

Isaac Newton, Mathematische Grundlagen der Naturphilosophie.

Einleitung (Ed Dellian).

1. Newtons *Principia*.

Im Frühling des Jahres 1686 vollendete Isaac Newton in Cambridge das Rohmanuskript seiner *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*, der mathematischen Grundlagen der Naturphilosophie. Im Jahr darauf erschienen die *Principia* in London im Druck. Eine zweite und dritte Auflage folgten zu Lebzeiten Newtons, 1713 und 1726, beide wie die erste in Latein.

1729, zwei Jahre nach Newtons Tod, wurde in London eine englische¹, 1756 in Paris eine französische Übersetzung² veröffentlicht. Eine deutsche Fassung der *Principia* erschien erst zweihundert Jahre nach der Erstausgabe, als 1872 in Berlin der Mathematiker und Astronom Jacob Philipp Wolfers eine zunächst nur zum eigenen Gebrauch angefertigte Übersetzung aus dem Lateinischen herausgab³. Sie allein stand bisher dem zur Verfügung, der dieses Werk der Weltliteratur in deutscher Sprache lesen wollte. Die Wolfers'sche Ausgabe und Übersetzung leiden aber an mehreren Mängeln. Wolfers selbst teilt im Vorwort mit, dass er als Originaltext den der ersten Ausgabe von 1687 benutzt und übersetzt, dann aber diese Übersetzung nach Texten der späteren Ausgaben teilweise revidiert und ergänzt hat. Welche Teile woher entnommen wurden, hat er nicht kenntlich gemacht. Seine Arbeit ist also keine zuverlässige Übertragung eines bestimmten Originals. Die Übersetzung selbst ist ähnlich großzügig und nicht frei von sinnentstellenden Fehlern.

Wäre dies schon Grund genug, gut dreihundert Jahre nach Erscheinen dieser "Bibel der klassischen Mechanik" (Max Jammer)⁴ an die Herausgabe einer neuen Übertragung ins Deutsche zu denken, so wird dieses Vorhaben dringend, nachdem ein Vergleich des lateinischen Textes mit der Arbeit von Wolfers Differenzen zeigt, die über bloße Übersetzungsfehler weit hinausgehen. Sie betreffen vielmehr die innere Struktur der newtonischen Lehre und lassen diese in Gegensatz zur Mechanik treten, wie sie seit dem 18. Jahrhundert als *analytische Mechanik*⁵ entstanden ist. Die Verwischung dieses Gegensatzes oder das Bemühen, den Wortlaut der *Principia*, auch wenn er sich dagegen sträubt, mit dieser herkömmlichen Theorie der Mechanik zu verbinden, ist also der am schwersten wiegende

Mangel von Wolfers' Arbeit. Allerdings hängt dieser Mangel wohl allen bisherigen Übersetzungen und sonstigen Darstellungen der Lehre Newtons an, weil die Überzeugung allgemein ist, dass die Grundlagen der so erfolgreichen klassischen analytischen Mechanik mit denen Newtons von 1687 übereinstimmen müssten. Die Krise, in die die Mechanik gegen Ende des 19. Jahrhunderts geriet, als sich an neuartigen Phänomenen ihre Mangelhaftigkeit erwies (Elektromagnetismus, Kathodenstrahlung), hat hieran nichts geändert; und wenn die seither entstandene moderne Physik (Relativitätstheorie, Quantenmechanik) die Unzulänglichkeit jener Theorie bestätigt hat, so überträgt man das Verdikt ohne weiteres auf die Lehre Newtons⁶, dem nur mehr der Ruhm gelassen wird, das Beste herausgefunden zu haben, was mit den beschränkten Möglichkeiten seiner Zeit zu finden gewesen sei⁷.

Hat es aber zwischen Newtons *Principia* und der analytischen Mechanik einen Paradigmawechsel, eine Änderung der Grundlagen der Mechanik gegeben (was zu zeigen sein wird), so wird das Verhältnis der richtig verstandenen newtonischen Lehre zur modernen Physik erst noch überprüft werden müssen. Hierbei findet man nun, dass der Theorie Newtons Prinzipien zugrunde liegen, die in der analytischen Mechanik abhanden gekommen waren und erst von der modernen Physik mühsam und auf Umwegen teilweise wiederhergestellt worden sind: das ist vor allem das Gesetz der Proportionalität von Ursache und Wirkung, von Kraft und Bewegung, von 'Energie'⁸ und Impuls. Die moderne Physik erscheint somit als unbewusste Rückkehr zu den Prinzipien der *experimentellen Naturphilosophie* des 17. Jahrhunderts und zugleich als deren Bestätigung, während Newtons richtig verstandene, dualistische Philosophie umgekehrt als Hilfe zum Verständnis der Grundlagen der modernen Physik dient und aktuell wird. Es könnte sein, dass in Newtons *Principia* der Schlüssel zur Wiederherstellung der Einheit von Physik und Naturphilosophie zu finden ist.

2. Über das Verhältnis von Ursache und Wirkung in der Naturphilosophie.

"Alle Schwierigkeit der Philosophie besteht wohl darin, dass wir aus den Bewegungserscheinungen die Kräfte der Natur erschließen und alsdann von diesen Kräften ausgehend die übrigen Erscheinungen genau bestimmen." So umschreibt Newton im Vorwort vom 8. Mai 1686 sein Programm. Die Begriffe *Bewegung* und *Kraft* sind grundlegend, und die *Kraft* ist gleichbedeutend mit *Ursache* (*causa*), die *Bewegung* mit *Wirkung* (*effectus*). Die Bezeichnung von Bewegungsursachen durch das Wort *Kraft* (*vis*) wurde in der experimentellen Philosophie des 17. Jahrhunderts gebräuchlich, nachdem Johannes Kepler es unternommen

hatte, die Bewegungen der Himmelskörper in dem als leer erkannten Raum durch immaterielle äußere Ursachen, eben durch *Kräfte* zu erklären.⁹ Bahnbrechend war dabei, dass diese immateriellen Entitäten, wie Kepler zeigte, quantifiziert, also in mathematischen Formeln eingefangen gemessen werden konnten, um alsdann, ganz im Sinne des Newton'schen Programms, zur Erklärung weiterer Bewegungserscheinungen zu dienen. Quantifizierung, die Messung des Messbaren, war auch für Galileo Galilei der Punkt gewesen, in dem sich die *Nuova Scienza* am radikalsten von der zeitgenössischen spätscholastischen Philosophie absetzte, in der nicht Quantitäten, sondern verborgene Qualitäten der Materie die Phänomene hatten erklären sollen. So war etwa das Fallen schwerer Körper auf eine ihnen innewohnende natürliche Neigung zur Bewegung auf den Erdmittelpunkt hin zurückgeführt worden, die man ihre Eigenschaft 'Schwere' nannte.

Natürlich war aber mit der Feststellung, dass Körper fallen, weil sie schwer seien, gar nichts erklärt; Roger Cotes geißelt die Unzulänglichkeit dieser Methode in seinem Vorwort von 1713 zu den *Principia* Newtons zutreffend als leeres Wortgeklingel. Wenn also Bewegungen nicht durch Eigenschaften der Körper, sondern durch immaterielle äußere Ursachen erzeugt wurden, so musste die Quantifizierung dieser Ursachen, *die Messung der Kräfte* (auf die alles ankam), mittels der Messung der von ihnen erzeugten Bewegungen möglich sein. Dass die Bewegung eines Körpers ihrerseits durch das Produkt aus der Masse des Körpers (diese verstanden als die im Körper vorhandene Menge materieller gleicher Elementarteilchen, die 'quantitas materiae'¹⁰) und seiner Bewegungsgeschwindigkeit zu messen war, wusste wohl nicht erst René Descartes¹¹. Und auch die Art des Zusammenhangs von Bewegung und Kraft, von Wirkungen mit ihren Ursachen, nämlich das Prinzip der *Proportionalität* von erzeugender Kraft und erzeugter Bewegung, war um die Mitte des 17. Jahrhunderts als Axiom der neuen Philosophie¹² wissenschaftliches Allgemeingut, ein Ausdruck der platonischen Denkfigur *Analogie*. Der platonische Hintergrund ist bei den herausragenden Naturphilosophen jener Zeit unübersehbar, bei Kepler und bei Galilei¹³ nicht weniger als bei Newton, dessen enge Beziehung zu den Cambrider Neuplatonikern Ralph Cudworth und Henry More ebenso bekannt ist, wie sein Interesse für die Lehren Jakob Böhmes¹⁵. Hatte der Aristotelismus eine quantitative mathematische Behandlung der Natur wegen deren Komplexität schlicht für unmöglich gehalten, so lieferte im Gegensatz hierzu die Wiederaufnahme der Philosophie Platons in Humanismus und Renaissance den Schlüssel zur Mathematisierung der *analogia entis*¹⁶, des Verhältnisses zwischen den schöpferischen immateriellen Ursachen und ihren materiellen Wirkungen. Zugrunde lag dem ein anderes Verständnis von *Natur*, die nicht

als die Summe der empirisch erfassbaren *Welt*, sondern als in ihren Strukturen einfache¹⁷ transzendente Realität verstanden wird. Die weltlichen Phänomene sind also *nicht identisch* mit der Natur, sondern zu ihr *analog*, d.h. sie stehen zu ihr in bestimmten Verhältnissen. Folglich musste die *Proportionsanalogie* oder *Proportionenlehre* geeignet sein, die überwältigende Fülle der empirischen Welt auf einfache Prinzipien der transzendenten Natur¹⁸ zurückzuführen und durch eben diese *Naturgesetze*¹⁹ mathematisch zu fassen und zu erklären. Deshalb wurde sie das methodische Rüstzeug der *Nuova Scienza* Galileis und seiner Vorgänger, unter denen besonders Leonardo da Vinci genannt sei; das galt vor allem, nachdem Niccolò Tartaglia in seiner italienischen Euklid-Ausgabe von 1543 die Definition Euklid V,4 wiederhergestellt hatte, die die strenge Behandlung kontinuierlicher Inkommensurabler ermöglichte und die in den mittelalterlichen lateinischen Euklid-Übersetzungen verloren gewesen war²⁰. Galilei widmet der Proportionenlehre den ganzen *Fünften Tag* seiner *Discorsi*²¹, und ihre Bedeutung für die Verbindung von Mathematik und Physik betont besonders der englische Mathematiker und Philosoph John Wallis in seiner *Mechanica* von 1670²². Er stellt darin das Prinzip der Proportionalität von Wirkungen zu ihren Ursachen vor und erklärt, dass diese Proportionalität auch für inkommensurable Größen gelte. Das nennt er sodann einen universellen Lehrsatz, der den Weg für die Verbindung von Mathematik und Physik eröffnet²³. Die Quantifizierung mechanischer Phänomene in den Maßen von Raum (elementar: Länge), Zeit und Materiemenge (Masse) hatte gezeigt, dass wesensverschiedene physikalische Entitäten auch maßverschieden (inkommensurabel) waren, so dass deren gegenseitige Beziehungen nur mittels der Proportionenlehre mathematisch gefasst werden konnten. Auch Isaac Newton, der im Todesjahr Galileis 1642 geboren wird und sich später als dessen Nachfolger und Vollender seines Werkes sieht, übernimmt die Proportionenlehre zur Vergleichung von *Quantitäten verschiedener Arten* (verschiedener Entitäten) oder *Inkommensurabler*.²⁴

Inkommensurabel mussten in der Vorstellung der platonisch denkenden Naturphilosophen des 17. Jahrhunderts insbesondere die immateriellen Bewegungskräfte der Natur, die Bewegungsursachen, und deren Wirkungen, die Bewegungsänderungen der materiellen Körper sein, also die beiden Glieder des Kausalprinzips. Die Folge war, dass sich die Frage nach dem dazwischen vermittelnden Mechanismus erhob, verallgemeinert verstanden als die Frage nach dem "Wie" der Wechselwirkung zwischen der immateriellen 'res cogitans', dem Geist, und der materiellen 'res extensa', der Materie; das entwickelte sich zu einem Kardinalproblem der Cartesischen Philosophie²⁵. Während einerseits die Lehre des Okkasionalismus entstand, die

eine erklärbare Wechselwirkung überhaupt leugnete und in den Phänomenen der Veränderung das ständige wundermäßige Eingreifen des gegenwärtigen Gottes in die Weltläufe sah, versuchte auf der anderen Seite G.W. Leibniz diese Philosophie rational zu überwinden. Bei seinem Aufenthalt in Paris 1672-1676 trifft er Nicolas Malebranche ²⁶, den Hauptvertreter des Okkasionalismus, dessen Lehre vom göttlichen Wirken als eigentlicher Ursache aller Bewegungsänderungen er einer rationalen Begründung der Mechanik im Wege sieht. Die Lösung glaubt er - übrigens unmittelbar nach der Lektüre von Wallis' *Mechanica* ²⁷ - mit dem Satz gefunden zu haben, dass Wirkungen ihren Ursachen nicht nur proportional seien (wie Wallis sagt), *sondern gleich* ²⁸. Dieses neue Prinzip erhebt Leibniz zu seinem "ersten mechanischen Axiom" ²⁹, und es wird, in der bekannten Sentenz 'causa aequat effectum', zum Dreh- und Angelpunkt der Leibniz'schen Mechanik ³⁰ (aber auch der im 19. Jahrhundert entstehenden Dynamik, die so ihre Herkunft von Leibniz verrät ³¹).

Leibniz' Vorschlag zur Lösung des Wechselwirkungsproblems durch das *Prinzip der Identität*, der Gleichheit von Ursache und Wirkung, methodisch der Lösung des Gordischen Knotens durch Alexander den Großen vergleichbar, findet auf dem Kontinent kaum Widerspruch ³² und in England keine Beachtung. So geschieht es, dass daraus unversehens das Paradigma einer neuen monistischen Mechanik wird, deren Ausgangspunkt ein mit der Wirkung 'Bewegungsänderung' *identischer* Kraftbegriff ist. Dass diese Wirkung zudem nicht mehr als endliches Maß, sondern als unendliche (oder konstante) *zeitliche Ableitung* einer endlichen Bewegungsänderung bzw. als 'Beschleunigung' verstanden wird, hängt einerseits mit der Einschätzung der Gravitation als Prototyp der *Kraft*, andererseits mit der Entwicklung und Rezeption des Leibniz'schen Infinitesimalkalküls im 18. Jahrhundert zusammen, die, als Identifikation von Leibniz'schem Calculus und mechanischer Theorie, von Daniel Bernoulli ³³ über Leonhard Euler und Jean le Rond d'Alembert ³⁴ bis zu Joseph Louis Lagrange ³⁵ fortschreitet, in dessen *Mécanique Analytique* sie 1788 einen ersten formalen Abschluss findet. Die zugrundeliegenden Prinzipien gelten in der sogenannten klassischen Mechanik bis heute, an erster Stelle eben die Leibniz'sche Gleichsetzung von Ursache und Wirkung in der Form der Definition der (konstanten) *Kraft* durch die (konstante) *zeitliche Ableitung* der Bewegungsänderung, also in der Formel 'Kraft gleich Masse mal Beschleunigung' ³⁶. D'Alembert übrigens macht in seinem *Traité de Dynamique* von 1743 unmissverständlich klar, dass er das Prinzip der Proportionalität von Ursache und Wirkung, welches er "vage" und "obskur" nennt, ganz bewusst fallen lässt ³⁷, und die polemische Spitze gegen Newton, dessen Vorstellungen noch Pierre Varignon zwanzig Jahre vorher unverändert übernommen hatte ³⁸, ist deutlich zu

spüren. Der unübersehbare Paradigmawechsel von der *Analogie* zur *Identität*, die Ablösung einer dualistischen Philosophie durch ein monistisches Weltbild, ist in keiner Weise empirisch begründet, sondern entsteht aus einem *aufklärerischen Willensakt*, mit dem als Erster Leibniz sich von der platonischen Naturphilosophie seiner Zeit abgewandt und versucht hatte, durch die Identifikation von *causa* und *effectus* auf ein und derselben Seinsebene eine metaphysikfreie rationale Theorie der Mechanik zu begründen. Diese geistesgeschichtliche Entwicklung ist bekannt unter dem Begriff *Emanzipation der Naturwissenschaft*. Dass sie mit einer Veränderung des begrifflichen Fundaments der Mechanik verbunden war, die in der mathematischen Konzeption der *Kraft* zum Ausdruck kommt, ist bislang nicht bekannt, und übersehen wird auch, dass die vielbeklagte Trennung von Philosophie und Naturwissenschaft offenbar hier begonnen hat, was nicht heißen muss, dass die in ihren Konsequenzen materialistisch-deterministische Position von Leibniz nicht in einem platten empiristischen Aristotelismus wie in manchen Materialisten der älteren Zeit Vorläufer gehabt hätte. Ihre Nachfolger sind leicht auszumachen, da sie alsbald³⁹, besonders aber im ausgehenden 19. Jahrhundert⁴⁰ und im Neopositivismus des 20. Jahrhunderts die Szene beherrschen.

Man mag Leibniz' Tat als Trennung von Naturwissenschaftserkennen und gläubigem Schöpfungsverständnis durch Schaffung eines eigenen methodischen Fundaments der Naturwissenschaft interpretieren⁴¹. Jedoch sollte der Preis gesehen werden, den dieser emanzipatorische Schritt gekostet hat. Da in der *analogia entis*, in der Proportionalität von Ursache und Wirkung, das Kausalprinzip liegt, als *schöpferisches* Prinzip des *Entstehens von Wirkungen aus ihren Ursachen in der Zeit*⁴², so geht mit der *Identifizierung* von *causa* und *effectus* natürlich, wie z.B. schon Lazare Carnot gewusst haben dürfte⁴³, dieses dualistische Kausalverständnis verloren. An seine Stelle tritt der analytisch-arithmetische *funktionale Zusammenhang*. Und das bedeutet zwangsläufig *Instantanität*, nämlich *Gleichzeitigkeit* von Kraft und Bewegungsänderung, was wiederum *instantane Fernwirkung*, *Kontinuumsvorstellung* und *Determinismus* nach sich zieht - all das Ingredienzien der sogenannten 'klassischen Mechanik' (aus Leibniz'schem Geist), die erst die moderne Physik zu überwinden begonnen hat; und es nötigt zu einer Philosophie der Relationalität oder Relativität der Kontinua von Raum und Zeit und der Bewegung, die folgerichtig die Philosophie von Leibniz ist.

Isaac Newton steht am anderen Rand der seit Leibniz aufgerissenen Kluft. Der "Philosophenkrieg"⁴⁴ zwischen beiden war gewiss mehr als ein Prioritätsstreit um die Erfindung des *calculus differentialis*. Das Wechselwirkungsproblem, um das es im Grunde

geht, löst Newton *dualistisch* und *spiritualistisch*. Er kennt eine d Materie eingepflanzte 'Trägheitskraft' (*materiae vis insita*⁴⁵), die in Wechselwirkung mit der dem Körper von außen her eingedrückten Kraft 'vis impressa' nach dem Prinzip *actio = reactio* die äußere Bewegungsursache in die Bewegung des materiellen Körpers *transformiert*⁴⁶. Die Vorstellung instantaner Fernwirkung einer durch nichts vermittelten Gravitationskraft, die ihm materialistisch-mechanizistische Geister schon zu seinen Lebzeiten unterzuschieben versuchten, hat Newton mit allem Nachdruck als "Absurdität" von sich gewiesen⁴⁷. Raum und Zeit versteht er als absolute, d.h. *reale* (freilich transzendente, apriorische, weil aller messenden Erfahrung zugrundeliegende und vorausgehende) *metrische* Entitäten, d.h. als *Maßstäbe* zur Messung endlicher Quantitäten von Räumen und Zeiten. Folglich sieht er sie nicht, wie Leibniz, als bloße Ordnungskontinua, sondern *substantiell und quantisiert*, nämlich als Maßstäbe konstituiert aus elementaren Einheiten (Teilchen), und die von ihnen abgelesenen makroskopischen Messwerte von Räumen und Zeiten repräsentiert durch Quantitäten, durch *Mengen* solcher Einheiten, ebenso wie die Materie quantisiert ist: es ist die *Anzahl* materieller gleichartiger Elementarteilchen in einem makroskopischen Körper, die Newton dessen 'Materiemenge' oder 'Masse' nennt⁴⁸.

Für die Realität der immateriellen Entitäten 'Raum' und 'Zeit' kämpft Samuel Clarke im Briefwechsel mit Leibniz von 1715-1716⁴⁹. Clarke versteht Newtons Lehre im übrigen als *Philosophie der Freiheit*, die allein mit der christlichen Lehre vereinbar sei - und er versteht sie wohl richtig, da ihm Newton selbst gewissermaßen die Feder führt⁵⁰. Und während er Spinoza nennt, argumentiert er gegen die *auch aus Leibniz'schen Prinzipien folgende Philosophie von Notwendigkeit und Verhängnis*, und gegen ihren inhärenten atheistischen Materialismus und Determinismus⁵¹.

Newtons Position ist aber realistisch-atomistisch *und platonisch zugleich*, also bestimmt von dem Grundsatz der *Analogie* von Natur und Erfahrung. Und nur von hier aus kann man wohl die metaphysischen Anfangsgründe der Newton'schen *Principia* verstehen, zumal die drei *Axiome* oder *Bewegungsgesetze*, die Newton seiner Lehre von der Bewegung der Körper voranstellt⁵². So sind die beiden ersten Axiome wirkliche *Naturgesetze* von der Bewegung und ihren Ursachen, den bewegenden Kräften, und von dem Verhältnis der Kräfte zu den verursachten Bewegungen. Wenn ein Körper, nach dem *Axiom I*, seine geradlinig-gleichförmige Bewegung (oder seinen Zustand der Ruhe) beibehält, sofern er nicht durch von außen eingedrückte Kräfte zur Änderung seines Zustands gezwungen wird, so ist die Ursache

dieses Verhaltens die dem Körper eingepflanzte *Kraft der Trägheit* als ein inneres *passives Prinzip*⁵³. Hingegen verursachen, nach dem *Axiom II*, Kräfte, die einem Körper von außen eingedrückt werden, als *aktive Prinzipien* stets *Zustandsänderungen* (Bewegungsänderungen), wozu, wegen des Vektorcharakters der Bewegung und der eingedrückten Kraft, auch Richtungsänderungen zählen. *Das Verhältnis* zwischen der von außen eingedrückten Kraft und der erzeugten Bewegungsänderung ist laut dem *Axiom II* die *Proportionalität*, so dass eben dieses *Axiom II* die mathematische Regel liefert, nach der das, was geschieht, aus etwas anderem, das ihm vorausgesetzt ist, folgt⁵⁴; und das ist nichts anderes als das *mathematische Gesetz der wirklichen Kausalität*, das *Kausalgesetz*, für das die deterministische analytische Mechanik freilich keine Formel kennt. Hiernach scheint klar, dass gerade das *Axiom II nicht* - wie es bisher allgemein geschieht - mit Hilfe des Leibniz'schen Satzes der *Identität* von *causa* und *effectus*, von Kraft und Bewegungsänderung, *monistisch* im Sinne von 'Kraft gleich Massebeschleunigung' interpretiert werden kann, womit übrigens z.B. die historische Newton-Kritik Hegels⁵⁵ ihren Ansatzpunkt verliert. Wenn es einen Gegensatz zwischen Platonischem Apriorismus und Aristotelischem Empirismus gibt, so steht Newton an der Seite Platons; und wenn dieser Gegensatz durch das Begriffspaar *Analogie* und *Identität* richtig gekennzeichnet wird, so steht Newton für *Analogie*. Die bisherigen Überlegungen sollten zeigen, dass es hierfür tiefere Gründe gibt, als nur den Wortlaut des zweiten Bewegungsgesetzes, der allerdings eindeutig ist⁵⁶.

Wenn also Newtons äußere Kraft 'vis impressa', die dem Körper eingedrückte *bewegende Kraft*, von der Bewegung, die sie erzeugt, wesensverschieden ist, so muss sie in einer quantitativen Theorie auch ein *anderes Maß* als jene haben. Die Frage nach diesem Maß, nach dem *richtigen Kraftmaß*, war kurz vor dem Erscheinen der *Principia* durch eine Publikation von G.W. Leibniz kontrovers geworden⁵⁷. Den anhaltenden Philosophenstreit, der daraus entstand (noch der junge Immanuel Kant beteiligte sich 1746 daran⁵⁸), hat nach allgemeiner Meinung d'Alembert beigelegt⁵⁹. Jedoch war bereits bemerkt worden, dass gerade d'Alembert als Herold der rationalistischen, antimetaphysischen Aufklärung für den Paradigmenwechsel von der analogen zur identischen Naturauffassung verantwortlich ist. Seine Lösung des Problems des Kraftmaßes beruht denn auch ganz auf dem Leibniz'schen Identitätssatz, nicht auf der Lehre Newtons. In dieser nämlich resultiert aus der *Proportionalität von Kraft und Bewegungsänderung*⁶⁰ ein *maßbehafteter Proportionalitätsfaktor*, die *Newtonische Konstante*, wie ich sie nenne⁶¹. Sie bestimmt das Maß der Kraft, indem sie das zugehörige raumzeitliche Bezugssystem der Bewegung angibt. In der analytischen Mechanik,

die, Leibniz folgend, ein solches absolutes Bezugssystem nicht kennt, tritt aufgrund des Identitätssatzes eine solche Proportionalitätskonstante nicht auf.

Leibniz hatte das geometrische Maß der Kraft in seiner Arbeit von 1686 dadurch bestimmen wollen, dass er *voraussetzte*, die Kraft sei jedenfalls dem Weg proportional, den ein von ihr bewegter Körper (der Masse m ; im folgenden wird $m = 1$ gesetzt) zurücklegt⁶², wobei das konstante Verhältnis von 'Geschwindigkeit zu Zeit' oder von 'Weg zu Zeitquadrat' (die Beschleunigung) den Proportionalitätsfaktor bilden soll (Kraft F zu Weg $s =$ Geschwindigkeit v zu Zeit t ; $F/s = v/t = s/t^2$). Folgerichtig erhielt er aus der Auflösung dieser Proportionsgleichung für die Kraft F das ihr identische Maß $v \times s/t = s^2/t^2 = v^2$. Die so definierte Kraft nennt Leibniz "vis viva", die *lebendige Kraft*, und ihr Moment (nämlich den Quotienten aus lebendiger Kraft und Weg) "vis mortua", die *tote Kraft*⁶³, die also gleich dem Quotienten v/t oder gleich der zweiten zeitlichen Ableitung des Weges, s/t^2 , ist.

Newton hingegen betont, dass eine Proportionalität von Kraft und Weg lediglich *zu Beginn* einer entstehenden Bewegung ("ipso motus initio") angenommen werden kann (Andrew Mottes englische Übersetzung von 1729 sagt richtig: "In the very beginning of the motion")⁶⁴. Im weiteren Verlauf gilt nämlich, dass die entstehende Bewegungsgeschwindigkeit (und damit auch die ihr proportionale erzeugende Kraft) nicht dem Weg, sondern der Zeit proportional ist (Galileis Fallgesetz⁶⁵). Somit gilt nur für die allerersten Weg- und Zeitelemente Δs und Δt der entstehenden Bewegung das Verhältnis $F/\Delta s = v/\Delta t$. Im weiteren Verlauf dagegen ergibt sich durch Umstellung der Beziehung für das Verhältnis von Kraft F zu Geschwindigkeit v ⁶⁶ die viergliedrige Proportion (oder -griechisch- *tetraktys*) $F/v = \Delta s/\Delta t$ mit dem Quotienten $\Delta s/\Delta t$ als der Proportionalitätskonstante c , deren Maß oder Dimension $[L/T]$ ist. Für die newtonische 'vis impressa', die nach dem *Axiom II* zu ihr proportionale Bewegungsänderungen $\Delta(mv)$ erzeugt, erhält man also das Maß $\Delta(mv)c$. Die mathematische Beschreibung der Kraft durch das Produkt aus der von ihr erzeugten Bewegung und einer Naturkonstante c , die aus der Proportionalität von Kraft und erzeugter Bewegung entsteht, ist nun offenbar ein synthetischer Satz a priori im kantischen Sinn, während das Gegenstück in der analytischen Mechanik, die Gleichung $F = m(dv/dt)$, ein analytischer Satz ist, eine reine *Definition* der Kraft F durch die mit ihr identische *Bewegungsgröße* $m(dv/dt)$ oder eine bloße Benennung dieser Bewegungsgröße durch das Wort 'Kraft', was dasselbe ist, und übrigens identisch mit Leibniz' 'toter Kraft'.

Der Wechsel des Paradigmas der Kraft von (newtonisch) $F = \Delta(mv)c$ zu (leibnizisch) $F = m(dv/dt)$ oder $F = ma$ (mit $a = dv/dt =$ 'Beschleunigung') ist evident. Das gilt auch dann, wenn man auf die *zeitliche Ableitung* der Bewegungsgröße als Kraftwirkung abstellt, womit aus der oben als *endlich* angenommenen Kraft F eine kontinuierlich oder konstant wirkende Kraft K ($K = F/\Delta t$) und die newtonische Gleichung $K = (\Delta mv/\Delta t) \times c$ entsteht⁶⁷. Somit steht die monistische analytische Mechanik aus Leibniz'schem Geist in deutlichem Gegensatz zu Newtons Konzept, und dass sie gleichwohl bis heute 'Newton'sche' Mechanik heißt, ist angesichts dieses Befundes ebenso erstaunlich wie die Selbstverständlichkeit, mit der die Gelehrten bislang das newtonische *Axiom II* ohne Rücksicht auf Wortlaut und systematische Stellung (oder gar auf Newtons Philosophie) der Leibniz'schen Konzeption 'tote Kraft' gleichsetzen.⁶⁸

Dass mit dem dargestellten newtonischen, synthetisch-apriorischen Kraftbegriff eine ganz andere als die herkömmliche monistisch-materialistische Bewegungslehre entstehen muss, liegt auf der Hand. Newtons *dualistische* 'Physik' wäre erst noch zu entdecken.⁶⁹ Sicher ist wohl, dass die Kritik, welche die herkömmliche analytische Mechanik durch die moderne Physik erfahren hat, entgegen Einsteins und vieler anderer Meinung⁷⁰ nicht zwangsläufig auch eine Kritik an Newtons Lehre zu sein brauchte; man hatte eben nie einen Unterschied zwischen der analytischen Mechanik und Newtons Lehre in Erwägung gezogen. Überprüft man nun das Verhältnis zwischen den formalen Grundlagen der modernen Physik und den richtig verstandenen Prinzipien Newtons, so zeigt sich, dass das hier gefundene newtonische Gesetz der Proportionalität von Ursache und Wirkung, von Kraft und Bewegung, mit der Proportionalitätskonstante c [L/T], als Proportionalität von 'Energie' und 'Impuls' mit eben derselben Konstante c [L/T], die hier als *Vakuumlichtgeschwindigkeit* interpretiert wird, in der modernen Physik wiederkehrt und fundamental ist.⁷¹

Die Bedeutung dieses Fundes für Physik und Naturphilosophie ist kaum zu überschätzen.

Was zunächst Einsteins Spezielle Relativitätstheorie angeht, so unterscheidet sie sich von der analytischen Mechanik wesentlich durch die Messung des Impulses (der Bewegungsgröße mv). Die analytische Mechanik misst die endliche Kraft oder den *Kraftstoß* F mal t (das Zeitintegral der Beschleunigungsgröße mdv/dt) gemäß dem Leibniz'schen Identitätssatz durch den Impuls p ($= mv$) *im selben Zeitpunkt* t . Es ist klar, dass dabei die *Gleichzeitigkeit* von erzeugendem Kraftstoß und erzeugtem Impuls vorausgesetzt wird, das heißt, die Entstehung

des Impulses aus der Kraft würde hier keine Zeit beanspruchen, die geschähe "plötzlich".⁷² Dass dies aber eine unzulässige Vereinfachung sein muss, lehrt die Erfahrung, die schon Galilei bei der Ermittlung des Fallgesetzes machte⁷³, dass nämlich ein Körper, der unter der Wirkung einer bestimmten Kraft einen bestimmten Bewegungszustand annehmen soll, zuvor alle kleineren Bewegungszustände durchlaufen muss, wozu er Zeit benötigt. Vergeht aber zwischen dem Einwirken der Kraft im Zeitpunkt t und der Entstehung der ihr proportionalen Bewegung Zeit, so kann diese Bewegung nicht gleich derjenigen im Zeitpunkt t sein, sondern sie muss größer sein als jene. Da nun die zur Erzeugung des Impulses benötigte Zeit umso größer sein muss, je größer die erzeugende Kraft ist, so wird auch der erzeugte Impuls im selben Verhältnis größer sein als der Impuls zur Zeit t . Eben dies aber kommt in dem empirisch gesicherten Formalismus der Speziellen Relativitätstheorie zum Ausdruck, wonach der *relativistische* (das ist der *wirklich zu messende*) Impuls sich von dem analytisch zu *errechnenden* Impuls um einen geschwindigkeitsabhängigen Faktor *größer eins* unterscheidet.⁷⁴ Einsteins Kritik des Gleichzeitigkeitsbegriffes erwiese sich an dieser Stelle als Kritik der analytischen Gleichzeitigkeit von Kraft und Bewegung, von Ursache und Wirkung. Seine Theorie erschiene damit partiell als unbewusste Rückkehr zu den richtig verstandenen Prinzipien der galilei-newtonischen Lehre, in der das Phänomen des zeitlichen Entstehens von Wirkungen aus ihren Ursachen und die Existenz einer Entstehungs- oder Änderungsgeschwindigkeit des Impulses bekannt war. Das zeigt neben Galileis Erkenntnissen zum Fallgesetz besonders Newtons *Lehre von der entstehenden Bewegung*⁷⁵; die analytische Mechanik kennt nichts dergleichen.

In der Quantenmechanik folgt die Proportionalität von 'Energie' und Impuls unmittelbar aus der Photonentheorie, wiederum mit der Proportionalitätskonstante c .⁷⁶ Fasst man diese Konstante c entsprechend ihrer Dimension $[L/T]$ als einen Quotienten elementarer Größen von 'Raum' bzw. Länge Δs , und Zeit, Δt , auf, (was Newtons transzendenter Realismus entspricht⁷⁷), so ergibt sich die zur Proportionalitätsgleichung $\Delta E/\Delta p = \Delta s/\Delta t = c$ gehörende *Produktengleichung* sofort in Übereinstimmung mit den identischen *Heisenberg'schen Unschärferelationen*, die einen wesentlichen Teil des leicht überschaubaren formalen Fundaments der Quantenmechanik ausmachen.⁷⁸ Dass schließlich die Beziehung $E = (mv)c$, die die 'Energie' E als Bewegungsursache proportional zur Bewegungsgröße (mv) setzt, infolge der Gleichungen $E = hv = pc$ und $p = h/\lambda = mv$ ($v =$ Frequenz, $\lambda =$ Wellenlänge) ein Desideratum der Quantenmechanik sein muss, ist auf die einfachste Weise festzustellen.⁷⁹ Man gewinnt damit übrigens den mathematischen Ausdruck für die newtonische *Trägheitskraft* als Ursache

der gleichförmig-geradlinigen Bewegung. Die analytische Mechanik, wiederum, kennt auch hier nichts dergleichen, so dass ihr der gleichförmig-geradlinige Bewegungszustand ein "kausales Paradoxon" (v. Weizsäcker⁸⁰) bleibt.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die newtonischen Prinzipien 'Analogie' und 'Atomismus' (letzterer im Sinne von 'Quantisierung der physikalischen Phänomene'), an deren Stelle in der von Leibniz inspirierten analytischen Mechanik die Prinzipien 'Identität' und 'Kontinuum' getreten waren, in der modernen Physik wieder zur Geltung kommen. Nun ist aber die moderne Physik aus der Beobachtung neuartiger Phänomene hervorgegangen. Sie ist im besten newtonischen Sinne *experimentell*; weil und insoweit also die Sätze, die sie aus der Beobachtung der Phänomene gewonnen hat, mit den Prinzipien Newtons, wie sie hier dargestellt wurden, in Einklang stehen, erweist sich diese neue Physik als *experimentelle Bestätigung einer dualistischen Philosophie in der richtig verstandenen galilei-newtonischen Tradition*. Von hier aus kann auch gesagt werden, dass die moderne Physik die Auseinandersetzung zwischen Leibniz und Newton, die wohl das Thema 'Freiheit oder Determinismus' der abendländischen Philosophie zum eigentlichen Gegenstand hatte, *entschieden hat*, und zwar zugunsten Newtons und der *Philosophie der Freiheit*.⁸¹

3. Kraft und Energie; Kinematik, Dynamik, Energetik: Versuch einer Begriffsklärung.

Die Geschichte der Entwicklung der Mechanik seit dem 17. Jahrhundert könnte als Geschichte ihrer Begriffsbildungen geschrieben werden. *Verstehen* kann man sie und den Rang, der Newtons *Principia* darin zukommt, nur, wenn man die hinter den Wörtern liegenden Strukturen mathematischer Art erkennt und versteht. Das wird durch Missdeutungen, die historisch sind und ihre Wirkung getan haben, erheblich behindert. Schon im Begriff der *Kraft* kamen im 17. Jahrhundert zwei Dinge zusammen und durcheinander, die unterschieden werden müssen. Oben war von der Kraft als *Bewegungsursache* die Rede gewesen, die der erzeugten Bewegung proportional ist und somit zur Bewegungsgeschwindigkeit in *linearer Beziehung* steht. Jedoch war schon angeklungen, dass mit Leibniz' *Brevis demonstratio erroris memorabilis Cartesii et aliorum* von 1686 eine andere Konzeption auftrat, in der die Kraft durch das *Geschwindigkeitsquadrat* gemessen wird. Das Hin und Her zwischen diesen beiden Konzeptionen hat den langwierigen *Streit um das wahre Kraftmaß*⁸² genährt, und hier wurde wohl der Grund zu einer Begriffsverwirrung gelegt, die

für die mangelhafte erkenntnistheoretische Durchdringung der Physik mitverantwortlich sein dürfte.

So sicher 'Kraft' als *extensive Größe*⁸³, als *in der Zeit wirkende und sich verwirklichende Bewegungsursache* verstanden, nur der erzeugten Bewegungsgeschwindigkeit, nicht aber deren *Quadrat* analog sein kann⁸⁴, so sicher war doch Leibniz' Konzept mehr als ein bloßer "wonderfully unphilosophical error" (Samuel Clarke⁸⁵) - was es zunächst freilich gewesen war. Leibniz hatte nämlich unabsichtlich die Spur einer *intensiven Größe*⁸⁶ aufgenommen, die eben durch das Maß des Quadrats der Bewegungsgeschwindigkeit gegeben ist. Diese *Intensität* der Bewegung, für die der Name 'kinetische Energie' gebräuchlich wurde, ist ein bestimmendes *Maß der Bewegung von Körpern gegen äußere Widerstände*⁸⁷. Newton erfasst dieses Maß mit unter dem Begriff "actio"⁸⁸, und er meint damit die *Wirksamkeit* mechanischer Maschinen, also das, wofür in der heutigen Physik die Begriffe 'Arbeitsfähigkeit' oder 'Energie' stehen. Newtons Maß hierfür ist *das Produkt aus Bewegungskraft und Geschwindigkeit*⁸⁹, woraus natürlich, da die Bewegungskraft *linear* mit der Geschwindigkeit wächst, ebenfalls das *Geschwindigkeitsquadrat* resultiert. Diesen Gegenstand nun weist Newton in den *Principia der Mechanik* zu und erklärt, dass er diese im Rahmen seiner elementaren *Bewegungslehre* nicht weiter behandeln wolle (er kommt erst im "zweiten Buch" der *Principia* darauf zurück). Hier wird also eine Unterscheidung zwischen axiomatischer Bewegungslehre und (angewandter) Mechanik sichtbar. Auch Leibniz bemerkte mit der Zeit, dass sein durch das Geschwindigkeitsquadrat zu messendes (intensives) Kraftkonzept einem *speziellen Bereich* physikalischer Probleme zuzuordnen war, und er prägte dafür die Bezeichnung "Dynamik"⁹⁰, wobei die Anlehnung an Aristoteles nicht zufällig ist⁹¹. Die Dynamik, wäre also hiernach die Lehre von der Bewegung der Körper *gegen äußere Widerstände* und der dazu nötigen Kraft- oder Bewegungsintensität, die Leibniz "lebendige Kraft", Newton "actio" nennt, der diese Lehre im Zweiten Buch der *Principia* vorstellt und darunter nichts anderes versteht als *angewandte Mechanik*, der *die Geometrie* "als jener Teil der *Mechanik insgesamt*, welcher die Kunst des genauen Messens behauptet und beweist" (Newton⁹²), *vorgeordnet ist*, sozusagen als *theoretische Mechanik*, wie Newton in seinem Vorwort vom 8. Mai 1686 darlegt. Somit wäre das, was Newton als *angewandte Mechanik* auffasst und was Leibniz "Dynamik" nennt, ein und dasselbe und außerdem wesengleich mit der im 19. Jahrhundert auf der Grundlage der Begriffe 'Arbeit' und 'Energie' entstandenen *Energetik*.

Voraus geht alledem bei Newton die Lehre von der Bewegung der Körper *im widerstandsfreien Raum* und von den hier ursächlichen *extensiven Kräften*, die in *linearer Beziehung* zu den erzeugten Bewegungserscheinungen stehen müssen. Und diese Lehre, von der Leibniz offenbar überhaupt keinen Begriff hatte, ist Gegenstand des ganzen "Ersten Buches" der *Principia*. Eben diese neue, hoch-abstrakte, apriorisch-axiomatische und deshalb ganz unaristotelische Bewegungslehre ist auch die Grundlage der Galilei'schen *Kinematik von Fall und Wurf*, die also eine idealisierende, weil von Bewegungswiderständen absehende *platonische* Theorie darstellt. Wer diese Kinematik - wie es verbreitet geschieht - als 'kräftefrei' bezeichnet ⁹³, der hat insofern Recht, als hier in der Tat 'Arbeit' oder (kinetische oder potentielle) 'Energie' keine Rolle spielt. Jedoch ist selbstverständlich die bewegungsverursachende *äußere* Kraft "vis impressa" ebenso wie die bewegungerhaltende *innere* Kraft "vis insita", Newtons "Trägheitskraft", die er dem Galilei'schen Begriff "impetus" ausdrücklich gleichsetzt, zentraler Bestandteil dieser Bewegungslehre, in Galileis *Discorsi* von 1638 ebenso wie in den *Opera Geometrica* seines Schülers Evangelista Torricelli von 1644 ⁹⁴, und natürlich in Newtons *Principia* (Erstes Buch).

In der modernen Physik nun treten diese zu ihren Effekten in *linearer* Beziehung stehenden *extensiven* physikalischen Entitäten, die die analytische Mechanik nicht kennt, wieder auf, freilich jetzt unter dem Namen "Energie", in Gestalt der elementaren Beziehungen $E = mc^2$ (= (mc) mal c: deshalb "linear"!) und $E = hv$. Das gibt Anlass zu weiterer Verwirrung, zumal das Maß dieser 'Energien' (ihre *Dimension*) *scheinbar* mit dem *quadratischen* Maß der intensiven Größe 'Energie' der analytischen Mechanik *übereinstimmt*. ⁹⁵ Hält man die Dinge in der gebotenen Weise auseinander, so ist zu erkennen, dass offenbar die mathematische Struktur einer *geschwindigkeitsproportionalen* (impulsproportionalen) Ursache 'Kraft' *elementar*, die dem Geschwindigkeitsquadrat zugeordnete Struktur, die die *Intensität* der Bewegung misst, eine *abgeleitete* oder *sekundäre Größe* ist. Deshalb bildet Newton die letztere, wie schon bemerkt, durch das *Produkt aus Kraft und Geschwindigkeit*. In der analytischen Mechanik entspricht dem das Produkt 'Kraft mal Weg' oder das *Wegintegral der Kraft*, worin einmal mehr die Verschiedenheit des Kraftbegriffs dieser Theorie von demjenigen der authentischen Lehre Newtons deutlich wird ⁹⁶.

Übrigens ist der Unterschied auch bei diesen zur *angewandten Mechanik* (Newton) bzw. zur *Dynamik* (Leibniz) gehörenden Konzeptionen in den Kategorien *Analogie* bzw. *Identität* zu fassen, denn: das Konzept, welches dem Geschwindigkeitsquadrat zugeordnet ist und das hier

'Arbeit' heißen soll, ist in der analytischen Mechanik mit dem Ausdruck mv^2 (bzw. $mv^2/2$) *identisch*. Bei Newton dagegen folgt aus der Beziehung *Arbeit* $A = \text{Kraft mal Geschwindigkeit}$ dann, wenn man für 'Kraft' den Term $(mv)c$ setzt, die Gleichung $A = mv^2c$, also die *Proportionalität* von A und mv^2 , mit der Konstante c . Die Erklärungskraft dieser newtonischen Konzeption im Bereich der angewandten Mechanik/Dynamik ist beträchtlich⁹⁷.

Insgesamt sollte mit dieser Einführung gezeigt werden, dass philosophische, formal-mathematische und systematische Gründe *in Menge* die hier vorgestellte Interpretation erzwingen, mit der die newtonischen Prinzipien (infolge des Kraftmaßes mv) in engste Beziehung zur modernen Physik treten. Diese Nähe kann kein Zufall sein; vielmehr bestätigt sie die ungebrochene Gültigkeit der authentischen Lehre Newtons. Auf der Strecke bleibt die analytische Mechanik aus Leibniz'schem Geist und ihre materialistisch-deterministische *monistische Ideologie*. Newton verkündete absolute Wahrheiten. Dass diese (deformiert zur analytischen Mechanik) sich als trügerisch erwiesen, hat die Welt erschüttert bis zum Zweifel an der Möglichkeit von Wahrheit überhaupt. Es war aber nur die *analytische Interpretation* mangelhaft, nicht die Lehre selbst. Ist das erkannt, wird Wahrheitsuche, wird eigentlich Philosophie erst wieder möglich. Der modernen Physik, obwohl sie (unbemerkt) den authentischen newtonischen Prinzipien nahegekommen ist, fehlt gegenwärtig der Bezug zu solcher Art Wahrheit. Weithin wissen die Physiker nicht, was sie tun, und ihre nachdenklicheren Vertreter räumen das ein⁹⁸. Wer aber nicht weiß, was er tut, weiß auch nicht, was er riskiert. Gewiss besteht also ein Bedarf für eine *Philosophie der Physik*. Wie es scheint, wird das eine Philosophie aus dem echten Geist Newtons sein müssen, eine *Neue Newtonische Naturphilosophie*.

Bibliographische Anmerkung zu Auswahl und Übersetzung.

Die vorliegende Ausgabe bietet eine gekürzte Fassung der *Principia*. Die Kürzung folgt einerseits Newtons eigener Empfehlung an den allgemein interessierten Leser, sich auf die ersten drei Abschnitte des Ersten Buches und auf das Dritte Buch zu beschränken⁹⁹, andererseits will sie doch alles enthalten, was zum Verständnis der Philosophie Newtons notwendig erscheint. Deshalb wurden die beiden ersten Abschnitte des Zweiten Buches mit aufgenommen, die den Kern der Newton'schen Widerstandslehre¹⁰⁰ enthalten und die Elemente seiner *Fluxionsrechnung*, während die Abschnitte 2 bis 5 des Dritten Buches (ausge-

nommen das wichtige *Scholium generale*) aus heutiger Sicht hier ebenso entbehrlich erschienen, wie die Abschnitte 4 bis 14 des Ersten und 3 bis 9 des Zweiten Buches (das vollständige Inhaltsverzeichnis der *Principia* siehe S. 2/3 der Edition).

Die Übersetzung benützt den Text der 3. Ausgabe von 1726, wie er, zusammen mit dem für die 2. Ausgabe (1713) verfassten, für das Verständnis der Newton'schen Philosophie außerordentlich hilfreichen Vorwort von Roger Cotes und einem Geleitwort von Edmond Halley in der von Samuel Horsley 1779-1785 veranstalteten Ausgabe der gesammelten Werke Newtons zur Verfügung steht¹⁰¹. Sie stellt Texttreue über sprachliche Eleganz, aber Verständlichkeit über Texttreue, wo das geboten und ohne Inhaltsänderung möglich schien. In Rücksicht auf das Gebot der Texttreue sind so z.B. auch die *termini technici*, die Newton für die Unterscheidung von Hilfs-, Grund- und Folgesätzen verwandte, nicht durch deutsche Synonyme, sondern durch die auf das Lateinische zurückgehenden Terme wiedergegeben worden. Da diese heute nicht mehr allgemein gebräuchlich sind, seien sie an dieser Stelle kurz erläutert: *Proposition* - Setzung bzw. Haupt- oder Grundsatz, der nachfolgend bewiesen wird; Newton führt die *Proposition* entweder als *Theorem* (Lehrsatz mit nachfolgendem Beweis) oder als *Problem* (Fragestellung mit nachfolgender Lösung) ein. *Lemma* - vorausgesetzter Hilfssatz, der (auch zusammen mit anderen) für den Beweis einer *Proposition* herangezogen wird. *Corollar* - Folgerung bzw. Folgesatz, der sich bei Gelegenheit der Anführung eines als erwiesen vorausgesetzten oder als beweisbar postulierten oder durch Beweis bestätigten Satzes zusätzlich ergibt (oder aus der Zusammenführung mehrerer solcher Sätze). *Scholium* - überleitende oder zusammenfassende (*Scholium generale*) erklärende Anmerkung zur Bedeutung und zum Geltungsumfang des/der durch Beweis bestätigten Satzes/Sätze.

Ohne die engagierte und kaum zu überschätzende Hilfe von Herrn Studiendirektor Karlheinz Dobel wäre die hier vorgelegte Übersetzung nicht zustande gekommen. Herrn Professor Dr. Rainer Specht hat durch sein sachkundiges Eingreifen dem Unternehmen die Richtung gewiesen, das Verlag und Lektor geduldig realisieren halfen. Ihnen allen gebührt anhaltender Dank. Die gewiss noch zu findenden Mängel verantwortet allein der Herausgeber.

Nachtrag März 2004:

Bei der Digitalisierung des vorstehenden Textes von 1988 haben sich nur ganz geringfügige Veränderungen ergeben, die den Inhalt nicht berühren. Ausgenommen ist die durchgängige Ersetzung des (kantischen) Terms "transzendental" zu (jetzt) "transzendent", womit die Differenz zwischen der *anthropozentrischen* Position Kants und dem *Theozentrismus* Newtons sichtbar gemacht wird; im Bereich der Bewegungslehre entspricht dem bei Kant die *relativistische* Auffassung von 'Bewegung' als gegenseitiger Lageveränderung von *Körpern*, bei Newton die Orientierung an einem transzendenten und dennoch realen, immateriellen Maß- und Bezugssystem aus 'Raum' und 'Zeit', dessen Parameter (vergleichbar einer *Gitterkonstante*) der Quotient aus Elementen des Raumes und der Zeit ist, die 'newtonische Konstante'. Kritisch zu kommentieren ist aus heutiger Sicht nur die wiederholte Bezeichnung der Newton'schen Prinzipien als "apriorisch". Ich habe inzwischen verstanden, dass der "Apriorismus" dieser Prinzipien *nicht* bedeutet, dass sie *unabhängig von der Erfahrung* gewonnen worden wären. Siehe dazu den Aufsatz "Neues über die Erkenntnistheorie Isaac Newtons" in Zeitschr. f. philosophische Forschung (1992) Nr. 1 S. 89 (Nr. 11 der Veröffentlichungsliste). Newton weist in den Erläuterungen zu den Bewegungsgesetzen darauf hin, dass und wie er diese Gesetze *aus der Erfahrung* gewinnt: Sein Werkzeug z.B. zur Gewinnung des Axioms I ist die *indirekte Beweisführung* ('demonstratio apagogica'): *Da die Erfahrung lehrt, dass alle Bewegungen, die unter dem Einfluss äußerer Kräfte stattfinden, entweder krummlinig oder beschleunigt oder verzögert verlaufen, so wird ein Körper, der keinen solchen äußeren Kräften begegnet, sich geradlinig-gleichförmig ins Unendliche bewegen, wie es das Erste Axiom aussagt* - wenngleich ein *direkter* empirischer Beweis für diese Aussage niemals zu führen sein wird. ED.

Fußnoten :

- 1) Mathematical Principles of Natural Philosophy, engl. von A. Motte, London 1729.
- 2) Principes mathématiques de la philosophie naturelle, franz. von Gabrielle-Emilie du Châtelet, Paris 1756.
- 3) Mathematische Prinzipien der Naturlehre, Hrsg. J. Ph. Wolfers, Berlin 1872.

- 4) Max Jammer, *Concepts of Force*, Cambridge/Mass. 1957, S. 166.
- 5) Der Begriff kommt her von J.-L. Lagrange, *Mécanique analytique*, Paris 1788.
- 6) Vgl. etwa Karl R. Popper, *Logik der Forschung*, 7. Aufl. Tübingen 1982, S. XXIV.
- 7) Albert Einstein (in P.A. Schilpp, *Albert Einstein als Philosoph und Naturforscher*, Braunschweig 1979, S. 12): "Newton, verzeih' mir, du fandest den einzigen Weg, der zu deiner Zeit für einen Menschen von höchster Denk- und Gestaltungskraft eben noch möglich war. Die Begriffe, die du schufst, sind auch jetzt noch führend in unserem physikalischen Denken, obwohl wir nun wissen, dass sie durch andere ... ersetzt werden müssen, wenn wir ein tieferes Begreifen der Zusammenhänge anstreben."
- 8) "Energie" wird hier von "Kraft" nicht unterschieden. Verstanden wird darunter nicht das quadratische Maß für die *Intensität* der Bewegung mv (welches die analytische Mechanik "kinetische Energie" nennt), sondern der in der Quantenmechanik verwendete *lineare* Term $h\nu$ (Planck'sche Konstante mal Frequenz), der in der Photonentheorie die Proportion "Energie zu Impuls = c " (mit c = konstant = Impulsänderungsgeschwindigkeit) erfüllt, die auch der Maxwell'schen Theorie des Elektromagnetismus und der Speziellen Relativitätstheorie zugrunde liegt (vgl. Max Born, *Die Relativitätstheorie Einsteins*, Berlin 1984, S. 244/45).
- 9) Johannes Kepler, *Astronomia nova*, Heidelberg 1609.
- 10) Vgl. Newtons Definitionen 1 und 2. Die von Ernst Mach aufgestellte Behauptung, dass Def. 1 zirkulär sei, geht bei Zugrundelegung der atomistischen Betrachtungsweise (die Mach nicht akzeptierte) ins Leere. So auch E.J. Dijksterhuis, *Die Mechanisierung des Weltbildes*, Berlin 1983, S. 523 (= Teil IV § 296), und G. Freudenthal, *Atom und Individuum im Zeitalter Newtons*, Frankfurt a.M. 1982, S. 39.
- 11) Dijksterhuis aaO. S. 205 (= Teil II § 113) nennt neben Descartes unter Berufung auf Pierre Duhem besonders Jean Buridan.
- 12) In Jacques Rohaults *Traité de Physique* von 1671, dem ersten *systematischen Lehrbuch* der cartesischen Philosophie, das 1682 in London in lateinischer Übersetzung erschien, ist dieses Prinzip unter den *ersten Axiomen der Naturphilosophie* angeführt, übrigens in nahezu wörtlicher Übereinstimmung mit Newtons *Axiomen* von 1687.
- 13) Siehe u.a. Alexandre Koyré, *Newton, Galileo, and Plato*, in *Newtonian Studies*, Chicago 1968, S. 201 ff.
- 14) Siehe u.a. Max Jammer, *Concepts of Force*, S. 147 ff.; Werner Kutschmann, *Die Newtonsche Kraft*, Wiesbaden 1983 (= Stud. Leibn. Sonderheft 12) S. 144.
- 15) Max Jammer, *Concepts of Force*, S. 142-45 bestreitet, dass Newton Böhme gelesen habe, führt aber zahlreiche Quellen der hier vertretenen Meinung auf.
- 16) Der Begriff *analogia entis* als Ausdruck für das Verhältnis des ewigen Seins Gottes zum vergänglichen Sein der Schöpfung wurde auf dem 4. Laterankonzil 1215 formuliert. Zu seiner platonischen Herkunft und seiner Erneuerung in der modernen Religionsphilosophie vgl. Erich Przywara, *Analogia Entis*, München 1934.

- 17) Da Newton *die Natur* "immer einfach" nennt ("natura semper simplex", Leitsatz des Philosophierens Nr. 1), so kann *diese* Natur nicht identisch sein mit der Fülle der Phänomene der Welt, sondern sie liegt ihnen 'analog' zugrunde.
- 18) Im Leitsatz des Philosophierens Nr. 3 betont Newton das Prinzip der 'Analogie der Natur'. Das entspricht Thomas von Aquins Lehrunterscheidung von *natura naturata* (d.i. die Schöpfung) und *natura naturans* (d.i. das schöpferische Prinzip). Vgl. auch J.E. McGuire, *Atoms and the Analogy of Nature: Newton's Third Rule of Philosophizing*, *Studies in History and Philosophy of Science I* (1970), S. 3, 1 ff., 41.
- 19) Newton nennt die Naturgesetze "leges naturae", also *Gesetze der Natur*, nämlich Gesetze, nach denen die Natur vorgeht; nicht sind es *menschliche Gesetze* der Beschreibung oder Beherrschung der Natur. Sie sind deshalb auch im strengen Sinne *wahr*; nicht sind sie nur *bloße Annäherungen* an die Wahrheit. - Immanuel Kant, der meinte, es sei *der Mensch*, der der Natur *seine Gesetze vorschreibe*, um sie zu beherrschen, steht mit diesem *anthropozentrischen* Ansatz in schroffem Gegensatz zu Newtons *theozentrischer* Philosophie.
- 20) Vgl. Stillman Drake, in: Galilei, *Dialog über die beiden hauptsächlichsten Weltsysteme, das ptolemäische und das copernicanische*, Leipzig 1891/ Stuttgart 1982, Ergänzung zu den Anmerkungen von E. Strauß, Nr. 33.
- 21) Galileo Galilei, *Unterredungen und mathematische Demonstrationen ...*, Darmstadt 1973, S. 298 ff.
- 22) John Wallis, *Mechanica sive de Motu Tractatus Geometricus*, London 1670.
- 23) John Wallis aaO., Proposition VII und Scholium: "Universalem hanc propositionem praemittendam etiam duxi; quoniam viam aperit, qua, ex pure mathematica speculatione, ad physicam transeatur; seu potius hanc et illam connectit."
- 24) Siehe *Principia*, Erstes Buch, 1. Abschnitt, *Scholium* nach *Lemma X*.
- 25) Vgl. W. Windelband, *Lehrbuch der Geschichte der Philosophie*, Tübingen 1980, § 31 (Substanz und Kausalität).
- 26) Malebranches Hauptwerk: *De la Recherche de la Vérité*, Paris 1674/75.
- 27) Vgl. Herbert Breger, *Elastizität als Strukturprinzip der Materie bei Leibniz*, in: A. Heinekamp Hrsg., *Leibniz' Dynamica*, Wiesbaden 1984 (= *Studia Leibnitiana Sonderheft 13*), S. 118 oben.
- 28) Vgl. bei H. Breger aaO. Fn. 29 mit weiteren Nachweisen.
- 29) So in der Schrift *De Arcanis Motus et Mechanica ad puram Geometriam reducenda*, vgl. bei H. Breger aaO.
- 30) Das Schlagwort 'causa aequat effectum' gibt dem Leibniz'schen Prinzip einen Anstich, als komme es geradenwegs aus der Hochscholastik (was der Urheber beabsichtigt haben mag). Sicher ist, dass es bis zur Mitte des 17. Jahrhunderts *unbekannt war*, da man es in keiner der damaligen Enzyklopädien finden kann (Goclenius, Frankfurt a.M. 1613; Mi-

craelius Stettin 1662).

- 31) Vgl. Julius Robert Mayer, Bemerkungen über die Kräfte der unbelebten Natur, Einleitung: "Kräfte sind Ursachen, mithin findet auf dieselben volle Anwendung der Grundsatz *causa aequat effectum*. Hat die Ursache c die Wirkung e , so ist $c = e$." Vgl. aber schon Lazare Carnot (1803), von dem Max Jammer sagt: "In order to avoid the metaphysical notion of force *and not to distinguish between cause and effect*, Carnot prefers the second method of approach" (Jammer, Concepts of Force, S. 214).
- 32) Ausgenommen vielleicht Christiaan Huygens. Er kritisiert Leibniz' Prinzip, das dieser Descartes hatte zuschreiben wollen, mit der Bemerkung, *er glaube nicht*, dass Descartes "ces deux choses" (Ursache und Wirkung) gleichgesetzt habe. Vgl. Chr. Huygens, Oeuvres complètes, Bd. XIX S. 163.
- 33) Daniel Bernoulli benützt im Examen Principorum Mechanicae (Petersburg 1726) wohl als Erster explizit die Gleichsetzung der Kraft mit der Ableitung der Bewegungsgröße nach der Zeit *als Kraftdefinition* (aaO. S. 126 ff.).
- 34) Jean le Rond d'Alembert, Traité de Dynamique, Paris 1743.
- 35) J. L. Lagrange erklärt in der Einleitung zum Zweiten Teil seiner Mécanique analytique es sei die Erfindung des Infinitesimalkalküls gewesen, die die Geometer in die Lage versetzt habe, die Bewegungsgesetze auf analytische Gleichungen zurückzuführen (aaO. S. 222).
- 36) Zu beachten ist, dass hier die zeitliche Ableitung der *Bewegungsgröße*, also des *einheitlichen Produkts 'Masse mal Geschwindigkeit'*, die der Ursache 'Kraft' entsprechende Wirkung ist. Es geht deshalb nicht, diese durch den Ausdruck $d(mv)/dt$ zu symbolisierende Größe in ihre Bestandteile m und dv/dt zu zerlegen, um alsdann eine Proportionalität von *Kraft* F und *Beschleunigung* dv/dt behaupten zu können, wobei nun die Masse m der Proportionalitätsfaktor wäre. So aber Ernst Mach, Die Mechanik in ihrer Entwicklung, Leipzig 1912, S. 210 ff.; vgl. auch I. Bernard Cohen, The Newtonian Revolution, Cambridge 1980, S. 193.
- 37) Jean le Rond d'Alembert aaO. 2. Aufl. 1758, Préliminaire S. XII. Vgl. Auch Anm. 31 (Zitat Max Jammer).
- 38) Pierre Varignon, Nouvelle Mécanique ou Statique, Paris 1725, S. 4 (Axiomes): "Les effets sont toujours proportionels à leurs causes ou forces productrices."
- 39) Vgl. George Berkeley, Schriften über die Grundlagen der Mathematik und Physik, Frankfurt a.M. 1985, insbes. Abschn. XII der ausgezeichneten Einleitung von Wolfgang Breidert.
- 40) Genannt sei hier Ernst Mach, dessen *Mechanik* von 1883 erheblichen Einfluss auf die nachfolgende Generation von Naturwissenschaftlern einschließlich Albert Einsteins hatte. Vgl. auch Heinrich Hertz' Bemühungen um eine Mechanik, die ohne den Kraftbegriff auskommen sollte.
- 41) Vgl. Heribert M. Nobis, Die Bedeutung der Leibnizschrift *De ipsa natura* im Lichte ihrer begriffsgeschichtlichen Voraussetzungen, Zeitschr. F. philosoph. Forschung Bd.

XX, S. 535, 537 f.

- 42) Zum *schöpferischen* Charakter des Kausalprinzips, den die analytische Mechanik nicht kennt, vgl. Etwa Nicolai Hartmann, Philosophie der Natur, Berlin 1980, S. 325 ff., 332.
- 43) Vgl. Anm. 31.
- 44) A. Rupert Hall, Philosophers at War, Cambridge 1980.
- 45) Vgl. *Principia*, Def. 3 mit Erläuterung.
- 46) Vgl. *Principia*, Def. 4 mit Erläuterung.
- 47) Siehe bei I. Bernard Cohen, Isaac Newton's Papers & Letters On Natural Philosophy, Cambridge/Mass. 1958, S. 302.
- 48) Vgl. Anm. 10 und Anm. 37,6 zu den *Principia*.
- 49) Siehe H. G. Alexander, The Leibniz-Clarke Correspondence, Manchester 1956, sowie Samuel Clarke, A Demonstration of the Being and Attributes of God, London 1705.
- 50) Siehe Alexandre Koyré and I. Bernard Cohen, Newton & the Leibniz-Clarke Correspondence, Arch.Int.hist.sci. Nr. 15 (1962), S. 63 ff.
- 51) Samuel Clarke aaO. Materialismus und Determinismus sind immanent-logische Konsequenzen der von Leibniz konzipierten Theorie der Kontinua *Raum und Zeit*.
- 52) Siehe *Principia*, vor dem Ersten Buch.
- 53) Vgl. *Principia*, Def. 3 mit Erläuterung; siehe auch E.J. Dijksterhuis aaO. Teil IV § 295; W. Breidert in Fußnote 99 der in Anm. 39 genannten Einleitung zu Berkeley. Ähnl. M. Jammer, Der Begriff der Masse in der Physik, Darmstadt 1981, S. 74 f.
- 54) Vgl. zur Übereinstimmung mit J. Rohault Anm. 12. Auch die Nähe zu Immanuel Kants *Zweiter Analogie der Erfahrung* ist unübersehbar: "Alle Veränderungen geschehen nach dem Gesetz der Verknüpfung von Ursache und Wirkung". Das mathematische Verknüpfungsmittel ist die *Proportionalität*.
- 55) Vgl. W. Kutschmann, Die Newtonsche Kraft, S. 149, und das dortige Hegel-Zitat. Auch Hegel glaubte offenbar, dass Newton die Kraft "nach der Grundlage des Satzes der Identität" (aaO.) behandelt habe.
- 56) Es ist bekannt, dass Newton die Formulierung des *Axioms II* verschiedentlich zu verbessern suchte, jedoch blieb es bei der ursprünglichen Fassung. Newtons Bemühungen zeigen aber, dass er *weder* eine zeitabgeleitete Bewegungsänderung als Wirkung der 'vis impressa', *noch* eine Gleichsetzung von Kraft und Bewegungsänderung im Sinne hatte. Vgl. I. Bernard Cohen, Introduction to Newton's Principia, Cambridge/Mass. 1971, S. 163 ff.
- 57) G.W. Leibniz, Brevis demonstratio erroris memorabilis Cartesii et aliorum, Acta eruditorum, März 1686.

- 58) Immanuel Kant, Gedanken von der wahren Schätzung der lebendigen Kräfte, Königsberg 1746.
- 59) Im *Traité de dynamique* von 1743.
- 60) Dass Newton im *Axiom II* nicht von einer Zeitableitung der Bewegungsänderung spricht, ist schon mehrfach bemerkt worden. Vgl. Max Jammer, *Concepts of Force*, S. 124; W. Kutschmann, *Die Newtonsche Kraft*, S. 23 ff. mit weiteren Nachweisen; vgl. auch I. Bernard Cohen, *The Newtonian Revolution*, S. 172 ff. Das Prinzip der *Proportionalität* von Kraft und Bewegung findet man ebenso bei Galilei und Leonardo da Vinci; siehe E. J. Dijksterhuis aaO., Teil III § 49. Allerdings bezeichnet es Dijksterhuis, der durch die Brille der analytischen Mechanik schaut, als "Ursünde der Mechanik" !
- 61) Vgl. Ed Dellian, *Die Newtonische Konstante*, *Philos. Nat.* 22 Nr. 3 (1985) S. 400.
- 62) Leibniz' Beweisführung, die 'Brevis demonstratio ...' (vgl. Anm. 57) ist also eine *petitio principii*.
- 63) Vgl. G.W. Leibniz, *Specimen Dynamicum*, Hamburg 1982, S. 17 ff.
- 64) *Principia*, Erstes Buch, Erster Abschnitt, *Lemma X* mit *Corollarien*.
- 65) Galileo Galilei, *Unterredungen und mathematische Demonstrationen...*, S. 153/54. Der *quadratische* Zusammenhang zwischen dem Raummaß (dem Fallweg) und der Zeit des Fallens, also die lineare Proportionalität zwischen *Fallgeschwindigkeit* und *Fallzeit*, ist ein aus der Erfahrung gewonnenes Axiom der Mechanik.
- 66) Vgl. *Principia*, Axiome, Erläuterung nach *Corol. VI*.
- 67) Diese Konzeption findet man z.B. deutlich im Zweiten Buch der *Principia*, 6. Abschn. Prop. XXIV, Theor. XIX, wie es heißt: "Velocitas quam data vi in data materia, dato tempore generare potest, est ut vis & tempus directe, & materia inverse....Id quod per Motus legem secundam manifestum est." *Data vis* ist die *konstante* äußere Kraft, *velocitas dato tempore generata* ist die *pro Zeiteinheit* erzeugte Geschwindigkeit, oder die *Zeitableitung* der Geschwindigkeit.
- 68) Vgl. etwa Richard S. Westfall, *Force in Newton's Physics*, London 1971, S. 323 ff. Westfall untersucht eingehend, ob Newtons Kraftmaß durch *Masse mal Geschwindigkeit* oder durch *Masse mal Beschleunigung* gegeben sei, obwohl doch Newton selbst den ersteren Ausdruck in der Definition 2 als *Bewegungsgröße* definiert (*quantitas motus*). Über die sehr viel drängendere Problematik der *Gleichsetzung* von Kraft und Bewegungsgröße äußert Westfall sich nicht.
- 69) Über einen solchen Versuch in Richtung *Thermodynamik* vgl. Ed Dellian, *Experimental Philosophy reappraised*, *Spec.Sci.Technol.* Vol. 9 Nr. 2 (1986) S. 135.
- 70) Vgl. Anm. 6,7.
- 71) Vgl. Anm. 8.

- 72) Max Born, Die Relativitätstheorie Einsteins, Berlin 1984, S. 27. Vgl. auch I. Bernard Cohen, Newton's Second Law and the Concept of Force in the Principia, in: The Annus Mirabilis of Sir Isaac Newton 1666-1966, Cambridge/Mass. 1970, S. 143: "Percussion alters the motion of a body in an instant ...".
- 73) Siehe Anm. 65. Die das Fallgesetz bestimmende konstante *Impulsänderungsgeschwindigkeit* wird in der analytischen Mechanik allgemein ignoriert.
- 74) Das ist der inverse *Lorentz'sche Verkürzungsfaktor*, also der Ausdruck $(1/\sqrt{1 - v^2/c^2})^{1/2}$, mit c = Vakuumlichtgeschwindigkeit.
- 75) Vgl. Anm. 64. Die Lehre von der *in der Zeit entstehenden* Bewegung und ihre Quantifizierung steckt hinter der *Methode der ersten und letzten Verhältnisse*, die Newton aaO. vorstellt und als Grundlage aller weiteren Beweisführungen der *Principia* bezeichnet.
- 76) Nach deBroglie gilt: $E = h \times \nu$; $p = h/\lambda$; $E/p = \lambda \nu = c$ (h = Planck'sche Konstante, ν = Frequenz; λ = Wellenlänge).
- 77) Über die Elemente von Raum und Zeit als transzendente Realitäten vgl. *Principia*, *Scholium* nach Def. 8.
- 78) Die viergliedrige Proportionsgleichung (*tetraktys*) ist $\Delta E/\Delta p = \Delta s/\Delta t$; die Produktengleichung ist $\Delta E \times \Delta t = \Delta p \times \Delta s = h$ bzw. nh ($n = 1,2,3 \dots$).
- 79) Wenn die Strahlungsenergie $E = h\nu$ sich vom Strahlungsimpuls $p = h/\lambda$ nach der Gleichung $E/p = c$ verhält, so muss auch die ihr gleichzusetzende *Bewegungsenergie* E sich zum *Bewegungsimpuls* $p = mv$ ebenso verhalten, d.h. es gilt auch hier $E/mv = c$, und $E = (mv) c$.
- 80) C.F. von Weizsäcker, Aufbau der Physik, München 1985, S. 234, 243 ff.
- 81) Dass Newton, wie Samuel Clarke sagt, eine *Philosophie der Freiheit* gelehrt hat, legt abermals den Gedanken nahe, dass diese mit der *indeterministischen* modernen Physik eher zu tun hat, als mit der Himmelsmechanik eines Laplace, aus der autonome Ursachen und damit Gott ("Cette hypothèse là") verbannt sind, während doch Newton es zur eigentlichen Aufgabe der Naturphilosophie erklärt, *Ihn* in den Erscheinungen zu erkennen (vgl. *Principia*, Drittes Buch, *Scholium generale*. Wegen S. Clarke siehe Anm. 49 und 51, sowie: Samuel Clarke, Der Briefwechsel mit G.W. Leibniz von 1715/1716, Ed Dellian Hrsg., Hamburg 1990 (Philos. Bibliothek F. Meiner Nr. 423).
- 82) Vgl. Max Jammer, Concepts of Force, S. 163 ff.
- 83) Vgl. wegen *extensiver* und *intensiver* Größen den Aufsatz von Gernot Böhme, Über Kants Unterscheidung von extensiven und intensiven Größen (Gernot Böhme, Philosophieren mit Kant, Frankfurt a.M. 1986, S. 73-98).
- 84) Niemand hat das endgültiger bewiesen als Samuel Clarke (A letter from the Rev. Dr. Samuel Clarke ..., Phil. Trans. Vol. 35, 1727-28, S. 381.
- 85) Siehe H.G. Alexander, The Leibniz-Clarke Correspondence, S. 121.

- 86) Vgl. Anm. 83.
- 87) Leibniz setzt in der "Brevis demonstratio..." voraus, dass die Kraft durch die Höhe zu messen sei, durch die ein schwerer Körper *gegen die Schwerkraft* bewegt wird; vgl. auch Anm. 62.
- 88) Vgl. Ed Dellian, Experimental philosophy reappraised, S. 137.
- 89) Zum Nachweis vgl. Anm. 72,25 zu den *Principia*.
- 90) Vgl. G.W. Leibniz, Specimen Dynamicum, S. 17 ff.
- 91) *Dynamis* als potentielle Kraft, im Unterschied zu *Energie = Entelechie*, der aktiv wirkenden ("lebendigen") Kraft. 'Kraft' ist auch hier: *Fähigkeit zur Überwindung äußerer Widerstände*. Sie war wohl schon in der antiken aristotelischen Begriffswelt mit dem Geschwindigkeitsquadrat verbunden; jedenfalls bedeutet griech. 'dynamis' nichts anderes als eben 'Quadrat'. Sicher war das Prinzip schon vor Leibniz bekannt; vgl. etwa Louise Diehl Patterson, Robert Hooke and the Conservation of Energy, *ISIS* Vol. 38 (1948) S. 151; aber auch Galileo Galilei, Unterredungen und mathematische Demonstrationen ..., S. 313 ff. (über den Stoß), wo die *Zerstörungskraft* des fallenden Körpers (*forza della percossa*) durch das Produkt aus Gewicht und Geschwindigkeit gebildet wird, was ebenfalls zum Geschwindigkeitsquadrat als Maß führt.
- 92) Vgl. Newtons Vorwort vom 8. Mai 1686.
- 93) Vgl. z.B. Brockhaus Enzyklopädie 1970 unter *Kinematik*.
- 94) Evangelista Torricelli, Opera geometrica, Florenz 1644, besonders der Abschnitt *Sul moto dei gravi naturalmente cadenti e dei proietti* (Über die Bewegung von fallenden Körpern und von Wurfgeschossen).
- 95) So werden in der Theorie des photoelektrischen Effekts, aber auch in Erwin Schrödingers Wellenmechanik die geschwindigkeits- (bzw. impuls-)proportionale 'Energie' $h\nu$ und die dem Geschwindigkeitsquadrat zugeordnete 'kinetische Energie' $mv^2/2$ miteinander verknüpft, was für einige Probleme der Quantenmechanik ursächlich sein dürfte.
- 96) Dieser Unterschied ist bisher allgemein übersehen worden. Es herrscht die Meinung vor, Newton habe in den *Principia* überhaupt keine "dynamischen" Konzepte vorgestellt; so z.B. Max Jammer, Concepts of Force, S. 166 f. Dagegen schon Peter Guthrie Tait, On the Conservation of Energy, *Phil. Mag.* 25,4 (1863), S. 429. Vgl. auch Ed Dellian, Experimental philosophy reappraised, Fußnote 15, und Anm. 72,25 zu den *Principia*.
- 97) Vgl. Ed Dellian, Experimental philosophy reappraised.
- 98) I. Bernard Cohen, The Newtonian Revolution, S. 147, zitiert den Nobelpreisträger (1969) Murray Gell-Mann mit dem Bekenntnis: "All of modern physics is governed by that magnificent and thoroughly confusing discipline called quantum mechanics...Nobody understands it, but we all know how to use it and how to apply it to problems; and so we have learned to live with the fact that nobody can understand it."
- 99) Vgl. Newtons Einführung zum Dritten Buch (vor den "Leitsätzen des Philosophierens").

100) Die Widerstandslehre ist das Kernstück von Newtons *angewandter* Mechanik; vgl. dazu Teil 3 dieser Einführung.

101) Isaaci Newtoni Opera quae exstant Omnia, ed. Samuel Horsley, London 1779-1785.
