

CIP-Titelaufnahme der Deutschen Bibliothek

Newton, Isaac:

Mathematische Grundlagen der Naturphilosophie / Isaac

Newton. Ausgew., übers., eingeleitet u. hrsg. von Ed Dellian. —

Hamburg : Meiner, 1988

(Philosophische Bibliothek ; Bd. 394)

Einheitssacht.: Philosophiae naturalis principia mathematica <dt.>

ISBN 3-7873-0764-8

NE: Dellian, Ed [Hrsg.]; GT

© Felix Meiner Verlag GmbH, Hamburg 1988. Alle Rechte, auch die des auszugsweisen Nachdrucks, der fotomechanischen Wiedergabe und der Übersetzung, vorbehalten. Dies betrifft auch die Vervielfältigung und Übertragung einzelner Textabschnitte durch alle Verfahren wie Speicherung und Übertragung auf Papier, Transparente, Filme, Bänder, Platten und andere Medien, soweit es nicht §§ 53 und 54 URG ausdrücklich gestatten. — Satz: Satzstudio „Süd-West“, Planegg. Druck: W. Carstens, Schneverdingen. Einband: Hansa-Buchbinderei, Hamburg. Printed in Germany.

INHALT

Einleitung. Von Ed Dellian	VII
Zur Übersetzung	XXXIV
Zeittafel	XXXVI
Literaturverzeichnis	XXXVII

ISAAC NEWTON

Mathematische Grundlagen der Naturphilosophie

Vollständiges Inhaltsverzeichnis (Lateinisch-deutsch)	2/3
Edmond Halley: Geleitwort	7
Vorwort des Autors an den Leser	9
Roger Cotes: Vorwort zur zweiten Ausgabe	13
Definitionen	37
Axiome oder Gesetze der Bewegung	53
Erstes Buch. Über die Bewegung von Körpern	73
Abschnitt I. Über die Methode der ersten und letzten Verhältnisse	73
Abschnitt II. Über die Auffindung der Zentri- petalkräfte	87
Abschnitt III. Über die Bewegung von Körpern in exzentrischen Kegelschnitten	107
Zweites Buch. Über die Bewegung von Körpern	123
Abschnitt I. Über die Bewegung von Körpern, denen im Verhältnis der Geschwindigkeit Widerstand geleistet wird	123
Abschnitt II. Über die Bewegung von Körpern, denen im quadratischen Verhältnis der Geschwin- digkeiten Widerstand geleistet wird	134

Drittes Buch. Über das Gefüge der Welt	167
Leitsätze des Philosophierens	169
Die Naturerscheinungen	172
Lehrsätze [propositiones]	178
Abschnitt I. Über die Ursachen des Weltgefüges . . .	178
Scholium generale	225
Anmerkungen des Herausgebers	233
Personenregister	243
Sachregister	247

EINLEITUNG

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. Eine zweite und dritte Ausgabe 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 herausgab.³ Sie allein stand bisher dem zur Verfügung, der dieses Werk der Weltliteratur in deutscher Sprache lesen wollte. Die Wolferssche 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.

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.

Wäre das 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.

⁴ Max Jammer, *Concepts of Force*, S. 166.

⁵ Der Begriff kommt her von J.-L. Lagrange, *Mécanique analytique*, Paris 1788.

⁶ Vgl. etwa Karl R. Popper, *Logik der Forschung*, Vorwort 1963, S. XXIV.

⁷ Albert Einstein (in P. A. Schilpp, *Albert Einstein als Philosoph und Naturforscher*, S. 12): „Newton verzeih' mir, du fandest den einzigen Weg, der zu deiner Zeit für einen Menschen von höchster Denkkraft und Gestaltungskraft eben noch möglich war. Die Begriffe, die du schufst, sind auch jetzt noch führend in unserem physikalischen Den-

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 zugrundeliegen, die in der analytischen Mechanik abhanden gekommen waren und erst von der modernen Physik mühsam und auf Umwegen teilweise wiedergewonnen worden sind: das ist vor allem anderen 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.

ken, 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 $mv^2/2$ für die *Intensität* der Bewegung mv (welches die analytische Mechanik „kinetische Energie“ nennt), sondern der in der Quantenmechanik verwendete *lineare* Term $h\nu$ (Plancksche Konstante mal Frequenz), der in der Photonentheorie die Proportion „Energie zu Impuls = c “ (mit c = konstant = Impulsänderungsgeschwindigkeit) erfüllt, die auch der Maxwellischen Theorie des Elektromagnetismus und der Speziellen Relativitätstheorie zugrundeliegt (vgl. Max Born, Die Relativitätstheorie Einsteins, S. 244, 245).

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 Newtonischen 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

⁹ Johannes Kepler, *Astronomia nova*, Heidelberg 1609.

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 gleichartiger 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 Newton¹⁴, dessen enge Beziehung zu den Cambridgeer Neuplatonikern Ralph Cudworth und Henry More ebenso bekannt ist, wie sein Interesse für die Lehren Jakob Böhmes¹⁵. Hatte der Aristotelismus eine quantitative ma-

¹⁰ Vgl. Newtons Definitionen I und II. Die von Ernst Mach aufgestellte Behauptung, daß Definition I zirkulär sei, geht bei Zugrundelegung der atomistischen Betrachtungsweise (die Mach nicht akzeptierte) ins Leere. So auch E. J. Dijksterhuis, *Die Mechanisierung des Weltbildes*, S. 523 (= Teil IV § 296), und G. Freudenthal, *Atom und Individuum im Zeitalter Newtons*, S. 39.

¹¹ Dijksterhuis, a. a. O., 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* (*Newtonian Studies*, S. 201 ff.).

¹⁴ Siehe u. a. Max Jammer, *Concepts of Force*, S. 147 ff.; Werner Kutschmann, *Die Newtonsche Kraft*, S. 144.

¹⁵ Max Jammer, *Concepts of Force*, S. 142–145, bestreitet, daß Newton Böhme gelesen hat, führt aber zahlreiche Quellen der hier vertretenen Meinung auf.

thematische 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*, das heißt, sie stehen zu ihr in bestimmten Verhältnissen. Folglich mußte die *Proportionalitätsanalogie* oder *Proportionenlehre* geeignet sein, die überwältigende Fülle der empirischen Welt auf einfache Prinzipien der transzendentalen 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,

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 1932.

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* (die Schöpfung) und *natura naturans* (das schöpferische Prinzip). Vgl. auch J.E. McGuire, *Atoms and the Analogy of Nature: Newton's Third Rule of Philosophizing*, S. 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 für die (Beschreibung oder Beherrschung der) Natur. Sie sind deshalb auch im strengen Sinne wahr; nicht sind sie bloße Annäherungen an die Wahrheit.

nachdem Niccolò Tartaglia in seiner italienischen Euklid-Ausgabe von 1543 die Definition Euklid V,4 wiederhergestellt hatte, die die strenge Behandlung der Proportionalität kontinuierlicher Inkommensurabler ermöglichte und die in den mittelalterlichen lateinischen Euklid-Übersetzungen verloren gewesen war.²⁰ Galilei widmet der Proportionslehre den ganzen *Fünften Tag* seiner *Discorsi* von 1638²¹, 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 eröffnete.²³ 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 Proportionslehre 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 Proportionslehre zur Vergleichung von *Quantitäten verschiedener Arten* (verschiedener Entitäten) oder *Inkommensurabler*.²⁴

²⁰ Vgl. Stillman Drake, in: Galilei, Dialog; Ergänzungen zu den Anmerkungen von Emil Strauß, Nr. 33.

²¹ Galileo Galilei, Unterredungen und mathematische Demonstrationen, 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.

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 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 Weltläufte sah, versuchte auf der anderen Seite G.W. Leibniz diese Philosophie rational zu überwinden. Bei seinem Aufenthalt in Paris 1672–1676 trifft er Nicolas Malebranche²⁶, 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 Leibnizschen Mecha-

²⁵ Vgl. W. Windelband, Lehrbuch der Geschichte der Philosophie, § 31 (Substanz und Kausalität).

²⁶ Malebranches Hauptwerk: *De la Recherche de la Vérité*, Paris 1674/1675.

²⁷ Vgl. Herbert Breger, Elastizität als Strukturprinzip der Materie bei Leibniz, S. 118 oben.

²⁸ Vgl. H. Breger, a. a. O., Fußnote 29 mit weiteren Nachweisen.

²⁹ So in der Schrift *De Arcanis Motus et Mechanica ad puram Geometriam reducenda*; vgl. bei H. Breger, aaO.

nik³⁰ (aber auch der im 19. Jahrhundert entstehenden Dynamik, die so ihre Herkunft von Leibniz verrät³¹).

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 Widerspruch³² 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 verstanden wird, hängt einerseits mit der Einschätzung der Gravitation als Prototyp der *Kraft*, andererseits mit der Entwicklung und Rezeption des Leibnizschen Infinitesimalkalküls im 18. Jahrhundert zusammen, die, als Identifikation von Leibnizschem Calculus und mechanischer Theorie, von Daniel Bernoulli³³ über Leon-

³⁰ Das Schlagwort *causa aequat effectum* gibt dem Leibnizschen Prinzip einen Anstrich, 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; Micraelius, 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 . . .“ (Concepts of Force, S. 214; Hervorhebung von mir).

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. Ch. 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.).

hard Euler und Jean le Rond d'Alembert³⁴ bis zu Joseph Louis Lagrange³⁵ 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 Leibnizsche 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 hatte³⁸, 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

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 (a. a. O., 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*, S. 210ff.; vgl. auch I. Bernard Cohen, *The Newtonian Revolution*, S. 193.

³⁷ Jean le Rond d'Alembert, a. a. O., 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.“

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 eigenständigen methodischen Fundaments der Naturwissenschaft interpretieren.⁴¹ 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 Identifizie-

³⁹ Vgl. George Berkeley, Schriften über die Grundlagen der Mathematik und Physik, insbes. Abschnitt 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*, S. 535, 537 f.

⁴² Zum schöpferischen Charakter des Kausalprinzips, den die analytische Mechanik nicht kennt, vgl. etwa Nicolai Hartmann, Philosophie der Natur, S. 325 ff., 332.

rung 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 Leibnizischem 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 der 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 zur Bewegung des materiellen Körpers transformiert⁴⁶. 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, das heißt *reale* (freilich transzendente, apriorische, weil aller Erfahrung zugrundeliegende und vorausgehende) Entitäten; folglich sieht er sie

⁴³ Vgl. Anmerkung 31.

⁴⁴ A. Rupert Hall, *Philosophers at War*, Cambridge 1980.

⁴⁵ Vgl. *Principia*, Definition III mit Erläuterung.

⁴⁶ Vgl. *Principia*, Definition IV mit Erläuterung.

⁴⁷ Siehe bei I. Bernard Cohen, *Isaac Newton's Papers & Letters On Natural Philosophy*, S. 302 (zitiert unten, in Anm. 42, 22 zu den *Principia*).

nicht, wie Leibniz, als bloße Ordnungskontinua, sondern substantiell und quantisiert, nämlich konstituiert aus elementaren Einheiten (Teilchen) und makroskopisch 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 Religion 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 den Leibnizschen Prinzipien folgende Philosophie von Notwendigkeit und Verhängnis, und gegen ihren inhärenten atheistischen Materialismus und Determinismus.⁵¹ 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 Newtonschen *Principia* verstehen, zumal die drei *Axiome* oder *Bewegungsgesetze*, die Newton seiner Lehre von der Bewegung der Körper voranstellt.⁵² So sind die beiden ersten Axiome apriorische 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-

⁴⁸ Vgl. Anm. 10 und unten, 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 und I. Bernard Cohen, *Newton & the Leibniz-Clarke Correspondence*, Arch. int. hist. sci. Nr. 15 (1962), S. 63 ff.

⁵¹ Samuel Clarke, a.a.O. Materialismus und Determinismus sind immanent-logische Konsequenzen der von Leibniz konzipierten Theorie der Kontinua *Raum* und *Zeit*.

⁵² Siehe Principia, vor dem Ersten Buch.

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 Bewegungsverhaltens 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 *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 das der *Proportionalität*, so daß eben dieses Axiom II die mathematische Regel liefert, nach der das, was geschieht, aus etwas anderem, das ihm vorausgesetzt ist, folgt;⁵⁴ und das ist nichts anderes als das *mathematische Gesetz der Kausalität*, das *Kausalgesetz*, für das die analytische Mechanik freilich keine Formel kennt. Hiernach scheint klar, daß gerade das Axiom II *nicht* – wie es bisher allgemein geschieht – mit Hilfe des Leibnizschen Satzes der *Identität* von *causa* und *effectus*, von Kraft und Bewegungsänderung, monistisch im Sinne von Kraft *gleich* Masse mal Beschleunigung 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 auf der Seite Platons; und wenn dieser Gegensatz durch das Begriffs-

⁵³ Vgl. Principia, Definition III mit Erläuterung; siehe auch E.J. Dijksterhuis, a. a. O., Teil IV § 295; W. Breidert in Fußnote 99 der in Anm. 39 genannten Einleitung zu George Berkeley. Ähnl. M. Jammer, Der Begriff der Masse in der Physik, S. 74, 75.

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 Verknüpfungsgesetz ist die *Proportionalität*.

⁵⁵ Vgl. W. Kutschmann, Die Newtonsche Kraft, S. 149, und das dortige Hegel-Zitat. Auch Hegel glaubte, daß Newton die Kraft „nach der Grundlage des Satzes der Identität“ (a. a. O.) behandelt habe.

paar 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 ist.⁵⁶

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 Paradigmawechsel von der analogen zur identischen Naturauffassung verantwortlich ist. Seine Lösung des Problems beruht denn auch ganz auf dem Leibnizschen Identitätssatz, nicht auf der Lehre Newtons. In dieser nämlich resultiert aus der *Proportionalität* von Kraft und Bewegungsänderung⁶⁰ ein maßbehäfteter Proportionalitätsfaktor,

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 Sinn hatte. Vgl. I. Bernard Cohen, Introduction to Newton's Principia, 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 In dem 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

die *Newtonische Konstante*, wie ich sie nenne⁶¹. Sie bestimmt das Maß der Kraft, indem sie das zugehörige raumzeitliche Bezugssystem angibt. In der analytischen Mechanik, die, Leibniz folgend, ein solches absolutes Bezugssystem nicht kennt, tritt aufgrund des Identitätssatzes eine solche Konstante 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 $v \cdot s/t = s^2/t^2 = v^2$. 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: “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,

und Leonardo da Vinci; siehe E.J. Dijksterhuis, a. a. O., 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, Phil. Nat. 22 (1985), S. 400.

⁶² Leibniz' Beweisführung, die „brevis demonstratio“ (vgl. Anm. 57), ist also eine *petitio principii*.

⁶³ Vgl. G.W. Leibniz, Specimen Dynamicum, S. 17 ff.

⁶⁴ Principia, Erstes Buch, Erster Abschnitt, Lemma X, mit Corollarien.

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 Proportion $F/v = \Delta s/\Delta t$ mit dem Quotienten $\Delta s/\Delta t$ als der Proportionalitätskonstanten 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 Naturkonstanten 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 $a = dv/dt = \text{Beschleunigung}$) 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 $K = (\Delta mv/\Delta t)c$ entsteht⁶⁷. Somit steht die monistische analytische Mechanik aus Leibnizischem Geist in deutlichem Ge-

⁶⁵ Galilei, Unterredungen und mathematische Demonstrationen, S. 153/154. 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. Abschnitt, Prop. XXIV, Theor. XIX, wo es heißt:

gensatz zu Newtons Konzept, und daß sie gleichwohl bis heute *Newtonische* 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 Leibnizschen 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, die die herkömmliche analytische Mechanik durch die moderne Physik erfahren hat, entgegen Einsteins und vieler anderer Meinung⁷⁰ nicht zwangsläufig auch eine Kritik an Newton 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 Proportionalitätskonstanten c [L/T], als Proportio-

„*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*, 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 II als *Bewegungsgröße* definiert (*quantitas motus*). Über die 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. Sc. Technol.* Vol. 9, No. 2 (1986), S. 135.

⁷⁰ Vgl. Anm. 6, 7.

nalität von „Energie“ und Impuls mit eben derselben Konstanten c [L/T], die hier als *Vakuumllichtgeschwindigkeit* 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 Leibnizschen 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, sie geschähe „plötzlich“.⁷² Daß dies 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 um so 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

⁷¹ Vgl. Anm. 8.

⁷² Max Born, Die Relativitätstheorie Einsteins, S. 27; vgl. auch I. Bernard Cohen, Newton's Second Law and the Concept of Force in the Principia, 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.

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 Proportionalitätskonstanten 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 transzendente Realismus entspricht⁷⁷), so ergibt die zur Proportionalitätsgleichung $\Delta E/\Delta p = \Delta s/\Delta t = c$ gehörende Produktgleichung sofort die Übereinstimmung mit den identischen *Heisenbergschen Unschärferelationen*, die einen wesentlichen Teil des leicht überschaubaren formalen Funda-

⁷⁴ Das ist der inverse *Lorentzsche Verkürzungsfaktor*, also der Ausdruck $(1/1 - v^2/c^2)^{1/2}$, mit c = Vakuumlichtgeschwindigkeit.

⁷⁵ Vgl. Anm. 64. Die Lehre von der *entstehenden Bewegung* und ihrer 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 de Broglie gilt: $E = h \cdot \nu$; $p = h/\lambda$; $E/p = \lambda \cdot \nu = c$ (h = Plancksche Konstante; ν = Frequenz; λ = Wellenlänge).

⁷⁷ Über die Elemente von Raum und Zeit als transzendente Realitäten vgl. Principia, Scholium nach Definition VIII.

ments 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 $E = h\nu = pc$ und $p = h/\lambda = mv$ ($\nu =$ Frequenz, $\lambda =$ Wellenlänge) ein Desiderat 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“ bleibt.⁸⁰

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 Gegen-

⁷⁸ Die Proportionsgleichung ist $\Delta E/\Delta p = \Delta s/\Delta t$; die Produktengleichung ist $\Delta E \cdot \Delta t = \Delta p \cdot \Delta s = h$ bzw. nh ($n = 1, 2, 3 \dots$).

⁷⁹ Wenn die Strahlungsenergie $E = h\nu$ sich zum 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 $E = (mv) \cdot c$.

⁸⁰ C. F. von Weizsäcker, *Aufbau der Physik*, S. 234, 243 ff.

stand 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*

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 la“) 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).

⁸² Vgl. Max Jammer, *Concepts of Force*, S. 163 ff.

Größe⁸³, 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* Größe⁸⁶ aufgenommen, die 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 bei 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 darauf zurück). Hier wird eine Unterscheidung zwischen axiomatischer Bewegungslehre und (angewandter) Mechanik sichtbar. Auch Leibniz bemerkte mit der Zeit, daß sein durch das Geschwindig-

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, S. 73–98).

⁸⁴ Niemand hat das endgültiger bewiesen als Samuel Clarke (A letter from the Rev. Dr. Samuel Clarke . . ., Phil. Trans. Vol. 35 (1727–1728), 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. unten, Anm. 72, 25 zu den Principia.

keitsquadrat 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“ (Newton)⁹², 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 wesensgleich mit der im 19. Jahrhundert auf der Grundlage der Begriffe *Arbeit* und *Energie* entstandenen *Energetik*.

Vorausgeht alldem 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 un-

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; 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.

aristotelische Bewegungslehre ist auch die Grundlage der Galileischen *Kinematik* von Fall und Wurf, die eine idealisierende, weil von Bewegungswiderständen abstrahierende *platonische* Theorie darstellt. Wer diese Kinematik – wie es verbreitet geschieht – als *kräftefrei* bezeichnet⁹³, 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 bewegungserhaltende innere Kraft *vis insita*, Newtons *Trägheitskraft*, die er dem Galileischen Begriff *Impetus* ausdrücklich gleichsetzt, zentraler Bestandteil dieser Bewegungslehre in Galileis *Discorsi* von 1638 ebenso, wie in den *Opera Geometrica* seines Schülers Evangelista Torricelli von 1644⁹⁴, 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 $E = mc^2$ und $E = h\nu$. 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

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 natürlich fallender Körper 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.

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 dieser Theorie von Newtons Lehre deutlich wird⁹⁶. Übrigens ist der Unterschied auch bei diesen zur *angewandten Mechanik* (Newton) oder *Dynamik* (Leibniz) gehörenden Konzeptionen in den Kategorien *Analogie* und *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 Konstanten c . Die Erklärungskraft dieser Newtonischen Konzeption im Bereich der angewandten Mechanik/Dynamik ist beträchtlich⁹⁷.

Insgesamt sollte mit dieser Einführung gezeigt werden, daß philosophische, formalmathematische und systematische Gründe in Menge die hier vorgestellte Interpretation erzwingen, mit der die Newtonischen Prinzipien (infolge des Kraftmaßes mvc) in engste Beziehung zur modernen Physik treten. Diese Nähe kann kein Zufall sein; vielmehr bestätigt sie die ungebrochene Gültigkeit der echten Lehre Newtons. Auf der Strecke bleibt die analytische Mechanik aus Leibnizschem Geist und ihre materialistisch-deterministische monistische Ideologie. Newton verkündete absolute Wahrheiten. Daß diese (deformiert zur analytischen Mechanik)

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 ff. Dagegen schon Peter Guthrie Tait, *On the Conservation of Energy*, 1863; vgl. auch Ed Dellian, *Experimental philosophy reappraised*, Fn. 15, und unten, Anm. 72, 25 zu den Principia.

⁹⁷ Vgl. Ed Dellian, *Experimental philosophy reappraised*.

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 Wahrheits-suche, wird eigentlich Philosophie erst wieder möglich. Der modernen Physik, obwohl sie (unbemerkt) den 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 Bedarf für eine Philosophie der Physik. Wie es scheint, wird das eine Philosophie aus dem echten Geist Newtons sein müssen, eine *Neue Newtonische Naturphilosophie*.

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."

VORWORT DES AUTORS AN DEN LESER

Da die Alten (nach *Pappus*) die *Mechanik* bei der Erforschung der Natur sehr hochschätzten und die Neueren, nachdem sie die substantiellen Formen und verborgenen Eigenschaften aufgegeben haben, es unternommen haben, die Naturerscheinungen auf mathematische Gesetze zurückzuführen, so ist es der Zweck dieser Abhandlung, die *Mathematik* zu entwickeln, insoweit sie sich auf die *Philosophie* bezieht. Allerdings ordneten die Alten die *Mechanik* in zwei Teilgebiete: in die *theoretische*, welche genau nach Beweisen vorgeht, und die *praktische*. Zur *praktischen Mechanik* gehören alle handwerklichen Künste, von denen deshalb der Name *Mechanik* entlehnt wurde. Da aber die Handwerker nicht besonders genau zu arbeiten pflegen, so kam es dahin, daß die *Mechanik* insgesamt von der *Geometrie* unterschieden wurde, und zwar so, daß alles Genauere der *Geometrie*, alles weniger Genaue der *Mechanik* zugeordnet wurde. Eigentlich ist aber nicht die handwerkliche Kunst fehlbar, sondern die Handwerker. Wer weniger genau arbeitet, ist ein weniger vollkommener Mechaniker, und wenn jemand vollkommen genau arbeiten könnte, so wäre er der allervollkommenste Mechaniker. Zum Beispiel gehört sowohl die Herstellung gerader Linien, als auch diejenige von Kreisen, worauf die *Geometrie* gegründet ist, zur *Mechanik*. Die *Geometrie* lehrt nicht, wie diese Linien herzustellen sind, sondern sie erfordert sie. Sie fordert nämlich, daß der Neuling deren genaue Herstellung bereits erlernt hat, ehe er die Schwelle der *Geometrie* betritt; alsdann lehrt sie, wie mit dieser Arbeitsweise wissenschaftliche Probleme zu lösen sind. Gerade Linien und Kreise herzustellen ist ein Problem, aber kein geometrisches. Seine Lösung fordert man von der *Mechanik*, die *Geometrie* lehrt den Gebrauch der Lösungen. Und die *Geometrie* ist stolz darauf, daß sie mit so wenigen anderswo hergenommenen Grundlagen so vieles leistet. Also gründet sich die *Geometrie* auf die mechanische Praxis, und

sie ist nichts anderes als jener Teil der *Mechanik insgesamt*, welcher die Kunst des genauen Messens behauptet und beweist. Da aber die handwerklichen Künste sich vornehmlich mit dem Bewegen von Körpern beschäftigen, so ergibt es sich, daß man allgemein die *Geometrie* auf die Größe, die *Mechanik* auf die Bewegung bezieht. In diesem Sinne wird die *theoretische Mechanik* die Wissenschaft von den Bewegungen sein, die aus bestimmten Kräften hervorgehen, und von den Kräften, die zu bestimmten Bewegungen erforderlich sind, und zwar genau behauptet und bewiesen. Diesen Teil der *Mechanik* hatten die Alten in den handwerklichen Künsten zuzurechnenden *fünf Kräften* ausgebildet. Sie betrachteten deshalb die Schwere (da sie keine handwerkliche Kraft ist) kaum anders als im Zusammenhang mit Gewichten, die durch diese Kräfte bewegt werden sollten. Wir aber, die wir uns nicht um handwerkliche Künste kümmern, sondern um die Philosophie, und die wir deshalb nicht über die handwerklichen, sondern über die natürlichen Kräfte schreiben, behandeln bevorzugt das, was sich auf die Schwere, die Leichte, die elastische Kraft, den Widerstand der Flüssigkeiten und derartige Kräfte, seien es anziehende oder anstoßende, bezieht, und deshalb legen wir dieses Werk als *Mathematische Grundlagen der Philosophie* vor. 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. Und hierauf beziehen sich die allgemeinen Sätze, die wir im Ersten und Zweiten Buch abgehandelt haben. Im Dritten Buch aber stellen wir ein Beispiel hierfür durch die genaue Darlegung des Weltgefüges vor. Dort nämlich werden aus den Himmelserscheinungen mit Hilfe der in den vorhergehenden Büchern mathematisch bewiesenen Sätze die Kräfte der Schwere abgeleitet, mit denen die Körper zur Sonne und zu den einzelnen Planeten hinstreben. Danach leiten wir aus diesen Kräften durch gleichfalls mathematische Sätze die Bewegungen der Planeten, der Kometen, des Mondes und des Meeres ab. Wenn es doch möglich wäre, die übrigen Naturerscheinungen mit der gleichen Methode auf mechani-

sche Grundlagen zurückzuführen. Ich habe nämlich viele Gründe dafür jedenfalls zu vermuten, daß alles von bestimmten Kräften abhängen könnte, durch die die Teilchen der Körper aus noch nicht bekannten Ursachen entweder wechselseitig gegeneinander stoßen und in regelmäßigen Strukturen zusammenhängen, oder sich wechselseitig fliehen und voreinander zurückweichen. Da diese Kräfte bisher unbekannt sind, haben die Philosophen die Natur bislang insofern vergebens untersucht. Ich hoffe aber, daß diese hier gelegten Grundlagen für diese meine Art des Philosophierens oder für eine andere Philosophie, die der Wahrheit noch näher kommen wird, erhellend wirken werden.

Für die Herausgabe dieses Werkes hat sich der höchst scharfsinnige und in allen Wissenschaften höchst gebildete *Edmond Halley* mit großer Kraft eingesetzt, indem er nicht nur die Druckfehler korrigierte und die Herstellung der Holzschnitte besorgte, sondern überhaupt der Urheber dessen war, daß ich mich an die Herausgabe dieser Schrift machte. Als er nämlich auf dringende Bitten meine Darstellung der Bahnen der Himmelskörper erhalten hatte, hörte er nicht auf in mich zu dringen, daß ich diese der *Royal Society* vorlegen sollte, die schließlich, dank ihrer ermunternden und freundlichen Aufforderungen, bewirkte, daß ich zu erwägen begann, diese Schrift zu veröffentlichen. Nachdem ich aber mit den Ungleichheiten der Mondbewegung begonnen und daraufhin angefangen hatte, anderes zu untersuchen, was sich auf die Gesetze und Maße der Schwere und anderer Kräfte, auf die Bahnen, die von Körpern gemäß bestimmten gegebenen Anziehungskräften beschrieben werden, auf die gegenseitige Bewegung mehrerer Körper, auf die Bewegung der Körper in widerstehenden Medien, auf Kräfte, Dichten und Bewegungen der Medien, auf Kometenbahnen und ähnliches bezieht, hielt ich dafür, die Ausgabe auf einen späteren Zeitpunkt zu verschieben, um das Übrige auszufeilen und es dem Publikum insgesamt vorzulegen. Was sich auf die Mondbewegungen bezieht (so unvollständig es ist), habe ich in den Corollarien zu Proposition LXVI gleichzeitig zusammengefaßt, um nicht einzelnes auf weitläufigere Weise als es die Sache wert ist darlegen

und ausgeschmückt in aller Feinheit beweisen zu müssen, wodurch die Reihenfolge der übrigen Propositionen unterbrochen worden wäre. Einiges erst spät Aufgefundene wollte ich lieber an weniger passenden Stellen einfügen, als die Zahl der Propositionen und die Verweisungen zu ändern. Daß nun alles klar lesbar sei und Mängel in der so schwierigen Materie weniger zu Tadel Anlaß geben, als daß sie den Leser zu neuen Nachforschungen und gefälligen Ergänzungen veranlassen, das ist mein Wunsch.

Gegeben zu Cambridge,
im Trinity College,
8. Mai 1686

Is. Newton

ROGER COTES: VORWORT ZUR ZWEITEN AUSGABE

Die neue und lang ersehnte Ausgabe der Newtonischen Philosophie übergeben wir Dir jetzt, wohlwollender Leser, auf vielfache Weise verbessert und vermehrt. Was hauptsächlich in diesem hochberühmten Werk enthalten ist, kannst Du aus dem beigefügten Inhaltsverzeichnis entnehmen . . . Übrig bleibt, einiges über die Methode dieser Philosophie hinzuzufügen.

Diejenigen, welche es unternommen haben, die Physik zu behandeln, kann man etwa in drei Gruppen einteilen. Es gab nämlich Leute, die den einzelnen Arten der Dinge art-eigene und verborgene Eigenschaften zuschrieben und wollten, daß davon wieder die Verhaltensweisen der einzelnen Körper abhingen, auf eine unbekannte Art und Weise. Darauf beruht das gesamte System der Scholastischen Lehre, die von *Aristoteles* und den Peripatetikern hergeleitet ist. Sie behaupten, daß die jeweiligen Wirkungen aus dem jeweiligen Wesen der Körper entstehen; aber woher jenes Wesen kommt, sagen sie nicht; also sagen sie überhaupt nichts. Und da sie sich ausschließlich mit den Bezeichnungen der Dinge befassen und nicht mit den Dingen selbst, so kann man das Urteil fällen, daß sie eine weitere philosophische Redeweise dazuerfunden, nicht aber, daß sie die Philosophie gelehrt haben.

Andere hofften daher das Lob einer besseren Einsicht zu ernten, nachdem sie das nutzlose Sammelsurium von Bezeichnungen zurückgewiesen hatten. Sie behaupteten also, daß die Materie insgesamt gleichartig sei, daß aber alle Spielarten der Formen, die man an den Körpern sehen kann, aus gewissen einfachsten und sehr leicht erkennbaren Verbindungen der Bestandteile entstünden. Und richtig wird somit ein Fortschreiten vom Einfacheren zum Komplizierteren vorausgesetzt, wenn sie nicht jenen elementarsten Teilchen andere Möglichkeiten zuschreiben, als die Natur selbst ihnen gegeben hat. Sobald sie sich aber die Freiheit nehmen, be-

chen des Körpers ergibt die bewegende Kraft des ganzen Körpers. Daher ist unmittelbar über der Oberfläche der Erde, wo die beschleunigende Schwerkraft oder die gravitierende Kraft auf alle Körper gleich stark einwirkt, die bewegende Schwerkraft oder das Gewicht wie die Körpermasse. Steigt man aber in Regionen auf, wo die beschleunigende Schwerkraft kleiner wird, so wird sich das Gewicht gleichermaßen verkleinern, und es wird immer gleich dem Produkt aus der Körpermasse und der beschleunigenden Schwerkraft. So wird in Regionen, wo die beschleunigende Schwerkraft zweimal kleiner ist, das Gewicht eines Körpers, der zweimal oder dreimal kleiner ist, viermal oder sechsmal kleiner sein.

Des weiteren bezeichne ich Anziehungen und Anstöße im gleichen Sinn als beschleunigend und bewegend. Ich benutze nämlich die Begriffe Anziehung, Anstoß, oder jedwede Hinneigung zum Mittelpunkt unterschiedslos und gegeneinander austauschbar, da ich diese Kräfte nicht physikalisch, sondern nur mathematisch betrachte. Daher hüte sich der Leser zu denken, ich wollte irgend durch derartige Begriffe die Art und Weise von Einwirkungen oder ihre physikalische Ursache oder Seinsweise definieren; oder ich wollte den Mittelpunkten (die mathematische Punkte sind) ganz wirklich und im physikalischen Sinne Kräfte zuschreiben, wenn ich vielleicht die Ausdrücke: die Mittelpunkte ziehen an, oder: es gibt Kräfte der Mittelpunkte, verwenden werde.

Scholium

Bis hierher schien es mir richtig zu erklären, in welchem Sinne weniger bekannte Begriffe im Folgenden aufzufassen sind. Zeit, Raum, Ort und Bewegung sind allen wohlbekannt. Dennoch ist anzumerken, daß man gewöhnlich diese Größen nicht anders als in der Beziehung auf sinnlich Wahrnehmbares auffaßt. Und daraus entstehen gewisse Vorurteile, zu deren Aufhebung man sie zweckmäßig in absolute und relative, wirkliche und scheinbare, mathematische und landläufige Größen unterscheidet.

I. Die absolute, wirkliche und mathematische Zeit fließt in sich und in ihrer Natur gleichförmig, ohne Beziehung zu irgendetwas außerhalb ihrer Liegendem, und man nennt sie mit einer anderen Bezeichnung „Dauer“. Die relative Zeit, die unmittelbar sinnlich wahrnehmbare und landläufig so genannte, ist ein beliebiges sinnlich wahrnehmbares und äußerliches Maß der Dauer, aus der Bewegung gewonnen (sei es ein genaues oder ungleichmäßiges), welches man gemeinhin anstelle der wahren Zeit benützt, wie Stunde, Tag, Monat, Jahr.

II. Der absolute Raum, der aufgrund seiner Natur ohne Beziehung zu irgendetwas außer ihm existiert, bleibt sich immer gleich und unbeweglich. Der relative Raum ist dessen Maß oder ein beliebiger veränderlicher Ausschnitt daraus, welcher von unseren Sinnen durch seine Lage in Beziehung auf Körper bestimmt wird, mit dem gemeinhin anstelle des unbeweglichen Raumes gearbeitet wird; so der Ausschnitt des unterirdischen Raumes, oder des Luftraumes, oder des Weltraumes, die durch ihre Lage zur Erdoberfläche bestimmt sind. Der absolute und der relative Raum sind von Art und Größe gleich, aber sie bleiben nicht immer das Gleiche. Bewegt sich z. B. die Erde, so wird der Raum der Atmosphäre, der relativ zur Erde und in Hinblick auf sie immer derselbe bleibt, einmal ein bestimmter Teil des absoluten Raumes, in den die Atmosphäre eintritt, ein andermal ein anderer Teil davon sein, und so wird er sich, absolut gesehen, beständig ändern.

III. Ort ist derjenige Teil des Raumes, den ein Körper einnimmt, und er ist je nach dem Verhältnis des Raumes entweder absolut oder relativ. Er ist ein Teil des Raumes, sage ich, nicht die Lage des Körpers oder eine ihn umgebende Oberfläche. Denn die Orte gleichartiger fester Körper sind stets einander gleichartig, während die Oberflächen wegen der Unähnlichkeiten der Gestalt der Körper meist ungleich sind. Die Lagen der Körper haben genau genommen gar keine Größe und sind nicht so sehr Orte, als vielmehr eine Folge der jeweiligen Ortsbefindlichkeit. Die Bewegung des Ganzen ist gleich der Summe der Bewegungen der Teile, das heißt, die Ortsveränderung des Ganzen ist gleich der

Summe der Ortsveränderungen der einzelnen Teile, und folglich ist der Ort des Ganzen identisch mit der Summe der Orte der Teile, und deshalb ist er innerhalb und im ganzen Körper.

IV. Die absolute Bewegung ist die Fortbewegung eines Körpers von einem absoluten Ort zu einem absoluten Ort, die relative die Ortsveränderung von einem relativen Ort zu einem relativen. So ist bei einem unter Segeln fahrenden Schiff der relative Ort des Körpers jener Bereich der Fahrstrecke, in dem sich der Körper befindet, oder jener Teil des gesamten Schiffsraumes, den der Körper gerade ausfüllt und der sich so zugleich mit dem Schiff bewegt. Und die relative Ruhe ist das Verbleiben des Körpers in der gleichen Position des Schiffes oder in dem gleichen Teil des Schiffsraumes. Doch die wahre Ruhe ist das Verbleiben des Körpers in demselben Teil jenes unbewegten Raumes, in dem sich das Schiff selbst zugleich mit seinem Schiffsraum und mit allem, was darin ist, bewegt. Gesetzt den Fall, die Erde ruhte wirklich, so wird ein Körper, der im Schiff relativ ruht, sich wirklich und absolut mit eben der Geschwindigkeit bewegen, mit der das Schiff sich auf der Erdkugel bewegt. Angenommen aber, die Erde bewege sich ebenfalls, so wird sich die wirkliche und absolute Bewegung eines Körpers teils aus der wirklichen Bewegung der Erde im unbewegten Raum, teils aus der relativen Bewegung des Schiffes auf der Erdkugel ergeben. Und wenn auch ein Körper sich relativ zum Schiff bewegen sollte, so wird sich seine wirkliche Bewegung teils aus der wirklichen Bewegung der Erde im unbewegten Raum, teils aus den relativen Bewegungen sowohl des Schiffes auf der Erdkugel, als auch des Körpers in dem Schiff ergeben, und aus diesen relativen Bewegungen wird sich die relative Bewegung des Körpers auf der Erde ergeben. Angenommen, der Teil der Erde, wo das Schiff sich befindet, bewege sich wirklich nach Osten mit einer Geschwindigkeit von 10010 Einheiten, und durch Wind und Segel getrieben laufe das Schiff mit zehn Geschwindigkeitseinheiten nach Westen, ein Seemann aber gehe auf dem Schiff nach Osten gerade mit einer Geschwindigkeitseinheit, so wird sich der Seemann im unbewegten

Raum wirklich und absolut mit 10001 Geschwindigkeitseinheiten nach Osten bewegen, relativ zur Erde aber nach Westen mit neun Geschwindigkeitseinheiten.

Die absolute Zeit wird in der Astronomie von der relativen durch eine Verstetigung des landläufigen Zeitbegriffs unterschieden. Die natürlichen Tage, die man allgemein für passend hält, um damit die Zeit zu messen, sind nämlich ungleich. Diese Ungleichheit korrigieren die Astronomen, damit sie die Himmelsbewegungen aufgrund einer richtigeren Zeit messen können. Es ist möglich, daß es keine gleichförmige Bewegung gibt, durch die die Zeit genau gemessen werden kann. Alle Bewegungen können beschleunigt oder verzögert sein; aber der Fluß der absoluten Zeit kann sich nicht ändern. Die Dauer oder die Beständigkeit des Daseins aller Dinge ist gleich, ob Bewegungen nun schnell, langsam, oder gar nicht vorhanden sind. In der Tat wird die Dauer von ihren sinnlich erfahrbaren Maßeinheiten mit Recht unterschieden und erst durch astronomische Verstetigung aus ihnen bestimmt. Die Notwendigkeit dieser Verstetigung zur zeitlichen Bestimmung der Erscheinungen wird sowohl durch das Experiment mit der Pendeluhr, als auch insbesondere durch die Verfinsterungen der Jupitermonde erwiesen.

Wie die Anordnung der Teile der Zeit unveränderlich ist, * so ist es auch die Anordnung der Teile des Raumes. Bewegen sie sich nämlich von ihren Plätzen, so bewegen sie sich sozusagen von ihrem eigenen Wesen weg. Denn die Zeitteile und die Raumteile sind gleichsam die Orte ihrer selbst und aller Dinge. Alle haben ihren Platz in der Zeit in bezug auf ihre Abfolge und im Raum in bezug auf die Anordnung ihrer Lage. Es gehört zu ihrem Wesen, daß sie Orte sind, und es ist ein Widerspruch in sich, wenn die ersten Orte beweglich sind. Sie sind daher absolute Orte, und nur Ortsveränderungen von diesen Orten weg sind absolute Bewegungen.

Da nun aber diese Teile des Raumes nicht sichtbar und durch unsere Sinne nicht voneinander unterscheidbar sind, so verwenden wir an ihrer Stelle wahrnehmbare Maße. Wir legen nämlich alle Orte aus den Stellungen und Abständen

von Dingen zu irgendeinem Körper fest, den wir als unbeweglich betrachten; sodann beurteilen wir auch alle Bewegungen in bezug auf die eben genannten Orte, inwieweit Körper nach unserer Feststellung von diesen weg ihren Ort verändern. Ebenso benutzen wir anstelle der absoluten Orte und Bewegungen die relativen, und das ist nicht unbequem in unserem täglichen Leben. Bei philosophischen Untersuchungen aber muß man von den Sinnen abstrahieren. Es kann nämlich sein, daß es keinen wirklich ruhenden Körper gibt, auf den man Orte und Bewegungen beziehen könnte.

Ruhe und Bewegung, absolut wie relativ, unterscheiden sich voneinander durch ihre eigentümlichen Beschaffenheiten, wie auch durch ihre Ursachen und Wirkungen. Eigentümlichkeit der Ruhe ist es, daß Körper, die wirklich ruhen, im Verhältnis zueinander ruhen. Obwohl es nun möglich ist, daß irgendein Körper in den Bereichen der Fixsterne oder weit jenseits davon absolut ruht, ist es unmöglich, aufgrund der gegenseitigen Lage der Körper in unseren Weltgegenden eine sichere Kenntnis darüber zu erlangen, ob irgendeiner von ihnen eine gegebene Position zu jenem weit entfernten Körper beibehält oder nicht: die wahre Ruhe kann aus ihre Lage zueinander nicht erschlossen werden.

Eigentümlichkeit der Bewegung ist es, daß Teile, welche zum jeweiligen Ganzen gegebene Positionen beibehalten, an der Bewegung dieses Ganzen teilnehmen. Denn alle Teile von sich drehenden Systemen sind bestrebt, sich von der Drehachse zu entfernen, und der Impetus sich radial bewegend Körper ergibt sich aus dem verbundenen Impetus ihrer einzelnen Teile. Haben sich also umlaufende Körper radial bewegt, so handelt es sich um eine Bewegung von Körpern, die im Rahmen des sich drehenden Systems relativ in Ruhelage sind. Und deswegen kann man aufgrund einer Ortsveränderung weg von der Nachbarschaft von Körpern, die als ruhende betrachtet werden, nicht zu der Definition kommen, es handle sich dabei um eine wirkliche und absolute Bewegung. Man darf nämlich im Drehsystem außen befindliche Körper nicht bloß als ruhend ansehen, sondern sie müssen wirklich ruhen. Andererseits werden alle inneren

Teile, abgesehen von ihrer Ortsveränderung weg von der Nachbarschaft von sich drehenden Körpern, auch an deren wahrer Drehbewegung teilnehmen, und sie werden auch dann nicht wirklich ruhen, wenn jene Ortsveränderung aufgehört hat, sondern sie werden nur so aussehen, als ruhten sie. Es verhalten sich nämlich die sich drehenden Systeme zu ihren inneren Teilen wie der äußere Teil des Ganzen zum inneren Teil, oder wie die Rinde zum Kern. Bewegt sich aber die Rinde, so bewegt sich auch der Kern als Teil des Ganzen mit, auch wenn es keine Ortsveränderung von der Nachbarschaft der Rinde weg mehr gibt.

Der vorstehend erläuterten Eigentümlichkeit ist verwandt, daß etwas an einem Ort Befindliches sich mitbewegt, wenn sich der Ort bewegt; deshalb nimmt ein Körper, der sich von einem Ort bewegt, der sich seinerseits in Bewegung befindet, an der Bewegung seines bisherigen Ortes teil. Daher sind alle Bewegungen, die von bewegten Orten aus stattfinden, nur Teile von absoluten Gesamtbewegungen, und jede Gesamtbewegung setzt sich zusammen aus der Bewegung des Körpers von seinem ersten Ort weg, und aus der Bewegung dieses ersten Ortes von seinem eigenen Ort weg, und so weiter, bis man schließlich bei einem unbeweglichen Ort anlangt, wie in dem oben erwähnten Beispiel des Seemanns. Also können absolute Gesamtbewegungen nur durch unbewegte Orte bestimmt werden, und deshalb habe ich sie oben auf unbewegte, die relativen Bewegungen aber auf bewegte Orte bezogen. Orte sind aber nicht unbeweglich, wenn sie nicht alle von Ewigkeit zu Ewigkeit dieselbe gegenseitige Lage beibehalten und so immer unbewegt bleiben und den Raum bilden, den ich unbeweglich nenne.

Die Ursachen, durch die sich wirkliche und relative Bewegungen voneinander unterscheiden, sind die auf die Körper von außen eindrückenden Kräfte, die eine Bewegung erzeugen können. Eine wahre Bewegung wird nur durch Kräfte erzeugt oder verändert, die auf den bewegten Körper selbst von außen eindrücken, eine relative Bewegung kann jedoch erzeugt oder verändert werden, ohne daß auf den fraglichen Körper Kräfte von außen eindrückten. Es genügt nämlich, daß sie lediglich auf diejenigen Körper ein-

drücken, zu denen die Beziehung besteht, so daß diese Beziehung verändert wird, auf der Ruhe oder relative Bewegung des fraglichen Körpers beruhen, wenn die Bezugskörper ihren Bewegungszustand verändern. Umgekehrt verändert sich die wirkliche Bewegung durch Kräfte, die auf den bewegten Körper von außen eingedrückt haben, immer; die relative Bewegung wird dagegen von solchen Kräften nicht notwendigerweise verändert. Wenn nämlich dieselben Kräfte auch auf Körper, zu denen die Beziehung besteht, von außen so eindrücken, daß ihre relative Lage beibehalten wird, so bleibt auch die Beziehung erhalten, auf welcher die relative Bewegung beruht. Es kann also jede relative Bewegung verändert werden, wo die wahre beibehalten wird, und beibehalten werden, wo die wahre geändert wird, und deshalb beruht die wirkliche Bewegung am wenigsten auf derartigen Relationen.

Die Wirkungen, durch die man absolute und relative Bewegungen voneinander unterscheiden kann, sind die Fliehkräfte von der Achse der Kreisbewegung; denn in einer ausschließlich relativen Kreisbewegung existieren diese Kräfte nicht, in einer wirklichen und absoluten aber sind sie größer oder kleiner, je nach der Menge der Bewegung. Wenn ein Eimer an einer sehr langen Schnur hängt und beständig im Kreis gedreht wird, bis die Schnur durch die Zusammenziehung sehr steif wird, dann mit Wasser gefüllt wird und zusammen mit diesem stillsteht, und dann durch irgendeine plötzliche Kraft in entgegengesetzte Kreisbewegung versetzt wird und, während die Schnur sich aufdreht, längere Zeit diese Bewegung beibehält, so wird die Oberfläche des Wassers am Anfang eben sein wie vor der Bewegung des Gefäßes. Aber nachdem das Gefäß durch die allmählich auf das Wasser von außen übertragene Kraft bewirkt hat, daß auch dieses Wasser merklich sich zu drehen beginnt, so wird es selbst allmählich von der Mitte zurückweichen und an der Wand des Gefäßes emporsteigen, wobei es eine nach innen gewölbte Form annimmt (wie ich selbst festgestellt habe), und mit immer schnellerer Bewegung wird es mehr und mehr ansteigen, bis es dadurch, daß es sich im gleichen Zeittakt dreht wie das Gefäß, relativ in diesem stillsteht.

Dieser Anstieg zeigt ein Bestreben zur Entfernung von der Achse der Bewegung an, und durch dieses Bestreben wird die wirkliche und absolute Kreisbewegung des Wassers feststellbar und meßbar, die seiner relativen Bewegung hier völlig entgegengesetzt ist. Am Anfang, als die relative Bewegung des Wassers gegenüber dem Gefäß am größten war, rief jene Bewegung keinerlei Bestreben zur Entfernung von der Achse hervor. Das Wasser strebte nicht nach außen, indem es zugleich an den Wänden des Gefäßes emporstieg, sondern blieb eben, und deshalb hatte seine wahre Kreisbewegung noch nicht begonnen. Nachher aber, als die relative Bewegung des Wassers abnahm, zeigte sein Anstieg an den Wänden des Gefäßes das Bestreben zur Entfernung von der Achse an, und dieses Bestreben zeigte seine wahre, ständig zunehmende Kreisbewegung an, und diese erreichte schließlich ihr Maximum, als das Wasser relativ im Gefäß stillstand. Daher hängt dieses Bestreben nicht von einer Ortsveränderung des Wassers in Hinsicht auf die kreisförmig umlaufenden Körper ab, und deshalb besteht kein definitonischer Zusammenhang zwischen der wahren Kreisbewegung und solchen Ortsveränderungen. Die wahre kreisförmige Bewegung eines jeden sich drehenden Körpers, genau bestimmt, ist eine einzige und entspricht einem genau bestimmten Bestreben als sozusagen zugehörige und adäquate Wirkung. Die relativen Bewegungen aber sind, je nach den verschiedenen Beziehungen zu äußeren Körpern, zahllos, und wie diese Beziehungen haben sie mit den wahren Wirkungen nichts zu tun, wenn sie nicht in einem gewissen Umfang an jener wirklichen und genau bestimmten Bewegung teilnehmen. Daher werden auch im Weltsystem derjenigen, die wollen, daß unsere Himmelssphären sich innerhalb derjenigen der Fixsterne im Kreise bewegen und die Planeten mit sich herumführen, einzelne Teile der Sphären und die Planeten, die jedenfalls in ihren Sphären, in die sie eingefügt sind, relativ stillstehen, sich in Wahrheit bewegen. Sie verändern nämlich ihre Positionen zueinander (anders als es bei wirklich ruhenden Körpern der Fall ist) und nehmen, zusammen mit den Sphären fortgetragen, an deren Bewegungen teil

und haben, als Teile des gesamten umlaufenden Systems, das Bestreben, sich von dessen Achse zu entfernen.

Die relativen Größen sind daher nicht diejenigen Größen, deren Namen sie beanspruchen, sondern sie sind deren wahrnehmbare (wahre oder irrtümliche) Maße, deren man sich gemeinhin anstelle der wirklich zu messenden Größen bedient. Wenn aber die Bedeutung der Wörter durch ihren Gebrauch zu bestimmen ist, so hat man unter den Bezeichnungen Zeit, Raum, Ort und Bewegung eigentlich diese wahrnehmbaren Maße zu verstehen, und die Ausdrucksweise wird ungewöhnlich und rein mathematisch sein, wenn man die astronomisch gemessenen Größen darunter verstehen wollte. Deshalb tun diejenigen der Heiligen Schrift Gewalt an, die diese Bezeichnungen als astronomisch gemessene Größen dort hineininterpretieren. Aber nicht weniger besudeln diejenigen die Mathematik und die Philosophie, die die wirklichen Größen mit ihren Relationen und den gemeinhin verwendeten Maßen durcheinanderbringen.

Die wahren Bewegungen der einzelnen Körper zu erkennen und von den scheinbaren durch den wirklichen Vollzug zu unterscheiden, ist freilich sehr schwer, weil die Teile jenes unbeweglichen Raumes, in dem die Körper sich wirklich bewegen, nicht sinnlich erfahren werden können. Die Sache ist dennoch nicht gänzlich hoffnungslos, denn man kann Beweise dafür teils aus den scheinbaren Bewegungen finden, die die Differenzen zwischen wirklichen Bewegungen sind, teils aus den Kräften, die die Ursachen und die Wirkungen der wirklichen Bewegungen sind. Würden z. B. zwei Kugeln in gegebener Entfernung voneinander durch einen Faden verbunden und kreisten sie weiter um einen gemeinsamen Schwerpunkt, so würde aus dem Maß der Spannung des Fadens das Ausmaß des Bestrebens der Kugeln, sich von der Achse der Bewegung zu entfernen, bestimmbar, und daraus könnte die Größe der kreisförmigen Bewegung berechnet werden. Ließe man dann beliebige gleiche Kräfte von außen auf die sich jeweils entsprechenden Seiten der Kugeln gleichzeitig einwirken, um die Kreisbewegung zu vergrößern oder zu verkleinern, so würde aus der vergrößerten oder verkleinerten Spannung des Fadens

die Vergrößerung oder Verkleinerung der Bewegung bestimmbar, und daraus könnte man schließlich die Seiten der Kugeln ermitteln, auf die die Kräfte von außen einwirken müssen, um die Bewegung maximal zu vergrößern; das heißt die hinteren Seiten oder diejenigen, die in der kreisförmigen Bewegung nachfolgen. Hätte man aber die Seiten erkannt, die nachfolgen, und die entgegengesetzten Seiten, die vorausgehen, so könnte auch die Richtung der Bewegung erkannt werden. Auf diese Weise könnte sowohl die Größe, als auch die Richtung dieser Kreisbewegung in jedem beliebig großen leeren Raum ermittelt werden, wo nichts Äußeres und Wahrnehmbares vorhanden ist, womit man die Kugeln in Beziehung setzen könnte. Würden nun in jenem Raum irgendwelche Körper sehr weit voneinander entfernt plaziert, welche eine gegebene gegenseitige Lage beibehalten, wie etwa die Fixsterne im Weltraum, so könnte man freilich nicht aus der relativen Ortsveränderung der Kugeln zwischen diesen Körpern feststellen, ob diesen oder ob jenen die Bewegung zuzuschreiben sei. Achtete man aber auf den Faden und würde man dabei feststellen, daß seine Spannung gerade so groß ist, wie sie aufgrund der Bewegung der Kugeln sein muß, so dürfte man folgern, daß die Bewegung den Kugeln zuzuordnen sei und die Körper stillstehen, und dann erst dürfte man aus der Ortsveränderung der Kugeln zwischen den Körpern die Richtung dieser Bewegung ermitteln. Wie man aber die wahren Bewegungen aus ihren Ursachen, ihren Wirkungen und ihren scheinbaren Unterschieden, und umgekehrt, wie man aus den wahren oder scheinbaren Bewegungen deren Ursachen und Wirkungen ermitteln kann, wird im Folgenden ausführlicher gezeigt werden. Denn zu diesem Zweck habe ich die folgende Abhandlung verfaßt.

SCHOLIUM GENERALE

Die Wirbelhypothese kommt durch viele Schwierigkeiten * in Bedrängnis. Damit jeder Planet mit dem zur Sonne gezogenen Radius der Zeit proportionale Flächen beschreibt, müßten die Umlaufzeiten der Bestandteile eines Wirbels im quadratischen Verhältnis zu den Abständen von der Sonne stehen. Damit die Umlaufzeiten der Planeten zu ihren Abständen von der Sonne im eineinhalbfachen Verhältnis stehen, müßten die Umlaufzeiten der Bestandteile des Wirbels im eineinhalbfachen Verhältnis zu den Abständen stehen. Damit die kleineren Wirbel, die den Saturn, den Jupiter und die anderen Planeten umkreist haben, Bestand haben und störungsfrei im Wirbel der Sonne schwimmen können, müßten die Umlaufzeiten der Teile des zur Sonne gehörenden Wirbels gleich sein. Die Umdrehungen der Sonne und der Planeten um ihre Achsen, die mit den Bewegungen der Wirbel übereinstimmen müßten, stehen zu all diesen angeführten Proportionen in Widerspruch. Die Bewegungen der Kometen sind in höchstem Maße regelmäßig, folgen zusammen mit den Planetenbewegungen den gleichen Gesetzen und können durch Wirbel nicht erklärt werden. Die Kometen bewegen sich in sehr exzentrischen Bahnen in alle Teile des Weltraums, was nicht möglich ist, es sei denn, man machte mit den Wirbeln Schluß.

Wurfgeschosse erfahren in unserer Luft ausschließlich den Widerstand der Luft. Ist die Luft ausgepumpt, wie es im *Boyleschen* Vakuum der Fall ist, hört der Widerstand auf, weil ja eine zarte Flaumfeder und massives Gold mit gleicher Geschwindigkeit in diesem Vakuum fallen. Und genauso ist die Beschaffenheit des Weltraumes, der oberhalb der Atmosphäre der Erde ist. Alle Körper müssen sich in diesen Räumen vollkommen frei bewegen, und deshalb laufen Planeten und Kometen auf Bahnen, die nach Art und Lage gegeben sind, beständig um, gemäß den oben dargelegten Gesetzen. Sie werden jedenfalls in ihren Bahnen aufgrund der Gesetze der Schwere verharren, aber die regelhafte Lage dieser Bahnen konnten sie beim ersten Mal keineswegs aufgrund der genannten Gesetze erreichen. *

Die sechs Hauptplaneten laufen in geschlossenen Bahnen um die Sonne, in zur Sonne konzentrischen Kreisen, mit der gleichen Bewegungsrichtung und in möglichster Annäherung in derselben Ebene. Zehn Monde laufen in geschlossenen Bahnen um Erde, Jupiter und Saturn in konzentrischen Kreisen mit der gleichen Bewegungsrichtung und in möglichster Annäherung in den Ebenen der Planetenbahnen. Und alle diese regelhaften Bewegungen haben ihren Ursprung nicht aus mechanischen Ursachen heraus, weil sich ja die Kometen auf sehr exzentrischen Bahnen und in alle Richtungen des Weltraums frei bewegen. Mit dieser Art von Bewegung durchqueren die Kometen die Bahnen der Planeten sehr schnell und sehr leicht, und in ihren Aphelen, wo sie langsamer sind und länger verweilen, sind sie möglichst weit voneinander entfernt, damit sie sich gegenseitig so wenig wie möglich anziehen. Dieses uns sichtbare, höchst erlesene Gefüge von Sonne, Planeten und Kometen konnte allein durch den Ratschluß und unter der Herrschaft eines intelligenten und mächtigen wahrhaft seienden Wesens entstehen. Und wenn die Fixsterne die Mittelpunkte ähnlicher Systeme sein sollten, so wird dies alles, weil es nach einem ähnlichen Plan aufgebaut ist, unter der Herrschaft des Einen stehen, zumal da das Licht der Fixsterne von derselben Natur ist wie das Licht der Sonne und alle Systeme ihr Licht wechselseitig in alle anderen schicken. Und damit die Systeme der Fixsterne nicht durch ihre Schwere wechselseitig ineinander stürzen, dürfte Er dieselben in eine ungeheure Entfernung voneinander gestellt haben.

Er lenkt alles, nicht als Weltseele, sondern als der Herr aller Dinge. Und wegen seiner Herrschaft wird der Herr Gott* oft *Pantokrator* genannt. Denn „Gott“ ist ein Beziehungsbegriff, und zwar läßt er sich auf „Knecht“ beziehen, und Göttlichkeit ist die Herrschaft Gottes nicht über seinen eigenen Leib, wie diejenigen meinen, für die Gott die Weltseele ist, sondern die Herrschaft über seine Knechte. Der höchste Gott ist das ewige, unendliche und absolut voll-

* Das ist der Herrscher über alles.

kommene Sein; aber ein Sein — wie vollkommen auch immer — ist ohne Macht nicht der Herrgott. Wir sagen nämlich „mein Gott“, „euer Gott“, „Gott Israels“, „Gott der Götter“ und „Herr der Herren“; aber wir sagen nicht „mein Ewiger“, „euer Ewiger“, „der Ewige Israels“, „der Ewige der Götter“; wir sagen nicht „mein Unendlicher“ oder „mein Vollkommener“. Diese Bezeichnungen enthalten nicht die Beziehung auf „Knecht“. Das Wort „Deus“** bezeichnet ganz allgemein den Herrn, aber jeder „Herr“ ist nicht „Gott“. Die Herrschaft eines spirituellen Seins ist es, was Gott ausmacht; eine wahre, höchste oder eingebilddete Herrschaft macht einen wahren, höchsten oder eingebilddeten Gott. Und aus seiner wahren Herrschaft folgt, daß der wahre Gott lebendig ist, einsichtsvoll wissend [intelligens] und mächtig; aus den übrigen Vollkommenheiten [folgt], daß er der Höchste oder höchst Vollkommene ist. Er ist ewig und unendlich, allmächtig und allwissend, das heißt, er währt von Ewigkeit zu Ewigkeit und ist da von Unendlichkeit zu Unendlichkeit; er lenkt alles und er erkennt alles, was geschieht oder geschehen kann. Er ist nicht „die Ewigkeit“ und „die Unendlichkeit“, sondern er selber ist ewig und unendlich; er ist nicht „die Zeit“ und „der Raum“, sondern er selber währt und ist da. Er währt immer und ist allgegenwärtig; und dadurch, daß er immer und überall ist, bringt er die Zeit und den Raum zum Sein. Da jedes einzelne Teilchen des Raumes *immer* ist, und da jeder einzelne nicht mehr teilbare Augenblick der Zeit *überall* ist, so wird gewiß der Bildner und Herr aller Dinge nicht *niemals* oder *nirgends* sein. Jede mit Sinnen begabte Seele ist zu verschiedenen Zeiten und bei aller Verschiedenheit der Organe der sinnlichen Wahrnehmungen und der Bewegungen doch ein

** Unser Landsmann *Pococke* leitet das Wort *Deus* vom *arabischen* * Wort *Du* her (im Genitiv *Di*), welches den Herrn bezeichnet. Und in diesem Sinn werden die Fürsten *Dei* genannt, *Psalm* 84, 6 und *Joh.* X, 45. Und *Moses* wird *Deus* seines Bruders *Aaron* und *Deus* des Königs *Pharao* genannt (*Exodus* IV, 16 & VII, 1). In demselben Sinn nannten die Völker einst die Seelen der toten Fürsten *Dei*, freilich mangels Herrschaft zu Unrecht.

und dieselbe unteilbare Person. Teile treten nacheinander auf in der Zeit, nebeneinander existierend im Raum, aber keine Teile treten auf in der Person des Menschen oder in seinem denkfähigen Urgrund; und um vieles weniger in der denkenden Substanz Gottes. Jeder Mensch, soweit er ein zu sinnlicher Wahrnehmung fähiges Wesen ist, ist ein und derselbe Mensch, solange sein Leben dauert, in allen wie auch in den einzelnen Organen seiner sinnlichen Wahrnehmung. Gott ist ein und derselbe Gott immer und überall. Er ist allgegenwärtig nicht allein kraft seiner *Wirkfähigkeit*, sondern auch durch seine *Substanz*, denn Wirkfähigkeit kann ohne Substanz nicht bestehen. In ihm*** nur wird die ganze Welt zusammengehalten und in ihm wird sie bewegt, aber ohne sich gegenseitig in Mitleidenschaft zu ziehen. Gott erleidet nichts durch die Bewegungen der Körper; jene ihrerseits erfahren keinen Widerstand aufgrund der Allgegenwart Gottes. Daß die Existenz des höchsten Gottes eine unausweichliche Tatsache ist, ist allgemein anerkannt, und mit der gleichen Unausweichlichkeit ist er *immer* und *überall*. Daher ist er auch ganz und gar sich selber ähnlich, ganz Auge, ganz Ohr, ganz Gehirn, ganz Arm, ganz die Kraft der Wahrnehmung, der Einsicht und des Handelns, aber keineswegs auf eine menschliche und keineswegs auf eine körperliche, sondern auf eine uns völlig unbekannte Weise. Wie der Blinde keine Vorstellung hat von den Farben, so haben wir keine Vorstellung von den Arten und Weisen, in denen der weiseste Gott alles wahr-

*** So dachten die Alten, wie *Pythagoras* bei *Cicero*, Über die Natur der Götter, *Buch 1. Thales, Anaxagoras, Virgil*, Georgicon, *Buch 4 Vers 220*, und *Aeneis Buch 6 Vers 721. Philo* zu Beginn der Allegorien, *Buch 1. Aratus* zu Beginn der Phänomene. Ebenso auch die heiligen Schriften, wie *Paulus* in Act. XVII, 27, 28. *Johannes* in Evang. XIV, 2. *Moses* in Deut. IV, 39 & X. 14. *David* Psal. 139; 7, 8, 9. *Salomon* Könige I VIII, 27. *Hiob* 22; 12, 13, 14. *Jeremias* 23; 23, 24. Sie machten sich außerdem Götzenbilder von Sonne, Mond und Sternen, von den Seelen der Menschen und von anderen Teilen der Welt, die sie für Teile des höchsten Gottes und deshalb für verehrungswürdig hielten, freilich zu Unrecht.

nimmt und erkennt. Er entbehrt völlig jeder Körperlichkeit und jeder körperlichen Gestalt; und deshalb kann man ihn nicht sehen noch hören noch berühren; noch darf man ihn in Gestalt irgendeiner körperhaften Sache anbeten. Wir haben zwar Vorstellungen von Eigenschaften, die ihm zukommen, aber was das eigentliche Wesen irgendeiner Sache sei, das erkennen wir keineswegs. Wir sehen nur die Formen und Farben der Körper; wir hören nur Töne; wir berühren nur ihre äußeren Oberflächen; wir riechen nur die Gerüche; wir schmecken nur den Geschmack; aber das Innere der Substanzen erkennen wir durch keinen Sinn und durch keine Anstrengung unseres Geistes; und um vieles weniger haben wir eine Vorstellung von der Substanz Gottes. Wir erkennen ihn einzig und allein durch seine Wesenseigenschaften und Attribute, sowie durch den höchst weisen und guten Plan und die Zweckursachen der Welt, und wir bewundern ihn wegen seiner vollkommenen Lösungen; unsere Anbetung und unser Dienst aber gilt seiner Herrschaft. Wir dienen ihm nämlich als seine Knechte; und Gott ohne Herrschaft, Vorsehung und Zweckursachen ist nichts anderes als blindes Schicksal und bloße Natur. Aus einer blinden, der Schöpfung zugrundeliegenden [metaphysica] Unausweichlichkeit, die ja immer und überall dieselbe ist, entsteht keine Veränderungsmöglichkeit der Dinge. Die ganze Vielfalt der nach Ort und Zeit geordneten Dinge konnte einzig und allein aus den Vorstellungen und dem Willen eines wahrhaften Seins, das notwendigerweise existiert, entstehen. Man sagt aber allegorisch, daß Gott sehe, höre, rede, lache, liebe, hasse, wünsche, gebe, annehme, sich freue, zürne, kämpfe, arbeite, gründe, baue. Denn alle Rede über Gott wird aufgrund einer gewissen Ähnlichkeit aus menschlichen Verhältnissen entlehnt, einer Ähnlichkeit, die allerdings nicht vollkommen ist, aber doch einen gewissen Grad erreicht. Und soviel über Gott; über ihn auf der Grundlage von Naturerscheinungen Aussagen zu machen, gehört unbedingt zur Naturphilosophie.

Bis hierher habe ich die Naturerscheinungen des Welt-raums und unseres Meeres, die durch die Kraft der Schwere zustandekommen, dargelegt, aber die Ursache der Schwere

habe ich noch nicht bezeichnet. Diese Kraft entsteht jedenfalls aus irgendeiner Ursache, die durchdringt bis zu den Mittelpunkten der Sonne und der Planeten, ohne eine Verringerung ihrer Wirkfähigkeit, und die nicht entsprechend der Menge der *Oberflächen* von Teilchen wirkt, auf die sie einwirkt (wie mechanische Ursachen das gewöhnlich tun), sondern entsprechend der Menge der *festen* Materie, und deren Einwirkung sich auf allen Seiten in unermeßliche Entfernungen ausdehnt, wobei sie stets im quadratischen Verhältnis der Entfernungen abnimmt. Die Schwere zur Sonne hin setzt sich aus den Schwerewirkungen zu den einzelnen Teilchen der Sonne hin zusammen, und mit wachsendem Abstand von der Sonne nimmt sie genau im quadratischen Verhältnis der Entfernungen ab bis zur Bahn des Saturn, wie aufgrund der Ruhe der Aphele der Planeten klar ist, und bis zu den äußersten Aphelen der Kometen, sofern jene Aphele ruhen. Eine theoretische Erklärung für diese Eigenschaften der Schwere habe ich aus den Naturerscheinungen noch nicht ableiten können, und bloße Hypothesen denke ich mir nicht aus. Was immer nämlich sich nicht aus den Naturerscheinungen ableiten läßt, muß *Hypothese* genannt werden, und Hypothesen, sei es metaphysische, sei es physische, sei es solche über verborgene Eigenschaften, sei es solche über die Mechanik, haben in der *experimentellen Philosophie* keinen Platz. In dieser Philosophie werden Lehrsätze aus Naturerscheinungen abgeleitet und durch Induktion allgemeingültig gemacht. So sind die Undurchdringlichkeit, Beweglichkeit und der Impetus der Körper, die Gesetze der Bewegung und der Schwere zu unserer Kenntnis gekommen. Und es genügt, daß die Schwere tatsächlich existiert, gemäß den von uns dargelegten Gesetzen wirkt und für alle Bewegungen der Himmelskörper und unseres Meeres hinreicht.

Es mag jetzt gestattet sein, hier noch einiges über ein gewisses äußerst feines immaterielles Prinzip [*spiritus*] hinzuzufügen, das dichte Körper durchzieht und in ihnen verborgen ist; durch dessen Kraft und Einwirkung ziehen Teilchen der Körper sich auf kleinste Entfernung wechselseitig an und hängen zusammen, nachdem sie in Berührung gebracht

sind; durch das elektrische Körper auf größere Entfernungen hin wirken, dadurch daß sie benachbarte Korpuskeln ebenso abstoßen wie anziehen; durch das das Licht ausgesandt, reflektiert, gebrochen, gebeugt wird und das Körper erwärmt; durch das jede Empfindung erregt wird; durch das die Glieder der Lebewesen nach Willen bewegt werden, nämlich durch die Schwingungen dieses immateriellen Prinzips, die sich durch die festen Fasern der Nerven von den äußeren Sinnesorganen zum Gehirn und vom Gehirn in die Muskeln fortgepflanzt haben. Aber diese Dinge können nicht mit wenigen Worten dargelegt werden, und es steht noch keine ausreichende Anzahl von Experimenten zur Verfügung, durch welche die Gesetze der Einwirkungen dieses immateriellen Prinzips genau bestimmt und aufgezeigt werden müssen.

ENDE DER GRUNDLAGEN

Wasser, in ebendiesem Verhältnis geringeren Widerstand leistet, so wird, wenn man in den Weltraum hinein aufsteigt, wo das Gewicht des Mediums, in dem die Planeten sich bewegen, sich ins Unmeßbare verkleinert, der Widerstand nahezu aufhören. Wir haben jedenfalls im Corollar zu Proposition XXII, Buch II, gezeigt, daß die Luft, wenn man in eine Höhe von zweihundert Meilen über der Erde aufsteige, im Verhältnis 30 zu 0,0000000000003998 oder etwa 7500000000000 zu 1 dünner würde als an der Oberfläche der Erde. Hiernach verlöre also der Stern Jupiter, wenn er in einem Medium von der gleichen Dichte seine Bahn zöge, wie sie jene obere Luft hat, im Zeitraum von 1000000 Jahren aufgrund des Widerstands des Mediums nicht einmal ein Millionstel seiner Bewegung. In den erdnächsten Räumen jedenfalls findet sich nichts, was einen Widerstand erzeugen könnte, außer der Luft, Ausdünstungen und dem Wasserdampf. Hat man diese aus einer Glasröhre sehr sorgfältig herausgepumpt, so fallen schwere Körper innerhalb des Glases völlig frei und ohne jeden merklichen Widerstand. Selbst Gold und eine sehr zarte Flaumfeder, die gleichzeitig losgelassen werden, fallen mit derselben Geschwindigkeit, und sie treffen, indem sie fallend eine Höhe von vier, sechs oder acht Fuß beschreiben, gleichzeitig auf dem Boden auf, wie durch Erfahrung ermittelt worden ist. Und deswegen werden sich, gesetzt, man steige in den Weltraum auf und er sei frei von Luft und Ausdünstungen, Planeten und Kometen ohne jeden spürbaren Widerstand durch jene Räume auf äußerst lange Zeit hin bewegen.

Hypothese I

Der Mittelpunkt des Weltsystems ruht.

Das ist von allen zugestanden, wenn auch manche behaupten, die Erde, andere, die Sonne ruhe im Mittelpunkt des Systems. Wir wollen sehen, was daraus folgt.