbreitung einer schon vorausgesetzten strebenden und widerstrebenden Substanz, kann also unmöglich die Substanz selbst ausmachen.“¹⁴ Man vergleiche die Äußerung Leibnizens etwa mit der rund 250 Jahre späteren Bavinks, dieses rüstigen Streiters gegen den Positivismus: „Wenn also der Substanzbegriff überhaupt noch einen Sinn behalten soll, so kann er nur auf die Größe übertragen werden, die ‚es eigentlich nur gibt‘, und das eben ist die Wirkung oder genauer: es sind die einzelnen Wirkungsquanten.“¹⁵

Natürlich sind beide Thesen nicht identisch. Der Begriff der Wirkung ist bei Bavink eindeutig definiert, während er bei Leibniz noch eine unbestimmte Weite hat. Aber es ist die Konsequenz des philosophischen Denkens, das den richtigen Kern einer Erkenntnis

¹³ Ebenda, S. 256.

¹⁴ Ebenda, S. 257.

¹⁵ B. Bavink, Ergebnisse und Probleme der Naturwissenschaften, 7. Auflage, Leipzig 1941, S. 209f.

festhält, selbst wenn die einzelwissenschaftlichen Grundlagen noch unsicher sind. In Leibnizens Denkweise wird der Begriff der Wirkung, den Descartes auch verwendet, aus seiner metaphysischen Verabsolutierung als abstrakter Gegensatz der Ursache gelöst und zur Charakterisierung der Bewegung überhaupt verwendet. In einer solchen Verwendung ist die Trennung von Bewegung und Bewegtem aufgehoben. Die Bewegung ist nicht mehr akzidentell, sondern immanent aufgefaßt. Es handelt sich mithin um die Überwindung der metaphysischen Bewegungsdeutung, um den Beginn einer dialektischen Bewegungserklärung auf der Grundlage einzelwissenschaftlicher Erkenntnis.

In der Vorstellung Leibnizens sind die Substanzen nur, insofern sie wirken. Nicht wirkende sind nicht wirkliche, unwirkliche Substanzen oder bloße metaphysische Gedankenundinge. Es ist wichtig zu betonen, daß Leibniz zu seiner Konzeption unter Voraussetzung der *mechanischen* Erkenntnis kommt, daß er, um diese weiter auszubilden, jene hervorbringt. Die Mechanik ist ihm also Grundlage im Kampf gegen die Metaphysik. Zugleich erforderte die weitere Bildung der Einzelwissenschaft die Beseitigung des metaphysischen Denkens. Es ist eine der historischen Leistungen des überragenden Genies, innerhalb der Mechanik den Schritt zur Aufhebung der cartesischen Metaphysik getan zu haben. Für die Klärung des Verhältnisses von Dialektik und Mechanik liegt in den Gedanken Leibnizens ein Fundus vor, der wohl noch weitgehend unausgeschöpft ist.

Der philosophische Gegensatz zu Descartes hat Leibniz auch dazu veranlaßt, Huygens' mechanischen Lehrsatz zu einem universellen Gesetz von der Erhaltung der „lebendigen Kräfte“ zu verallgemeinern. Die „Theorie der lebendigen Kräfte“ wurde von den Zeitgenossen und direkten Nachfolgern allgemein als eine *philosophische* Theorie verstanden. Leibniz hatte sie bereits 1676 in einem Brief an Oldenburg angedeutet. Es ist dabei überraschend zu sehen (und zeigt überdies praktisch, worin die Funktion der Philosophie für die Einzelwissenschaften bestehen muß), daß er in der konsequenten Verfolgung seiner allgemeinen philosophischen Bewegungsdeutung angesichts der Nichterhaltung der mechanischen Energie im unelastischen Stoß den Gedanken der *Molekularbewegung* konzipierte. Kleinere Geister geraten gewöhnlich in Aufruhr, wenn eine philosophische Aussage gewissen „Tatsachen“ zu widersprechen scheint. Sie erklären dann ihre philosophische Vergangenheit als Ausfluß von Ignoranz und Besserwisserei. Leibniz dagegen hat den Widerspruch als Gegenstand der Aufhebung des

Wissens auf eine *höhere Stufe* behandelt und damit demonstriert, worin sich *produktive* Erkenntnis zeigt.

Selbst Kant stand der Kühnheit des Gedankens von Leibniz hilflos gegenüber. „Wenn man gleich unsern Gegnern alles übrige verstattete, so kann man ihnen doch die Kühnheit nicht verzeihen, die in der Forderung steckt, daß sich in dem Stoß unelastischer Körper nicht mehr, auch nicht weniger, sondern nur gerade so viel von der Kraft durch das Eindringen verzehren sollte, als sie es selber in jedwedem Falle nach ihrer Schätzung nötig finden. Es ist eine Verwegenheit, die unmöglich zu verdauen ist,...“¹⁶ Kant verlangte, die Leibnizianer sollten doch zeigen, wie die mechanische Energie im unelastischen Stoß sich umwandelte. So etwas hätte nie ein Mensch gesehen.

Es ist wohl nicht übertrieben zu sagen, daß im eigentlichen Sinne Leibniz der Begründer des Satzes von der allgemeinen Energieerhaltung ist. Damit wird die Leistung von Mayer und Helmholtz nicht bestritten. Sie haben in der Tat erst das einzelwissenschaftliche Fundament geliefert, das diesem Satze seine Sicherheit gibt. Unbestreitbar aber bleibt zugleich die aus der Konsequenz des dialektisch-philosophischen Denkens von Leibniz erwachsene Leistung.

In diesem Zusammenhang ist weiterhin von großem Interesse, daß die in den Erhaltungssätzen zum Ausdruck kommenden Grundeigenschaften von Raum und Zeit von Leibniz zur Debatte gestellt worden sind. Die Vorstellung, daß die Bewegung in Raum und Zeit ablaufe, ist eine Unterstellung der Mechanik Newtons. Sie wurde durch die französischen Aufklärer – in durchaus geänderter Interpretation – auf dem Kontinent eingeführt. (1735 erschien Voltaires Schrift „Eléments de la philosophie de Newton“.)

Gemäß der Newton-Mechanik war das Problem der Raum-Zeit-Materie-Beziehung höchst einfach gelöst. Raum und materieller Körper standen im Verhältnis des Behälters zu seinem Inhalte zueinander, Zeit und Bewegung standen im bloß äußerlichen Verhältnis der Weltuhr zum Ablauf. Es mußte erst eine Substanz in den Behälter gegeben werden, damit dann an dieser Substanz ein Geschehen abliefe, das von der Weltuhr zu messen war. Daß überhaupt Geschehen erfolgte, lag außerhalb dieser so vorgestellten Wirklichkeitsstruktur begründet, d.h. in Gott. Unter Voraussetzung dieser Struktur war natürlich eine Erhaltung der Bewegung schlechterdings nicht einsehbar.

¹⁶ I. Kants kleinere Schriften zur Naturphilosophie, 2. Auflage, Leipzig 1907. S. 84.

Es gehört zu den tiefsten Erkenntnissen Leibnizens, daß er die mit der Newton-Mechanik verbundenen Raum-Zeit-Vorstellungen ablehnte. Diese Ablehnung ist bei ihm mit der Behauptung der Energieerhaltung verbunden. Raum und Zeit sind ihm relative Bestimmungen, „...eine Ordnung der Existenzen im Beisammen, wie...des Nacheinander...“.¹⁷ Die absolute Bewegung sieht er als ein Unding an, gewonnen nach der Methode „...derer, die wie ehemals die Scholastiker, Qualitäten zugrunde legen, von denen sich keine vernunftgemäße Rechenschaft geben läßt.“

Es ist anzumerken, daß im Sinne Leibnizens das Wort „Bewegung“ stets die Lageveränderung meint, also ein Moment dessen, was in der marxistischen Philosophie mit eben diesem Worte gemeint wird. Die „Bewegung“ im Sinne von Leibniz ist also nur die *raum-zeitliche* Erscheinung der Bewegung in der materialistischen Dialektik. Letztere Bewegung nannte Leibniz „*Kraft*“.

Es gibt nach Leibniz stets nur Bewegung als relative. Sie gilt ihm daher auch als nicht „real“. Allein die Kraft, die der gegenwärtige Zustand ist, „sofern er zu einem folgenden hinstrebt oder einen folgenden im voraus involviert“, besitzt wahrhaft „Realität“. Gesteht man der Kraft aber Realität zu, so muß man ihr notwendig ein Subjekt zugestehen. Leibniz sieht also die Kraft als einen bestimmten Zustand an, der sein Dasein in seiner Selbstaufhebung erweist, *der nur ist, insofern er sich verändert* (zu einem folgenden Zustande hinstrebt). Dies ist eindeutig dialektische Bewegungsauffassung.

Die Zustandsänderung gehorcht nun – nach Leibniz – einem allgemeinen Äquivalenzgesetz. Newton glaubt an die absolute Bewegung, Leibniz sagt: „Ich aber habe Gründe zu der Ansicht, daß nichts das allgemeine Gesetz der Äquivalenz durchbricht.“¹⁸ Der Anfang und das Ende einer Zustandsveränderung können nichts enthalten, was sie nicht beide zugleich enthalten. Wenn man will, so ist dies die geschichtlich erste Formulierung eines Symmetrieprinzips. Damit hat Leibniz die Erkenntnis der eigentlichen Bedeutung der Erhaltungssätze vorbereitet. In der Tatsache, daß sie bei Systemuntersuchungen aufgefunden werden, erweist sich, daß Energie und Impuls keine Individualeigenschaften ausdrücken, also nicht an den einzelnen „Massenpunkt“ gebunden sind.

¹⁷ Leibniz, Hauptschriften ..., a. a. 0., S. 134.

¹⁸ Ebenda, S. 244.

Der Zusammenhang zwischen der Behauptung der *res extensa* und der Impulserhaltung durch Descartes besteht darin, daß Translation und Rotation für die mechanische Wirkung keine Rolle spielen. Die Homogenität und Isotropie des Raumes ist also die Grundlage der Impulserhaltung. Der Satz Leibnizens dagegen drückt die Homogenität der Zeit aus. Nur bei ihm aber kann von einer weitgehenden Vorwegnahme dieser Erkenntnisse der modernen Physik gesprochen werden. Das „allgemeine Gesetz der Äquivalenz“ und die Symmetrieeigenschaften von Raum und Zeit liegen begrifflich nicht weit voneinander entfernt. Diese Vorwegnahme basiert auf der Grunderkenntnis, daß Raum und Zeit „Ordnungen der Existenzen“ sind, daß die Kräfte oder sich verändernden Zustände ihren Raum und ihre Zeit bestimmen. Für Leibniz sind beide nicht *Rahmen* für ein Geschehen, sondern *Ausdruck* des Geschehens.

Es kann also – nebenbei bemerkt – keine Rede davon sein, daß die klassische Mechanik etwa mit „Naturnotwendigkeit“ die Raum-Zeit-Vorstellung Newtons unterstellt oder unterstellen muß.

Wie kommt Leibniz durch die mechanische Fragestellung zur Entwicklung so grundlegender Gedanken der dialektischen Bewegungsauffassung? Er erkennt, daß der cartesische Entwurf im Grunde gar keine Mechanik darstellt, sondern bloße Geometrie. „...nicht alle Wahrheiten, die sich auf die Körperwelt beziehen, lassen sich aus bloß arithmetischen und geometrischen Axiomen ...abnehmen, sondern es müssen andere über Ursache und Wirkung, Tätigkeit und Leiden hinzukommen, um von der Ordnung der Dinge Rechenschaft zu geben.“¹⁹ Mechanik ist nur möglich, wenn die räumlichen Beziehungen der Körper als zeitliche Funktionen erklärt sind. Jene allein – und andere sind unter Voraussetzung der bloßen *res extensa* unmöglich – konstituieren Geometrie. Eben dieser Mangel der cartesischen Mechanik führt Leibniz zur Kritik der cartesischen Philosophie. Für ihn reicht Mathematik allein nicht hin, um mechanische Aussagen zu gewinnen. Er erklärt: um von der Mathematik zur Physik überzugehen, ist das Prinzip des zureichenden Grundes erforderlich. Für die Mathematik allein genüge das der Identität.

Das Prinzip des zureichenden Grundes ist das Fundament für die dialektische Philosophie Leibnizens. Es begründet den Übergang zum philosophischen Denken. (Fälschlich wurde behauptet, Leibniz habe es als logisches Prinzip angesehen.) In den

¹⁹ Ebenda, S. 270.

Vorstellungen, die Leibniz in der Auseinandersetzung mit Descartes entwickelt, lassen sich wertvolle Anknüpfungspunkte für die Diskussion des Zusammenhanges von Einzelwissenschaft, Philosophie und Mathematik gewinnen. Denn das für Leibniz relevante Problem des Überganges von der Mathematik zur Mechanik ist allgemein das des Überganges von jener zu den Einzelwissenschaften überhaupt. Im Sinne von Leibniz dürfte der Ansatz zur Bestimmung dieses Zusammenhanges etwa so formuliert werden: Mathematik wie Philosophie haben die Wirklichkeit schlechthin zum Gegenstande. Während die Mathematik sie als geordnete Mannigfaltigkeit von Objekten untersucht, wobei die natürlichen Dinge allein als Objekte überhaupt gelten (was gerade der Identitätssatz festlegt), bestimmt die Philosophie die Wirklichkeit in bezug auf „Tätigkeit und Leiden“, wobei die natürlichen Dinge als Akteure (als tätig und leidend) gelten. Philosophie und Mathematik haben also die Wirklichkeit unter *entgegengesetzten* Voraussetzungen zum Gegenstand. Beide sehen von der sinnlichen Gegenständlichkeit ab, von aller *besonderen* Natur wirklicher Objekte. Indem diese berücksichtigt wird, wird der Übergang zur Einzelwissenschaft vollzogen, wobei dann Mathematik und Philosophie als besondere Voraussetzungen behandelt werden.

Leibniz, der sich ja den Kampf gegen die Materialisten zum Ziel gesetzt hatte, erklärte, daß eine rein mathematische Argumentation unzureichend für diesen Kampf wäre: „...der Zusatz jedoch, daß die mathematischen Prinzipien der Philosophie denen der Materialisten entgegengesetzt sind, ist, wie ich meine, grundlos. Im Gegenteil, es sind dieselben, nur daß die Materialisten wie Demokrit, Epikur und Hobbes sich auf die mathematischen Prinzipien beschränken und einzig Körper, die christlichen Mathematiker dagegen außerdem noch immaterielle Substanzen gelten lassen.“²⁰ Nicht mathematisch, philosophisch ist den Materialisten entgegenzutreten. Leibniz hat wohl in einer Tiefe den Zusammenhang von Mathematik und Philosophie gesehen, wie er bis heute nicht wieder ins allgemeine Bewußtsein gerückt ist (was entschieden mit den Bedingungen der nachrevolutionären, spätbürgerlichen Wissenschaftsentwicklung zusammenhängt). Nie ist dieser Zusammenhang klassischer ausgedrückt worden als durch Leibniz: „Ohne die Mathematik dringt man niemals auf den Grund der Philosophie. Ohne die Philosophie

²⁰ Ebenda, S. 124.

dringt man niemals auf den Grund der Mathematik. Ohne beide kommt man auf den Grund von gar nichts.“²¹

Es ist vielleicht die Bemerkung nötig, daß der Kampf Leibnizens gegen die Materialisten nicht etwa mit einer sozialen Haltung zusammenfällt, die man als reaktionär bezeichnen könnte. Weder sind geschichtlich die Materialisten stets als Bannerträger des sozialen Fortschritts aufgetreten, noch waren ihre Antipoden immer Ideologen der reaktionären Klasse. Leibniz jedenfalls war im besten Sinne politisch progressiv und ein bedeutender Verfechter der nationalen Einheit Deutschlands.

Sein Kampf gegen die Materialisten ist philosophisch nur richtig zu verstehen, wenn man ihn als Kampf gegen die *Metaphysik* begreift. Und aller vormarxistischer Materialismus konnte kein anderer als metaphysischer sein. Worum es Leibniz wesentlich ging, das war die „tätige Seite“ an der Wirklichkeit, die der vormarxistische Materialismus *nicht* begreifen und darstellen konnte. Gleichzeitig aber ist die Darstellung eben dieser unter Voraussetzung der sozialen Bedingungen vor der Existenz der industriellen Arbeiterklasse gar nicht anders denn idealistisch möglich. Um zur Dialektik zu kommen, mußte Leibniz zugleich gegen den Materialismus Front machen. Dialektischer Materialismus ist nur als Philosophie der *Arbeiterklasse* möglich und wirklich.

Dies ist deshalb der Fall, weil die „tätige Seite“ erst in und mit der industriellen Arbeiterschaft als grundlegende Bestimmung des Menschseins ins gesellschaftliche Bewußtsein dringt. Alle früheren Klassen entwickeln die Menschlichkeit stets nur in besonderer Beschränktheit. Als herrschende Klassen sind sie im Gesamtprozeß der menschlichen Reproduktion gegen die beherrschten Klassen die Kommandeure der Arbeit, nicht die Arbeiter selbst. Sie *denken* den Zweck und die Organisation der Produktion, aber sie *produzieren nicht*. Daher erscheint ihren Ideologen das Menschsein als identisch mit der denkenden Tätigkeit. Mit der industriellen Arbeiterklasse entwickelt sich die geschichtliche Möglichkeit, daß Zwecksetzung, also Kommando über die Produktion, und die Produktion selbst *vereinigt* werden, d.h. die Klassenexistenz des Menschseins verschwindet. Eben damit kann die Philosophie die Einheit der tätigen und objekthaften Seite der Wirklichkeit denken, d.h. dialektischer Materialismus werden.

²¹ Zit. bei K. Strubecker, Physikalische Blätter 7/1962.

Bei Leibniz kommt der Übergang zum Idealismus durch die Gegenüberstellung von „relativer“ Bewegung und „realer“ Kraft zustande. Damit ist eben die Relativität als das *Nichtreale* unterstellt. Das bedeutet, daß die Kraft selbst von den objektiv-realen Dingen abgelöst wird (wie auch Hegel die Subjektivität von den Gegenständen löst, deren Subjektivität sie ist!). Daher ist Leibniz dann gezwungen, *nachträglich* der Kraft wieder ein Subjekt zuzuschreiben, das sie besitzt. Es ist die *Monade*. Hierin zeigt sich deutlich die Unfähigkeit des vormarxistischen dialektischen Denkens, die Wirkungsfähigkeit als *gegenständliche* zu denken, d.h. die Einheit des Tätigen mit den Umständen seiner Tat. Sie wird zwar gesehen, aber als besondere Substanz verselbständigt, womit der Idealismus perfekt ist. Das Allgemeine, das wirklich nur als das allen Dingen Gemeinsame ist (und diese haben nur etwas miteinander gemein, indem sie gegeneinander wirken!), wird von eben diesen Dingen gelöst und als selbständige Kraft gedacht.

Für unsere Frage nach dem Zusammenhang von Mechanik und metaphysischem Materialismus ergibt sich die Feststellung, daß geschichtlich keine eindeutige Zuordnung beider bestand. Wie Leibnizens Beispiel demonstriert, hat die Beschäftigung mit der Mechanik hier nicht den „mechanischen“ Materialismus hervorgebracht, sondern führte vielmehr zu wesentlichen Ansätzen der Dialektik. Damit kann selbstverständlich die Auffassung vom Zusammenhang der „noch überwiegend mechanischen Naturwissenschaft“ mit dem metaphysischen Denken nicht als allgemein zutreffend angesehen werden. Dieses Problem ist entschieden vielschichtiger, als es in einer solchen Behauptung ausgesprochen wird.

d) Kant und d'Alembert

Im Rahmen dieser Darstellung ist es nicht möglich, den gesamten Ablauf des Streits darzustellen. Es sei hier noch auf ein merkwürdiges Phänomen seiner geschichtlichen Gestaltung eingegangen, das bis heute grundlegende Bedeutung für das augenblickliche Verständnis des Zusammenhanges der Wissenschaft hat. Es handelt sich um die *Trennung* von Mathematik und Philosophie. Während nämlich die Ausbildung des mechanischen Begriffsgefüges durch d'Alembert in der Konsequenz zur Preisgabe philosophischer Erörterungen innerhalb der mechanischen Erkenntnis führt, weist der philosophische Weg aus diesem Streit zur Behandlung erkenntnistheoretischer Fragen durch Kant unter Preisgabe mathematischer Untersuchungen. D'Alembert und Kant sind die wichtigen

Repräsentanten der beiden Wege. Während der erstere jegliche „Metaphysik“ (hier im Sinne von philosophischer Problematik schlechthin) zu eliminieren sucht, sich rein mathematisch zu verhalten trachtet, eliminiert Kant gerade die Mathematik und verwandelt die „Metaphysik“ in Erkenntnistheorie. Kants „Gedanken von der wahren Schätzung der lebendigen Kräfte ...“ erschienen 1747. In dieser Arbeit findet sich kein Hinweis auf d’Alembert, so daß angenommen werden kann, daß er dessen Werk nicht kannte (es erschien 1743).

Da Kant zur mechanischen Auflösung des Streits nichts beigetragen hat, sondern offenbar manche Erkenntnisse der Mechanik, die schon allgemein anerkannt waren (z.B. den Trägheitssatz), nicht begriff, soll er hier vor d’Alembert zu Worte kommen. Denn die Darstellung des Franzosen führte im wesentlichen zum Ende des Streits.

Mit Kants Schrift kündigt sich die Wende in der Philosophie in eigenartiger Weise an. Während fast alle deutschen Gelehrten die Partei Leibnizens ergriffen, kehrte Kant ihr den Rücken. Er behauptete die Gültigkeit des cartesischen Maßes in der Mathematik, die des Maßes Leibnizens in der Natur. Die lange Dauer und die scheinbare Berechtigung beider Seiten, deren Grundbehauptungen sich zugleich widersprachen, veranlaßte Kant, das Problem des Beweises und der Methode zum Aufdecken fehlerhafter Beweise zu untersuchen. Damit brachte er ein völlig neues Moment in die Diskussion. Er erklärte: „Mit einem Worte: diese ganze Abhandlung ist einzig und allein ein Geschöpf dieser Methode zu denken.“²² Sein Ziel war, eine „Gewißheit, die der geometrischen gar nicht weicht“, in die Handhabung der verwendeten Kategorien zu bringen, also deutlich zu machen, was denn „lebendige Kraft“, „wirkliche Bewegung“ etc. wären. Die Tyrannei der Irrtümer hätte wegen des Mangels einer sicheren Methode ganze Jahrhunderte gewährt.

Kant gestand, daß er anfänglich bei den Beweisen der Leibnizianer nicht den geringsten Fehler vermutet hätte. Jedoch mit Hilfe seiner Methode, zu der er durch den Cartesianer Mairan angeregt worden wäre, hätte er dem Fehler auf die Spur kommen können. „Ich sah, daß die Wirklichkeit der Bewegung die Bedingung dieses Kräftemaßes sei, ...“²³

²² I. Kants kleine Schriften ..., a. a. O., S. 111.

²³ Ebenda.

Die Untersuchung des Begriffs „wirkliche Bewegung“, den Leibniz zur Begründung der „lebendigen Kraft“ eingeführt hatte, stellte den Kern der Argumentation Kants dar. Dabei verwendete er gerade das Gesetz der Kontinuität gegen Leibniz, das dieser gegen Descartes entwickelt hatte. Kant argumentierte in folgender Weise: Merkmal der „wirklichen Bewegung“ ist das Verfließen einer Zeit. „Diese verflossene Zeit, ...macht es eigentlich, daß man diese Bewegung wirklich nennen kann.“²⁴ Nun erscheine aber im Maß Leibnizens die Zeit nicht als bestimmte Größe, sondern sei ganz undeterminiert. Daher könne man sie so klein annehmen, wie man wolle, um eine Bewegung als „wirklich“ zu erklären. Es sei ja nur die Zeit überhaupt gefordert. Nach Leibniz ist eine sehr kleine Dauer der Bewegung von dem bloßen Anfange derselben nicht zu unterscheiden (wegen des Gesetzes der Kontinuität). Im Anfange aber sei die „lebendige Kraft“ verloren, „...es ist also die Verkleinerung dieser Zeit kein Grund, der der Bedingung der lebendigen Kraft etwas entzieht und ist doch zugleich ein Grund hierzu, welches sich widerspricht.“²⁵

Es wäre somit, da die Zeit das Merkmal der „wirklichen Bewegung“ darstellt, sie zugleich – wegen des Kontinuitätsgesetzes – beliebig klein gehalten werden kann, so daß der Anfang nicht von einer sehr kleinen Zeitdauer unterscheidbar ist, das Maß Leibnizens auch für den Anfangszustand gültig. Eben dies ist der Grund seiner Unzulässigkeit. „Es ist unmöglich, sich zu überreden, daß ein Körper, der im Punkte A eine tote Kraft hat, eine lebendige, die unendlichmal größer ist wie die tote, haben sollte, wenn er sich nur um eine unmerklich kleine Linie von diesem Punkte entfernt hat. Dieser Sprung der Gedanken ist zu plötzlich, es ist kein Weg, der uns von der einen Bestimmung zur anderen überführt.“²⁶

Es ist der dialektische Sprung von der Trägheitsbewegung zur beschleunigten Bewegung, den Kant sah und *leugnete*. Unbestreitbar ist Kant hier am eigentlichen philosophischen Kern des Streits, und zwar näher als jeder andere Teilnehmer. Er kommt an den dialektischen Widerspruch heran, jedoch nur, um ihn zu leugnen. Dies ist in der Grundanlage der Gegenstand der Philosophie Kants überhaupt. Er wird in der Teilnahme am Streit gewonnen! Bei Leibniz erscheint das dialektische Denken noch im deduktiven, d.h. ihm nicht adäquaten Gewande. Das Prinzip des zureichenden Grundes ist eben – Prinzip, also „oberster Grundsatz“. Leibniz steht damit ganz in der cartesischen Tradition.

²⁴ Ebenda, S. 37.

²⁵ Ebenda, S. 39.

²⁶ Ebenda, S. 41.

Kant zeigt nun, daß die praktische Anwendung des Prinzips den Widerspruch zeitigt. Indem ein zureichender Grund gefunden ist, ist dieser zugleich nicht zureichend. Kant enthüllt den Kern des Prinzips – und erschauert angesichts des Enthüllten, des Widerspruchs.

Welchen Lösungsweg beschreitet er? Da die Zeit eben wegen jenes Widerspruchs nicht Merkmal der „lebendigen Kraft“ sein könne, so ist diese von der Behandlung durch die Mathematik von vornherein ausgeschlossen. Mathematisch gelten an der Bewegung nur Geschwindigkeit, Masse und Zeit. Weder die Geschwindigkeit noch die Zeit sind Grund der „lebendigen Kraft“. Das bedeutet: „Die Mathematik bestätigt schon ihrer Natur nach Cartesens Gesetze.“²⁷ Die Kraft kann nie andere Eigenschaften haben als die, die schon in der unendlich kleinen Zeit vorhanden sind. d.h. vom Anfangszustand an. Da dies die tote Kraft ist, sind alle Bewegungen einzig nach der Geschwindigkeit zu messen.

Die Mathematik „...setzet den Begriff von ihrem Körper selber fest mittelst der Axiomatum, ...welche aber so beschaffen sein, daß sie an demselben gewisse Eigenschaften nicht erlauben..., die an dem Körper der Natur doch notwendig anzutreffen sind; folglich ist der Körper der Mathematik ein Ding, welches von dem Körper der Natur ganz unterschieden ist,...“²⁸) Die Mathematik läßt nur äußerliche Kräfte zu. „Dieses ist ein Grundgesetz der Mathematik.“²⁹ Der Körper der Natur aber hat eine Kraft, die keiner äußeren Ursache entsprungen und daher auch nicht mit dem Maße Descartes' zu messen ist.

In dieser Argumentation Kants ist im Grunde der Standpunkt Leibnizens wiederholt, aber von einer *ganz anderen* Voraussetzung her, nämlich vom Standpunkt des naiven, spontanen Materialismus. Der „Körper der Natur“ ist nicht vergleichbar mit jener subtilen Bestimmung der Subjektivität der „realen“ Kraft, die Leibniz vorgenommen hatte. Kant meint vielmehr den sinnlich-gegenständlichen, handgreiflichen natürlichen Gegenstand. Aus der unmittelbaren Anschauung fließt das Argument, daß der „Körper der Natur“ ohne äußere Ursache Wirkungen auszuüben vermag. Insofern also steht Kant im Gegensatz zu Leibniz, als er vom Standpunkt des *spontanen Materialismus* die immanente Wirkungsfähigkeit der natürlichen Dinge erklärt, die sein großer Vorgänger erst aus der

²⁷ I. Kants kleine Schriften..., a. a. O., S. 45.

²⁸ Ebenda, S. 165f.

²⁹ Ebenda, S. 166.

tiefgehenden theoretischen Reflexion gewinnt. Insofern sie jedoch beide die unmittelbare Identität des mathematischen Körpers mit dem natürlichen verneinen, die Wirklichkeit also nicht in der Bestimmung ihrer bloßen Objektivität erfassen, stehen sie durchaus in gemeinsamer Front gegen Descartes und in der Tradition der deutschen Philosophie überhaupt.

Es ist interessant zu sehen, wie Kant den materialistischen Standpunkt nicht durchzuhalten fällig ist. Er scheitert am dialektischen Widerspruch, den er klarer erkennt als jeder beliebige Vorgänger. Aber er vermag den Widerspruch *nur im Sinne des logisch-mathematischen Denkens zu behandeln*, d.h. er schließt ihn aus. So kommt er schon hier – in seiner Jugendarbeit – zu jener prinzipiellen Lösung, die er in der sogenannten „kritischen“ Periode für das Antinomienproblem ausspricht. Er führt eine *prinzipielle* Trennung zwischen dem mathematischen Körper und dem „natürlichen“ durch. Der mathematische Körper erscheint ihm als reine Denkbestimmung. Kant sieht nicht, daß der mathematische im natürlichen als wirkliches Moment enthalten ist, nämlich in seinem Dasein als Objekt schlechthin, daß er nur deshalb überhaupt als mathematischer gewonnen werden kann.

Indem der Körper als mathematischer zur reinen Denkbestimmung erhoben wird, ist das Allgemeine nicht mehr als objektiv-real begriffen. Bis zu seiner Erklärung, apriorische Voraussetzung aller empirischen Erkenntnis zu sein, ist kein großer Schritt mehr nötig. Der ursprüngliche spontan materialistische Standpunkt verkümmert zum agnostizistischen.

Einige weitere Bemerkungen des jungen Kant seien noch angeführt, die aufschlußreich für die Bedeutung und Tiefe des Streits sind. Durch ihn werden die Grundprobleme der begrifflichen Abbildung der Bewegung auf neue Weise gestellt. Im ersten Hauptstück der „Gedanken von der wahren Schätzung ...“ bemerkt Kant u. a.: „Wenn die Substanzen keine Kraft hätten, außer sich zu wirken, so würde keine Ausdehnung, auch kein Raum sein ...Denn ohne diese Kraft ist keine Verbindung, ohne diese keine Ordnung und ohne diese endlich kein Raum.“³⁰ Die metrischen Eigenschaften werden also auf die dynamischen bezogen. Für Kant folgt dies aus dem Satz vom zureichenden Grunde. Nach diesem müsse eine Eigenschaft von derjenigen hergeleitet

³⁰ I. Kants kleine Schriften..., a. a. O., S. 23.

werden, die den Grund eines Dinges in sich selbst enthalte. Hier zeigt sich wiederum in aller Gegnerschaft zu Leibniz der innere Zusammenhang des Standpunktes beider.

An seine Überlegung knüpft Kant dann die von der Möglichkeit anderer Geometrien als derjenigen Euklids. Die Dreidimensionalität scheint ihm daher zu rühren, daß die Substanzen so ineinander wirken, daß sich die Stärke ihrer Wirkung verhält wie das umgekehrte Quadrat der Weiten. Dieser Zusammenhang sei aber willkürlich. Gott hätte auch eines mit dreifacher umgekehrter Proportionalität wählen können, woraus sich eine andere Art von Ausdehnung mit anderen Abmessungen ergeben würde. „Eine Wissenschaft von allen diesen möglichen Raumesarten wäre unfehlbar die höchste Geometrie, die ein endlicher Verstand unternehmen könnte.“³¹ Kant erklärt weiter: „Wenn es möglich ist, daß es Ausdehnungen von anderen Abmessungen gebe, so ist es auch sehr wahrscheinlich, daß sie Gott wirklich irgendwo angebracht hat.“³² Diese Räume müßten eigene Welten ausmachen. Sie könnten mit unserer dreidimensionalen nicht verbunden sein, weil sie dann selbst dreidimensional wären, also Teil der unsrigen. Allerdings störten viele separate Welten Gottes Vollkommenheit. Daher sei ihre Existenz nicht als sehr wahrscheinlich anzunehmen, „...es sei denn, daß vielerlei Raumesarten ...möglich sind“.³³

In dieser sicher naiven Darstellung weht ein revolutionärer Atem, der mit einem Federstrich Gottes Möglichkeiten als die des menschlichen Verstandes ausspricht. Zugleich ist deutlich, daß der spätere „kritische“ Standpunkt auch eine Zurücknahme ursprünglicher Tendenzen bedeutet, die man für das Gesamturteil über Kant jedoch nicht unbeachtet lassen darf. Wenn gelegentlich die Ablehnung der nichteuklidischen Geometrie als Konsequenz der Philosophie Kants dargestellt wird, so übersieht man zumeist den inneren geschichtlichen Zusammenhang, in dem der Apriorismus als Lösung entwickelt worden ist. Überdies identifiziert man Kant mit den Kantianern, die produktive Philosophie mit ihrem dogmatischen Aufguß.

Mit d’Alembert ist der Wendepunkt im Ablauf des Streits erreicht. Seine Gedanken werden aus einem neuen philosophischen Begriff geboren, dem der Wechselwirkung, den d’Alembert in energischer Ablehnung der metaphysischen Kausaldeutung entwickelt. Er erklärt, daß man weder aus dem durchlaufenen Raum noch der dazu nötigen Zeit allein

³¹ Ebenda, S. 25.

³² Ebenda, S. 25.

³³ Ebenda, S. 26.

die Kraft abschätzen könne, die ein in Bewegung befindlicher Körper besitze. „Wenn man von der Kraft der in Bewegung befindlichen Körper spricht, so verbindet man entweder gar keine präzise Vorstellungen mit diesem Ausdrucke, oder man kann darunter im allgemeinen nichts anderes verstehen, als die Eigenschaft der bewegten Körper, die Hindernisse, welche ihnen begegnen, zu überwinden oder denselben Widerstand zu leisten.“³⁴ Die „Kraft“ sei einzig aus der Größe der Hindernisse zu entnehmen, sofern man unter dem Begriffe der „Kraft“ „...nicht irgend ein vermeintliches Wesen, welches im Körper seinen Wohnsitz hat, bezeichnen will, und man sich dessen bloß als Abkürzung des Ausdrucks für eine Tatsache bedient, wie man etwa auch sagt, daß ein Körper eine doppelt so große ‚Geschwindigkeit‘ habe, als ein anderer, anstatt zu sagen, daß er in der gleichen Zeit einen doppelt so großen Raum durchläuft, ohne deshalb zu meinen, daß das Wort ‚Geschwindigkeit‘ ein den Körpern anhaftendes Wesen bezeichne“.³⁵ Verwende man den Ausdruck „Kraft“ in diesem Sinne, so sei es gar nicht von Nachteil, daß es verschiedene Kraftmessungen gebe. Denn es gebe ja auch verschiedene Arten von Hindernissen.

In dieser Argumentation ist zunächst wichtig, daß d’Alembert gemäß des *Wechselwirkungsprinzips* zur Betrachtung des Gesamtzusammenhanges fortschreitet. Ursache und Wirkung werden in ihrer Einheit genommen. So kann der mechanische Sachverhalt tatsächlich erfaßt werden. Die metaphysische Kausalvorstellung hält beide Bestimmungen als fixe auseinander. Daher ist diesem Denken die Erscheinung, daß eine Ursache, die „bewegende Kraft“, zweierlei Arten von Wirkung haben solle, unfaßbar. D’Alembert meint dazu: „Diese Verschiedenheit der von einer und derselben Ursache hervorgerufenen Wirkungen kann, nebenbei bemerkt, dazu dienen, um einsehen zu lernen, wie wenig Berechtigung und Exaktheit das vermeintliche Axiom besitzt, von welchem so oft Gebrauch gemacht wird, nämlich jenes über die Proportionalität der Ursachen und ihrer Wirkungen.“³⁶

Die metaphysische Reduktion der Ursache-Wirkungs-Beziehung auf ein reines Proportionalitätsverhältnis ist die direkte Konsequenz der Fixität beider Bestimmungen. Mit Hilfe des Begriffs der Wechselwirkung kann d’Alembert dem „Hindernis“ selbst eine

³⁴ Vorreden und Einleitungen..., a. a. O.. S. 56.

³⁵ Ebenda, S. 56.

³⁶ Ebenda, S. 59.

Kraft zuschreiben. Dies ist eine der metaphysischen Kausaldeutung nicht mögliche Folgerung, da sie die Wechselwirkung von vornherein ausschließt.

Das Wechselwirkungsprinzip seinerseits wird unmittelbar durch die Systemmechanik aufgedrängt. Es gestattet, „Kraft“ als Ausdruck der Hindernisüberwindung wie des Widerstandes gegen diese Überwindung zu deuten. Es zeigt sich hier klar, wie der Fortschritt in der Einzelwissenschaft Mechanik zu neuen philosophischen Begriffen, diese wieder zum Fortschritt jener beitragen. Der Wechselwirkungsbegriff ist die Basis des berühmten D'Alembert-Prinzips der Mechanik.

Sicher hat die Entscheidung d'Alemberts bezüglich des Streits etwas von einem salomonischen Urteil an sich: da es verschiedene Hindernisse gibt, so ist die Existenz verschiedener Maße kein Nachteil! Berücksichtigt man aber seine Argumentation vom Gesichtspunkt seiner Überlegungen zum *Grenzwertbegriff*, so ist mit Bestimmtheit zu sagen, daß er durchaus den mathematischen Kern des Streits vor Augen hat. Er erklärt: „Doch muß man zugeben, daß die Ansicht derjenigen, welche die Kraft als das Produkt der Masse und der Geschwindigkeit ansehen, nicht nur im Falle des Gleichgewichts, sondern auch in jenem der verzögerten Bewegung in Geltung bleiben kann, wenn man in letzterem die Kraft, nicht nach der absoluten Menge der Hindernisse, sondern nach der Summe der Widerstände, welche diese Hindernisse leisten, mißt.“³⁷

Wesentlich ist die Unterscheidung von *absoluter Menge* und *Summe der Widerstände*. Jene ist nichts anderes als der endliche Grenzwert dieser. Dabei sieht d'Alembert ausdrücklich als Glieder dieser Summe die Produkte aus den Widerständen und den „unendlich kleinen“ Zeiten an. Allein in der Unsicherheit seines Grenzwertbegriffs liegt begründet, daß der Schiedsspruch nicht völlig ausgereift ist. (Dabei muß man aber berücksichtigen, daß noch Lagrange die Idee des Grenzwerts nicht begriff.) In der Entscheidung offenbart sich die heranreifende Möglichkeit einer mathematischen Begründung des Rechnens mit den „unendlich kleinen“ Größen. Eben diese Begründung macht den Zusammenhang von Impuls und Energie mathematisch deutlich, schafft den Streit aus der Welt.

³⁷ Ebenda, S. 57.

Es ist sicher ungerechtfertigt zu sagen, daß d'Alembert ebenso unklar wie seine Vorgänger gewesen sei.³⁸ Im Gegenteil, sein als „mathematischer Bock“ bezeichneter Unterschied zwischen absoluter Menge und Summe der Widerstände ist tatsächlich Ausdruck einer der bedeutsamsten Erkenntnisse der Mathematik. Die geschichtliche Stellung d'Alemberts als Schiedsrichter im Streit der Cartesianer und Leibnizianer kann nicht angefochten werden. Faktisch ist durch die Bildung des D'Alembert-Prinzips auch die Behandlung mechanischer Probleme auf eine Stufe gehoben worden, die die Benutzung der strittigen Maße nicht mehr problematisch erscheinen ließ.

Die Schranke in der Auffassung d'Alemberts ist vielmehr in einer anderen Richtung zu suchen. Indem er gegen die „metaphysischen Wesenheiten“ kämpft, die „Kraft“ allein als Ausdruck einer Tatsache nimmt, ist so jenes Moment *im Keim* entwickelt, das zur positivistischen Ausschließung der Philosophie aus der Naturwissenschaft führt. Mit den „metaphysischen Wesenheiten“ wird gewissermaßen das Kind mit dem Bade ausgeschüttet. Der Tatsachenfetischismus ist etabliert. So richtig die Wendung gegen die „Wesenheiten“ ist, die Ausdruck der metaphysischen Deutung des konkreten Zusammenhanges der natürlichen Dinge sind (d.h. substantialisierte Bestimmungen ihrer allgemeinen Wirkungsfähigkeit), so unsinnig ist die Behauptung, daß man sich allein mit „Tatsachen“ beschäftige. Dabei werden diese im Sinne der erkenntnistheoretischen Konzeption Lockes unterstellt, d. h. als rein äußerliche Gegenstände, die es allein anzuschauen gilt, um einen inneren Eindruck hervorzubringen.

Die so verstandene „Tatsache“ enthält selbst schon eine philosophische Bestimmung, nämlich „objektiv“ zu sein. Aber etwas wird zu einer Tatsache, indem es zur Sache der Tat gemacht wird. Und durch eben dieses Tun wird uns die Sache stets in bestimmter Beziehung wesentlich, wird aus ihrer reinen Objektivität genommen und als inneres Moment der Tat bestimmt, die wirklich nur als Einheit des tätigen Subjekts mit seinem Objekt ist. In dieser gegenständlichen Tätigkeit wird das „Wesen“ des Dinges erfahren unter Voraussetzung der Bestimmtheit der subjektiven Aktion. Die Wesenheiten hängen natürlich nicht den Dingen an, sofern sie einander äußerlich bleiben (also in der reinen Objektivität verbleiben), aber indem die Dinge gegeneinander wirken, sind sie einander wesentlich. Dies auf den Begriff zu bringen, ist Sache der Philosophie.

³⁸ F. Engels, Dialektik der Natur, a. a. O., S. 380.

Die Konsequenz zieht dann auch Lagrange, der von allen metaphysischen Spekulationen als von nicht in die Wissenschaft gehörigen absehen will. Die wirkliche Vernunft dieses Standpunktes kann allein darin gesehen werden, die *Autonomie* des *mathematischen* Denkens hervorzuheben. Ihn als Banner gegen das philosophische Denken zu erheben, ist selbst Philosophie, die platteste, die zu denken ist.

2. Zu den philosophischen Grundlagen der Mechanik

Aus der Untersuchung des Streits der Cartesianer und Leibnizianer seien nun einige verallgemeinernde Schlußfolgerungen gezogen, die das Verhältnis der klassischen Mechanik zur Philosophie überhaupt betreffen. Zuvor wird es nützlich sein, die Darlegungen von F. Engels zum Problem der mechanischen Bewegung zu diskutieren. Er hat sich ja bekanntlich auch auf den Streit bezogen, so daß die Diskussion seiner Auffassung den Rahmen dieser Darstellung nicht sprengt.

a) Engels' Einschätzung des Streits

In seinem bekannten Fragment „Maß der Bewegung. – Arbeit“, das in der „Dialektik der Natur“ abgedruckt ist, bezieht sich Engels u. a. auf den Streit der Cartesianer und Leibnizianer. Soweit in ihm sachliche und historische Einschätzungen auftreten, die m. E. nicht gerechtfertigt sind, wurden sie in den bisherigen Ausführungen – ohne besondere Hervorhebung – richtiggestellt.

Hier soll Bezug auf zwei wichtige Fragestellungen des Fragments genommen werden. Dabei ist zunächst zu betonen, daß die Grundposition in der Behandlung des Zusammenhanges von Mechanik und Dialektik, die in dieser Darstellung eingenommen ist, keine andere als die von *Engels* formulierte ist, daß nämlich die Richtigkeit des dialektischen Denkens nicht allein aus der Untersuchung der gesellschaftlichen, sondern auch in der theoretischen Aneignung der *Naturbewegung* sich bestätigen muß. Wenn hier nicht zutreffende Auffassungen von Engels diskutiert werden, so geht es dabei ausschließlich um die Weiterbildung der von Engels mitbegründeten dialektisch-materialistischen Philosophie.

Die Philosophie der Arbeiterklasse ist wie jede Wissenschaft kein abgeschlossenes System. Sie gibt keine ein für allemal gültige Erklärung der Wirklichkeit, sondern muß notwendig den Zusammenhang ihrer Aussagen beständig weiterbilden, den neuen Resultaten der natur- und gesellschaftswissenschaftlichen Erkenntnisse anpassen. Daher ist natürlich eine kritische Überwindung auch von Vorstellungen der Begründer dieser Philosophie gerade im Sinne der Begründer selbst. Eine Konservierung zeitbedingter

Fehlurteile wäre in der Tat ein wirklicher Bruch mit dem Grundkonzept des dialektischen Materialismus.

Die erste zu untersuchende Fragestellung betrifft Engels' Ausgangsposition überhaupt. Sie besteht in der ihm möglich scheinenden *Alternative von dialektischem Denken und „mathematischem Rechnen“*. „Vielleicht aber stellt sich heraus, daß da, wo es sich um Begriffe handelt, dialektisches Denken mindestens ebenso weit führt wie mathematisches Rechnen.“³⁹ Auch im weiteren Verlauf spricht Engels von der „rein rechnenden Mechanik, bei der ... Wortbezeichnungen nur andere Ausdrücke, Namen für algebraische Formeln sind, ...“. Dialektisches Denken und „mathematisches Rechnen“ werden so als zwei mögliche Weisen der Erkenntnis unterstellt, die miteinander nicht kommunizieren.

Diese Trennung ist *nicht* akzeptabel. Sie beruht auf der durch die klassische deutsche Philosophie hervorgebrachten Auffassung, daß mathematische Erkenntnis quantitative Bestimmung endlicher Größenverhältnisse sei (Hegel), daß sie sich sozusagen in der Kunst des Rechnens erschöpfe, ohne im eigentlichen Sinne Neues zu erkennen. Mit der klassischen deutschen Philosophie ist geschichtlich ein Verhältnis von Mathematik und Philosophie zustande gekommen, das bis heute offenbar nichts von seiner gespannten Schärfe verloren hat. Es handelt sich dabei um ein grundsätzliches Phänomen einerseits der *nachrevolutionären bürgerlichen* Wissenschaftsentwicklung überhaupt, andererseits aber auch um den spezifischen Zusammenhang zwischen mathematischen und philosophischen Erkenntnisvorgängen, der nicht als geklärt angesehen werden kann.

Für Engels jedenfalls stellt sich dieser Zusammenhang als rein *äußerliche* Alternative dar: hier philosophisches Begreifen – dort mathematisches Rechnen. Unter Voraussetzung dieser Alternative ist es übrigens allein von der Zufälligkeit des eingenommenen Standpunktes (d. h. des philosophischen oder mathematischen) abhängig, ob man dem philosophischen Begreifen oder dem mathematischen Rechnen die Krone des wissenschaftlichen Erkennens zubilligt. Es entsteht dann jener begrifflose Streit zwischen Philosophen und Mathematikern über die „wahre“ Natur des Widerspruchs, der Identität usw. Sie wirkt sich aber auch so aus, daß Vorstellungen von einer prinzipiellen Unerreichbarkeit bestimmter Bereiche für die Mathematik proklamiert werden.

³⁹ Ebenda, S. 370.

Umgekehrt wird allein „exaktes“ (d. i. mathematisches) Erkennen als „wirkliches“ Erkennen geweiht.

Nun bildet die Frage nach dem Verhältnis zwischen Mathematik und Philosophie einen ganz eigenen Gegenstand (wie auch die Frage nach den bestimmten geschichtlichen Ursachen der in jener Alternative sich ausdrückenden besonderen Gestalt dieses Verhältnisses). Dieser Gegenstand kann hier nicht gründlicher überlegt werden. Wenigstens hinsichtlich der Mechanik läßt sich aber sicher sagen, daß eine Beurteilung ihrer Aussagen ohne Rücksicht auf die verwendete Mathematik ganz *unmöglich* ist. Die theoretische Mechanik ist die mathematisierte Einzelwissenschaft par excellence. Ihre inhaltlichen Begriffsentwicklungen sind untrennbar von den mathematischen Strukturen, in denen sie überhaupt erst bestimmte Bedeutung haben. Dies hat die philosophische Reflexion der mechanischen Abbildung der objektiven Realität vorauszusetzen. Sie kann daher nicht von der in der Mechanik verwendeten Mathematik, vom „mathematischen Rechnen“ absehen. Engels' Alternative ist mindestens bezüglich der Mechanik *nicht* brauchbar.

Grundsätzlich läßt sich darüber hinaus sagen, daß die Vorstellung, die Art und Weise des mathematischen Herangehens bestände im „mathematischen Rechnen“, unzutreffend ist. Diese Vorstellung unterstellt, daß es sich um eine mehr oder weniger zufällige Aneinanderreihung von Syllogismen, gewissermaßen um eine Sammlung ausgeklügelter Tricks handele. Für Hegel z.B. war die Mathematik die Kunst des Produzierens einer Folge von Deduktionen aus vorausgesetzten Bestimmungen, die selbst „endliche Größenbestimmungen“ wären. So galt ihm die Mathematik als Sache des Verstandes, nicht aber der Vernunft. Das Problem der *Abstraktion* hat er zwar in Angriff genommen, konnte es aber wegen seiner idealistischen Grundhaltung nicht lösen. Daher blieb er in einer engen, einseitigen Betrachtung des Phänomens Mathematik. Allerdings hatte Hegel eine Ahnung von der universellen Natur des mathematischen Denkens. „Man könnte ...den Gedanken einer philosophischen Mathematik fassen, welche dasjenige aus Begriffen erkannte, was die gewöhnliche mathematische Wissenschaft ...nach der Methode des Verstandes ableitet. Allein da die Mathematik einmal die Wissenschaft der endlichen Größenbestimmungen ist, welche in ihrer Endlichkeit fest bleiben und gelten, nicht übergehen sollen, so ist sie wesentlich eine Wissenschaft des Verstandes; und da sie die Fähigkeit hat, dieses auf eine vollkommene Weise zu sein, so ist ihr der Vorzug, ...,

vielmehr zu erhalten und weder durch Einmischung des ihr heterogenen Begriffs noch empirischer Zwecke zu verunreinigen.“⁴⁰ Der Gedanke Hegels von einer „philosophischen Mathematik“ (d. i. im vernünftigen Sinne die Konzeption der mathematischen Grundlagenforschung) blieb aber ohne Konsequenzen. Im Gegenteil, Hegel hat noch in den zwanziger Jahren seines Jahrhunderts ausdrücklich Mathematiker gerügt, die sich „in die ...formelle Metaphysik von kontinuierlicher Größe, Werden, Fließen usf. ...einlassen“. Zu dieser Zeit war Cauchys Arbeit schon erschienen (nämlich 1821); von ihr hatte Hegel offenbar nie Notiz genommen.

Es muß bei aller Kritik an Hegel und den Vertretern des dialektischen Denkens überhaupt hinsichtlich ihrer Auffassung des mathematischen Denkens aber unterstrichen werden, daß diese Vorstellung *keineswegs eine spezifische* Borniertheit *dialektisch-philosophischen* Denkens darstellt. Es handelt sich vielmehr um eine allgemeine Beschränktheit der Epoche, die die Mathematik noch immer in der Art des 18. Jahrhunderts begriff, die die einsetzende Revolution des mathematischen Denkens einfach nicht zur Kenntnis nahm. Und in der Tat haben auch erst die modernen Entwicklungen etwa der Rechentechnik dem allgemeinen Bewußtsein sinnlich-gegenständlich vor Augen geführt, daß es mit der Mathematik eine etwas andere Bewandnis haben müsse, daß es sich nicht um bloßes „Rechnen“ handeln könne. Erst heute wird die Revolution in der Mathematik Inhalt *gesellschaftlichen Bewußtseins*, verliert sie ihren *esoterischen* Charakter.

F. v. Krbek sieht sich veranlaßt, gelegentlich der Beurteilung von Darstellungen in Machs „Mechanik ...“ diesem bedeutenden Physiker und fragwürdigen Philosophen zu bescheinigen: „Der Standpunkt von Mach erinnert an denjenigen eines Mathematikers, der vor Cauchy Infinitesimalrechnung trieb.“⁴¹ Also selbst bei Vertretern der Wissenschaft, die noch stets am engsten mit der Mathematik verbunden war und ist, war die von Cauchy und Weierstrass eingeleitete Entwicklung keineswegs schon selbstverständlicher Gegenstand des Bewußtseins (Ernst Mach starb 1916, 85 Jahre nach Hegel, 21 Jahre nach Engels). Es ist eine vollkommen *ahistorische* Betrachtungsweise, wenn man sozusagen mit Verwunderung die Frage stellt, warum denn Hegel nicht Cauchy, Engels nicht Weierstrass (der 1856 Professor für Mathematik in Berlin wurde)

⁴⁰ G. W. F. Hegel, Encyclopädie der philosophischen Wissenschaften, Leipzig 1949, S. 214f.

⁴¹ F. v. Krbek, Grundzüge ..., a. a. O, S. 158.

berücksichtigt hätten. Sollte auf dieser Ebene gerechtfertigt werden, könnte man sicher ebenso verwundert die Frage stellen, warum z.B. Cauchy so wenig Notiz von Bolzano genommen hat.⁴² Solche Art des Fragens ist allein dazu dienlich, ein Problem anzudeuten; es wird so aber nicht einmal eine nähere Bezeichnung erreicht, d.h., man weiß im Grunde noch gar nicht, worin das Problem eigentlich besteht.

Es handelt sich um die Frage nach dem Grunde jenes bestimmten Ganges des allgemeinen Bewußtseins bezüglich der Mathematik. Wir können hier nur feststellen, daß die ungeheure Umwälzung des mathematischen Denkens, die zu Beginn des 19. Jahrhunderts einsetzte (nämlich mit Gauß), im Grunde erst im 20. Jahrhundert in das allgemeine gesellschaftliche Bewußtsein drang. Mancherorts ist sie heute noch nicht bekannt. Sicher ist diese Feststellung unzureichend. Zweifellos ist vom Standpunkt des dialektischen Materialismus eine Analyse notwendig. Sie kann hier nicht gegeben werden. Festzuhalten bleibt: So unzureichend Engels' Auffassung über die Mathematik ist, so unzureichend ist die Vorstellung, daß dabei der philosophische Standpunkt überhaupt versagt habe.

Die zweite wichtige Fragestellung betrifft den Begriff der mechanischen Bewegung. Sie hängt sehr wesentlich mit der unzureichenden Vorstellung von der Mathematik zusammen. Denn gerade die mangelhafte Durchdringung der Natur der mathematischen Abbildung der Wirklichkeit verursacht eine falsche Interpretation der mechanischen Grundbegriffe, ruft scheinbare Widersprüche hervor. Dies zeigt sich etwa in der Meinung Engels', daß das cartesische Maß mit dem Fallgesetz Galileis im Widerspruch stehe, oder darin, daß im unelastischen Stoß mv die Bewegungsmenge unrichtig ausdrücke. Auch die unzutreffende Einschätzung der Leistung d'Alemberts gehört hierher. Man kann zu den Bemerkungen von Engels über den Streit der Cartesianer und Leibnizianer nur sagen, daß er den Kern, die eigentliche Problematik in ihrer mechanischen Relevanz nicht gesehen hat. Dies ist vornehmlich der oben abgehandelten unzulässigen Alternative zwischen philosophischem Begreifen und „mathematischem Rechnen“ geschuldet.

Wenn schließlich Engels seine Darstellung in der tautologischen Feststellung zusammenfaßt: „... mv ist mechanische Bewegung gemessen in mechanischer

⁴² A. Kolman, Bernard Bolzano, Berlin 1963, (Anm. 89 und 90).

Bewegung; ...⁴³ , so gibt diese Erklärung sicher den besten Beweis für die obige Behauptung, daß in der Mechanik nicht ungestraft von der Mathematik abgesehen werden kann. Leider wird in der neuen sowjetischen Philosophiegeschichte Engels' Argumentation kritiklos wiederholt.⁴⁴ Immerhin liegt das Ungenügende der Auffassung von Engels in der allgemeinen Beschränktheit seiner Zeit bezüglich des Erkennens der spezifischen Natur des mathematischen Denkens begründet. Nach fast achtzig Jahren weiterer Ausbildung der Mathematik und Mechanik, wozu insbesondere auch die sowjetische Mathematik und Physik einen hervorragenden Beitrag geliefert hat, kann eine solche Konservierung unzureichender Vorstellungen nicht akzeptiert werden.

Die Größe mv ist *keineswegs* identisch mit der mechanischen Bewegung. Schon ihre Bezeichnung „Bewegungsgröße“ ist irreführend. Daß sich dieser Ausdruck einbürgerte, ist u. a. durch die metaphysische Deutung der Mechanik verursacht. In der Tat bezeichnet mv einen Teilaspekt des Gesamtzusammenhanges der mechanischen Bewegung, der erst verständlich wird, wenn man den anderen Teil jener erst in einer Gleichung definierten Bestimmung nicht unterschlägt, nämlich $pt = mv$. Berücksichtigt man noch $ps = \frac{m}{2}v^2$, so ist unmittelbar einsichtig, daß jene strittigen Bestimmungen Verschiedenes bedeuten.

Die Unsicherheit von Engels' Argumentation beruht darauf, nicht jene eindeutig bestimmten Gleichungen vorauszusetzen, sondern in der Unterbestimmung zu verbleiben: mechanische Bewegung = mv , und mechanische Bewegung = $\frac{m}{2}v^2$.

Eben diese Unterbestimmung liegt auch dem Streit selbst zugrunde.

Zieht man die tatsächliche mechanische Definition beider Größen in Betracht, so kann auf keine Weise ein Widerspruch deduziert werden. Berücksichtigt man das Wirkungselement, so ist beider Zusammenhang unmittelbar gegeben. Es gilt:

$$mvds = mv vdt = mv^2 dt !$$

Es handelt sich, mit den Worten Bavincks zu sprechen, darum, daß der Impuls die Projektion der Wirkung in den Raum, die Energie die Projektion der Wirkung in die Zeit ist. Beide Bestimmungen charakterisieren wohl die mechanische Bewegung, aber jeweils

⁴³ F. Engels, Dialektik der Natur, a. a. O., S. 380.

⁴⁴ Geschichte der Philosophie, Band I, Berlin 1960, S. 388f.

unter einem *besonderen* Aspekt; weder die eine noch die andere ist schlechthin Ausdruck der mechanischen Bewegung.

Das Wort „Bewegung“ hat im Gefüge der mechanischen Relationen keine definierte Bedeutung. Man kann aus diesem Gefüge nicht einen bestimmten Ausdruck lösen und ihn als Repräsentanten des Ganzen nehmen. Daß mv in der Vorstellung von Engels die mechanische Bewegung schlechthin darstellt, liegt in der nicht überwundenen Auffassung der mechanischen Bewegung als sogenannter „*einfacher Ortsveränderung*“ begründet. Sie leitet sich aus der cartesischen Deutung der Mechanik her. Tatsächlich ist in der Größe mv gar nicht allein die bloße Lageveränderung ausgesagt. Es kommt noch die Masse hinzu. Das heißt, aus der reinen Raum-Zeit-Beziehung ist hinausgegangen. Die reine Ortsveränderung wird durch die Ausdrücke $r(t)$, $\dot{r}(t)$, $\ddot{r}(t)$, angegeben. Aber die Kinematik ist noch nicht Mechanik, die Ortsveränderung noch nicht mechanische Bewegung. Es muß die Wirkungsfähigkeit der mechanischen Objekte einbezogen werden. Dies geschieht mittels der Verwendung des Massenbegriffs. Deutet man nun $mv [m\dot{r}(t)]$ als „Ortsveränderung“, so meint das Wort „Ort“ entweder nicht eine bloße Lagebeziehung, oder es wird nicht zutreffend das gedeutet, was mit dieser Größe tatsächlich gemeint ist.

Um zu einer sinnvollen Deutung des Begriffs „mechanische Bewegung“ zu kommen, muß der Gesamtzusammenhang der Größen in Rechnung gestellt werden. Die Wirklichkeit ist auch immer mechanischer Qualität. Ein Baum z.B. ist im allgemeinen Gegenstand der Biologie. Falls er gefällt wird, so ist er für den Arbeiter, der dem fallenden Baum ausweichen muß, ein mechanisches Objekt. In diesem Zusammenhang ist der Baum wesentlich als Träger von Masse bedeutsam; unwesentlich ist, ob er eine Linde oder Eiche ist. Alle wirklichen Dinge sind stets auch Träger von Masse. Insofern sie dies sind, sind sie Gegenstand der Mechanik. Die Masseneigenschaft ist die artspezifische Bestimmtheit der Wirklichkeit als mechanischer.

Das *Hamilton-Prinzip* drückt die mechanische Qualität der objektiven Realität aus; es ist das Grundgesetz der mechanischen Bewegung, ihr Maß. Im Prinzip der kleinsten Wirkung ist in der Tat die wirkliche Größe „der mechanischen Bewegung“ angegeben. Im mechanischen Begriff der Wirkung ist die quantitativ und qualitativ bestimmte Einheit der mechanischen Bewegung zusammengefaßt. In der „Geschichte der Philosophie“ wird

gesagt, daß die Mechanik allein das Problem des Maßes der Bewegung nicht hätte lösen können.⁴⁵ Ist damit der philosophische Bewegungsbegriff gemeint, so ist diese Auffassung natürlich richtig. Allein, die Philosophie gibt *keine* Maßbestimmungen. Und der nächste Satz besagt dann auch, daß eben nicht von der philosophischen Bewegungsbestimmung die Rede ist, sondern von der mechanischen Bewegung und ihrem Maß. So aber ist jene Behauptung unzutreffend. Die Mechanik ist selbstverständlich fähig gewesen, das Maß der mechanischen Bewegung zu bestimmen. Das tat sie im Differentialprinzip d'Alemberts und später im Integralprinzip Hamiltons.

Und selbstverständlich hat die Mechanik auch die Beziehung der Größen mv und $\frac{m}{2}v^2$ klären können, eben durch die Ausbildung des Wirkungsbegriffes. Der Unsinn der Vorstellung von den „zwei Maßen der Bewegung makroskopischer Körper“ kommt zustande durch die ganz unbestimmte Bedeutung des Wortes Bewegung. Es ist wohl richtig, daß die Mechanik nicht allein die grundlegende Bedeutung des Energieerhaltungssatzes erkennen konnte. Aber das liegt nicht an ihrer „mechanischen“ Beschränktheit, sondern an der Tatsache, daß Energie auch in *nicht*mechanischen Formen auftritt. Was die mechanische Energie betrifft, so wußte schon Lagrange: „Überhaupt gibt die Erhaltung der lebendigen Kräfte jederzeit ein erstes Integral ...“⁴⁶ Die Feststellung, daß die mechanische Energie ein Bewegungsintegral ist, ist *in einem* die Feststellung ihrer Erhaltung. Die Erkenntnis von der Umwandlungsfähigkeit der Energie in andere Formen konnte die Mechanik nicht ausbilden, da sie es eben mit der *mechanischen* Bewegung zu tun hat. Die Kenntnis der Energieumwandlung hat den physikalischen Standpunkt überhaupt zur Voraussetzung. (Es sei dabei nicht vergessen, daß sie bereits von Leibniz konzipiert worden ist.)

Zusammenfassend läßt sich sagen, daß jene unzutreffende Interpretation der in der Mechanik auftretenden Größen durch eine falsche Auffassung der mechanischen Bewegung verursacht wird, die offensichtlich noch nicht als überwunden gelten kann. Man deutet vorliegende mathematische Gleichungen in naiver Weise als Ursache-Wirkungs-Verhältnisse. So kommt zustande, daß die mechanische Bewegung – in dieser Deutung als die Wirkung vorgestellt – mit den Ausdrücken mv bzw. mv^2 identifiziert wird.

⁴⁵ Ebenda, S. 389.

⁴⁶ Vorreden und Einleitungen ..., a. a. O., S. 112.

Die unterstellte Interpretation ist aber genau die metaphysische. Mit ihr spricht man tatsächlich nicht mehr von der mechanischen Bewegung, sondern von *besonderen* Momenten ihres Gesamtzusammenhanges.

b) Ist die Mechanik „mechanistisch“?

Um die philosophischen Intentionen der klassischen Mechanik zu untersuchen, besteht der einfachste Weg wohl in der Analyse des mechanischen Grundgesetzes bezüglich seiner konkreten Interpretationsmöglichkeiten. Dabei ist selbstverständlich die mathematische Darstellung des Grundgesetzes vorauszusetzen. Hier seien die Darstellungen Newtons, d'Alemberts und Hamiltons berücksichtigt.

Es ist nun gerade die mathematische Form der mechanischen Grundaussage, die eine metaphysische Deutung gar nicht zuläßt. Oder insofern man in dieser Weise interpretiert, läßt man den mathematischen Charakter der gegebenen Beziehung unbeachtet. Sie ist eine Gleichung, d.h. eine Zuordnung, die nur als *Beziehung* unterschiedener Größen überhaupt besteht.

Das mechanische Grundgesetz wurde von Newton angegeben in der Form

$$F = \frac{d}{dt}(mv) \quad (1)$$

Wenn man nur die mathematische Natur dieser Beziehung in Rechnung stellt, so kann von Kausalität überhaupt nicht gesprochen werden. Es liegt ein *funktionaler* Zusammenhang vor, und mathematische Funktionen sind in gar keinem Fall Darstellung von kausalen Zusammenhängen. Funktionen sind eindeutige Abbildungen, d.h., es besteht zwischen den Werten einer Funktion und denen des Arguments eine eindeutige Zuordnung. Nichts wird jedoch darüber ausgesagt, daß das Argument etwa den Funktionswert erzeuge oder hervorbringe.

Aber allein als mathematische Beziehung sagt sie nichts über einen bestimmten sinnlich-gegenständlichen Bereich aus, hat also keinerlei *mechanische* Bedeutung. Sie kommt erst zustande, indem die in der mathematischen Beziehung verbundenen Zeichen Eigenschaften symbolisieren, die in der experimentellen Tätigkeit gegenständlich sind.

Und dieser Deutung liegt das allgemeine Bewußtsein über die Wirkungsfähigkeit der natürlichen Dinge überhaupt zugrunde.

Bekanntlich hat Newton die Mechanik des freien Massenpunktes zum Gegenstande gehabt. Ihm galt daher die Form (1) als Ausdruck des *äußerlichen* Zusammenhanges von Ursache und Wirkung. Eine äußere Kraft bringt als Wirkung die Beschleunigung hervor. Der innere Zusammenhang von Ursache und Wirkung bleibt verborgen, weil die Materie in der Bestimmung des freien Massenpunktes per definitionem von außen bewegt wird. So kann der *Schein* entstehen, als rechtfertige die Mechanik die metaphysische Bewegungsdeutung. Gott als der erste Beweger ist der konsequente Ausdruck dieses Scheins. Es wird übersehen, daß diese Interpretation erst in die Form *hineingetragen* wird.

Wenn zur Analyse mechanischer Systeme übergegangen wird, so kann auch nicht mehr der Schein der Zulässigkeit der Metaphysik bestehen bleiben. Ein System von Massenpunkten bewegt sich im allgemeinen *nicht* in Richtung und Größe nach der einwirkenden äußeren Kraft. Die rein äußerliche Proportionalität von Ursache und Wirkung kann daher nicht mehr als Interpretationsvoraussetzung genommen werden.

Berücksichtigt man die inneren Bindungen des Systems in der Form der sogenannten Zwangskräfte Z und die äußere Kraft K , so läßt sich das mechanische Grundgesetz angeben zu:

$$K + Z = \frac{d}{dt}(mv) \quad (2)$$

Die „Zwangskraft“ ist nun gerade dadurch charakterisiert, daß sie von sich aus *keine* „Bewegung“ hervorbringt. Sie kann also nicht im metaphysischen Sinne als Ursache gedeutet werden. Mit Hilfe des Arbeitsbegriffes läßt sich diese Eigenschaft der Zwangskraft genauer bestimmen: sie leistet keine Arbeit! Da die Arbeit Skalarprodukt der Kraft in den Weg ist, so ist unter Verwendung der für das System möglichen (virtuellen) Wegelemente (bei $Z = \frac{d}{dt}(mv) - K$) die Arbeit der Zwangskräfte (bei Übergang zur Koordinatendarstellung):

$$\delta A = \sum_{i=1}^{3N} (m_i \ddot{x}_i - X_i) \delta x_i = 0 \quad (3)$$

Das ist das berühmte D'Alembert-Prinzip, wie es von Lagrange formuliert worden ist. Als Differentialprinzip besteht es im Vergleich des momentanen Zustandes eines Systems mit einem benachbarten, der durch virtuelle Verschiebung aus jenem hervorgeht. Hier ist nun schlechterdings *keinerlei* metaphysische Bewegungsdeutung mehr herauslesbar. Das, was bei Newton noch voneinander getrennt erschien, nämlich X als Ursache und $m\ddot{x}$ als Wirkung, ist hier ausdrücklich zu einem Ausdruck vereinigt und bezeichnet eben in dieser Einheit die mechanische Bewegung.

Durch Integration gelangt man schließlich zum Prinzip der kleinsten Wirkung, der heute allgemein gebräuchlichen Form des mechanischen Grundgesetzes. Aus (3) folgt:

$$\begin{aligned}\delta A &= \sum_i m_i \ddot{x}_i \delta x_i \\ &= \frac{d}{dt} \sum_i m_i \dot{x}_i \delta x_i - \delta T \\ \delta A + \delta T &= \frac{d}{dt} \sum_i m_i \dot{x}_i \delta x_i\end{aligned}$$

und schließlich nach der Integration

$$\int_{t_0}^{t_1} (\delta A + \delta T) dt = 0$$

Wenn man die Existenz konservativer Kräfte unterstellt, so daß mit $A = -U$ auch $T - U = L$ gilt (die von Lagrange gefundene „freie Energie“), gewinnt man das bekannte Hamilton-Prinzip:

$$\delta \int_{t_0}^{t_1} L dt = 0 \tag{4}$$

Mittels dieses Integralprinzips wird die Folge mechanischer Zustände in einem endlichen Zeitbereich mit benachbarten Folgen verglichen. Es gilt: Jede mechanische Bewegung verläuft so, daß die Wirkung einen minimalen Wert annimmt, wenn die Umgebung hinreichend klein gewählt ist. Hier wird die mechanische Bewegung als Gesamtzusammenhang durch den *Wirkungsbegriff* ausgedrückt. Dabei bedeutet „Wirkung“ selbstverständlich nun etwas anderes, als die metaphysische Interpretation meint, nämlich gerade den Zusammenhang der in dieser Deutung getrennten Bestimmungen. Man nennt das Prinzip daher auch „Prinzip der kleinsten Aktion“. In

beiden Benennungen drückt sich – wenn auch in äußerlicher Weise – die dialektische Natur der Kausalität aus.

Es ist charakteristisch für die sich in der metaphysischen Kausalauffassung darstellende mangelhafte philosophische Bildung, daß man unmittelbar im Anschluß an die erste Formulierung mechanischer Extremalprinzipien sofort auf teleologische Deutung verfiel. Nun erwies die Mechanik plötzlich die gegenteilige Kausaldeutung als zulässig; von den *Causis efficientibus* kam man zu den *Causis finalibus*, vom blinden Naturablauf zum zweckbestimmten. Dies ist immer das Schicksal eines Bewußtseins, das sich um philosophisches Erkennen bemüht, aber scheitert, weil es die in der Abstraktion erhaltenen Gegensätze nicht zusammenbringt.

Es sei nochmals ausdrücklich hervorgehoben, daß die mathematische Form des mechanischen Grundgesetzes an sich die *Einheit* von „Ursache“ und „Wirkung“ darstellt; die Kraft ist nur gegen die Impulsänderung wirklich Kraft und umgekehrt. Erst durch die Interpretation der in der mathematischen Funktion aufeinander bezogenen Variablen, die für die Verwendung dieser Funktion als Modell der mechanischen Bewegung erforderlich ist, wird die metaphysische Deutung hereingebracht. Aber die mathematische Struktur widerspricht unmittelbar dieser Deutung: Die mittels des Gleichheitszeichens einander zugeordneten Variablen haben nur *in* der Zuordnung eine Bedeutung, *nicht* aber *unabhängig* von ihr. Werden sie mechanisch gedeutet, so bleibt *mathematisch* natürlich die Einheit von Ursache und Wirkung *erhalten*, weil die Funktion bestehen bleibt. Unabhängig von aller Interpretation können aus ihr die möglichen logischen Konsequenzen gezogen werden, ohne daß irgendwie die philosophischen Voraussetzungen ins Spiel kommen. Darin liegt begründet, daß trotz mangelhafter Philosophie einzelwissenschaftlich fortgeschritten werden kann. Durch den Übergang von der reinen Ablauf- zur Zustandscharakterisierung wird dann auch in der mathematischen Darstellung die Einheit von Ursache und Wirkung *unmittelbar* ausgedrückt.

Es kann damit festgestellt werden, daß die theoretische Mechanik sich nicht als Begründung der metaphysischen Bewegungsauffassung unterstellen läßt. Aus jener ist für diese keine Rechtfertigung zu gewinnen. Wo man meint, die klassische Mechanik führe zum „mechanischen“ (d.h. metaphysischen) Materialismus, hat man tatsächlich nur eine Interpretation gewonnen, die bereits unterstellt ist. Was aus der Mechanik als

philosophische Konsequenz vermeintlich *hervorgeht*, ist zuvor als besondere Interpretation *hineingetragen*.

Die tatsächlichen Schranken der klassischen Mechanik, nämlich die unbewußte Unterstellung einer unendlichen Geschwindigkeit der Wirkungsausbreitung und die der bloß kontinuierlichen Wirkungsübertragung, sind nicht Ausdruck ihrer philosophischen Unzulänglichkeit, sondern vielmehr ihrer praktischen Bedingungen. Sobald die menschliche Erkenntnisfähigkeit die praktische Möglichkeit gewann, Objekte sehr hoher Geschwindigkeiten, Strahlungen usw. zu untersuchen, konnte die Beschränktheit der klassischen Mechanik im Sinne ihres besonderen Geltungsbereiches deutlich werden. Wollte man sagen, daß die metaphysische Interpretation mit diesem besonderen Geltungsbereich verbunden ist, so muß man zugleich zugeben, daß die Metaphysik unabänderlich mit aller Einzelwissenschaft verbunden ist. Denn ihre Aussagen sind stets an besondere Geltungsbereiche geknüpft. Die dialektische Bewegungsauffassung wäre dann zwar ein mögliches, aber nie erreichbares Ziel.

Praktisch handelt es sich darum, daß bei der Betrachtung mechanischer Systeme von makroskopischen Körpern die Endlichkeit der Ausbreitungsgeschwindigkeit der Wirkung wie ihre diskrete Übertragung vernachlässigt werden kann. Innerhalb dieser Einschränkung ist die klassische Mechanik zutreffendes Abbild der mechanischen Qualität der Wirklichkeit. Theoretisch aber geht es darum, daß alle einzelwissenschaftliche Erkenntnis stets *relativen* Charakter hat, daß sie niemals mit der philosophischen unmittelbar zusammenfällt. Die Physik gebiert nicht aus sich die Philosophie. Der Übergang von der klassischen zur relativistischen Mechanik ist nicht in einem der Übergang von der metaphysischen zur dialektischen Auffassung. Durch die Erkenntnis der Besonderheit des Geltungsbereiches einer speziellen Einzelwissenschaft wird vielmehr wegen der damit intendierten Verallgemeinerung stets aufs neue auch die Vertiefung des philosophischen Wissens gefordert. Es müssen neue Begriffe geschaffen werden, deren konkreter Zusammenhang erneut zu bestimmen ist. Damit wird die dialektische Auffassung selbst vertieft.

Wenn z.B. in der klassischen Mechanik die Masse als konstante Größe behandelt wird, so ist dies keineswegs Ausdruck eines absoluten Mangels an dialektischem Denken. Es handelt sich allein darum, daß der Zusammenhang, in dem sie bestimmt ist, von geringerer Mannigfaltigkeit ist als in der relativistischen Theorie. Aber grundsätzlich ist

er vorhanden. Der Zusammenhang als konkreter wird ausdrücklich in der klassischen Mechanik formuliert: Die Masse (als träge) ist Ausdruck des Widerstands gegen die äußere Kraft. Das ist eine *konkrete* Bestimmung, die genau im Sinne des dialektischen Denkens formuliert wird, seine Erscheinungsweise in der Einzelwissenschaft ausdrückt. Masse und Kraft sind als *untrennbare* Bestimmungen *mechanisch* erklärt. Die Metaphysik besteht nicht darin, daß nicht auch der Zusammenhang von Masse und Geschwindigkeit gesehen wird, sondern darin, daß die Kraft gegen die Masse verselbständigt wird, daß das Moment des Zusammenhanges als für sich bestehende *physische Realität* vorgestellt wird.

Die Schranken der klassischen Mechanik sind also nicht überhaupt Schranken des dialektischen Denkens. Andererseits ist die relativistische Mechanik nicht die Vollendung der Dialektik in der mechanischen Abbildung. Der Gegensatz von Metaphysik und Dialektik fällt nicht mit dem Unterschied von klassischer und relativistischer Theorie zusammen. Die philosophische Bewegungslehre ist vielmehr die allgemeine Voraussetzung, die zur Interpretation des einzelwissenschaftlichen Modells benutzt wird. Ist diese Deutung vollzogen, so ist zugleich eine *Relativierung* vorgenommen; die Bewegungserklärung gilt unter bestimmten Voraussetzungen. Sie zu bestimmen und damit zu überwinden, ist der Inhalt des einzelwissenschaftlichen Fortschritts. Aber er setzt stets neue Bedingungen für die Gültigkeit einzelwissenschaftlicher Aussagen. Die Metaphysik beruht hier darauf, daß die Bedingungslosigkeit unterstellt wird, nicht aber darauf, daß die Bedingungen zeitweilig noch nicht erkannt sind.

c) Das geschichtliche Verhältnis der Mechanik zum metaphysischen Materialismus

Es bleibt zu fragen, wieso das philosophiegeschichtliche Bewußtsein so kritiklos einen inneren Zusammenhang von klassischer Mechanik und „mechanischem“ Materialismus unterstellt. Dafür sollen hier zwei besondere Bedingungen namhaft gemacht werden.

Zunächst ist die Feststellung zu treffen, daß die Mechanik Newtons in Frankreich insbesondere durch die Vermittlung Voltaires Eingang fand. Die Aufnahme der Newton-Mechanik hatte eine ganz spezifisch *ideologische* Funktion für die heranreifende bürgerliche Revolution. Voltaire rückte das Gravitationsgesetz in den Vordergrund; die Newton-Mechanik wurde als Himmels-Mechanik importiert. Sie errang um so mehr Autorität, als die Wirbeltheorie Descartes' durch die Expedition Maupertuis' (1736/37) nach Lappland für unzutreffend erkannt worden war. Die allgemeine Gravitation diente Voltaire ideologisch gegen das Pfaffentum, die wichtigste Stütze des „allerchristlichsten“ Absolutismus. Voltaire gab damit der Gravitation eine Deutung, der Newton am allerwenigsten zugestimmt hätte. Die ewige und unveränderliche Bahn der Planeten war Ausdruck des Prinzips, dem alle natürlichen Dinge gehorchen. Der Himmel brauchte keinen persönlichen Gott, damit seine Gestirne in Gang gehalten würden. Die Himmelsmechanik konnte daher gegen die positive Religion, wirksam gemacht werden.

Newton hatte sich ausdrücklich verboten, die Gravitation im Sinne einer „physischen Ursache“ zu betrachten. Es war also ein voltairisierter Newton, den Frankreich aufnahm. Indem Voltaire aus dem Gravitationsgesetz die Ewigkeit und Unveränderlichkeit der Planetenbewegung herauslas, verwandelte er deren *relative* Stabilität (die durch die weitgehende Abgeschlossenheit des Sonnensystems bedingt ist) in *absolute*. Das war natürlich eine metaphysische Interpretation, aber nicht einzelwissenschaftlich begründete Aussage. Das heißt, die Newton-Mechanik gelangte als *metaphysisch* gedeutete Himmelsmechanik auf den Kontinent.

Die zweite Feststellung, die bezüglich des Zusammenhanges von klassischer Mechanik und „mechanischem“ Materialismus zu treffen ist, besteht im Hinweis auf die Umformung der cartesischen Philosophie in Frankreich. Die französischen Aufklärer, die gegen die „Metaphysik“ zu Felde zogen, haben keineswegs den *ganzen* Descartes über

Bord geworfen. Sie haben vielmehr die Dualität von Glauben und Vernunft zugunsten des ausschließlichen Herrschaftsanspruches der Vernunft durchbrochen. Die Vernunft aber *blieb cartesisch*. Das Erbe der cartesischen deduktiven Methode blieb unreflektiert und unangetastet.

Diese Tatsache bedeutete im besonderen, daß die cartesische Bewegungsauffassung im wesentlichen *erhalten* blieb. Zum Prinzip der Ausdehnung kam das der Undurchdringlichkeit hinzu. Aber grundsätzlich verblieb man bei der Vorstellung, daß die Bewegung ein Zustand an der Materie sei. Es handelte sich mithin um einen Fortschritt durchaus *innerhalb* des cartesischen Grundansatzes. Während das Prinzip der Ausdehnung nichts als die Behauptung der Kontinuität des Raumes war, bedeutete das Prinzip der Undurchdringlichkeit die Erklärung seiner Diskontinuität. Prinzipiell wurde also die nur räumliche Auffassung der Materie *nicht* durchbrochen. Die Körper galten als „gestaltete und ausgedehnte Teile des Raumes“ (d’Alembert). Die Bewegung blieb *nach wie vor akzidenteller* Zustand an unveränderlichen Substanzen.

In dieser Grundauffassung ist das Wesen des „mechanischen“ Materialismus ausgedrückt. Er ist tatsächlich nichts anderes als die monistisch reformierte cartesische Philosophie. Und wohlgermerkt handelt es sich hier *nicht* um den klassischen bürgerlichen Materialismus der französischen Aufklärung schlechthin. Es geht nur um die spezifische Gestalt, die der Materialismus in bezug auf die Mechanik annahm. Weil einerseits die cartesische Methode ihrer positiven Natur nach die der Mathematisierung des Wissens ist, also in der Tat erfolgreich angewendet werden kann, andererseits aber die Mechanik in der metaphysischen Interpretation unterstellt ist, tritt der Schein einer Gemeinsamkeit von mechanischer Abbildung und metaphysischer Deutung auf. So ist es zur Identifikation von mechanischer und metaphysischer Bewegungsbestimmung kein weiter Schritt.

Diese Identifikation ist von der deutschen klassischen Philosophie vollzogen worden. Ihr bedeutete der „Mechanismus“ eben das, was hier mit dem Ausdruck „metaphysische Bewegungsauffassung“ bezeichnet worden ist. Sie hat den rationellen Kern der cartesischen Methode nicht erfassen können, weil sie den Zusammenhang von Mathematik und Philosophie – wegen ihrer idealistischen Grundhaltung – nicht zu durchschauen vermochte. Die Mechanik erschien „mechanistisch“, weil sie mathematisch aufgebaut wurde. Den grundlegenden Ansatz für dieses Vorgehen hatte Descartes geliefert. *Innerhalb* der mathematischen Abbildung der Wirklichkeit ist seine

Bewegungsauffassung *in der Tat* die konstituierende, d. h., die reine Äußerlichkeit der natürlichen Dinge gilt. Indem die klassische deutsche Philosophie die Besonderheit dieses Standpunktes als Beschränktheit überhaupt erklärt, verkehrt sie ihre richtige Kritik in eine falsche Entgegensetzung. Gegen die absolute Festigkeit der Dinge wird die absolute Nichtigkeit ihrer gesetzt. Eben damit ist die Identifikation des mechanischen Erkennens mit dem metaphysischen Denken unterstellt.

In der Tradition dieser Deutung der klassischen deutschen Philosophie steht jene Auffassung von der inneren Gemeinsamkeit der mechanischen und metaphysischen Naturauffassung, deren scheinbare Wahrheit als wirklicher Schein nachzuweisen Anliegen der gegebenen Darstellung war.