

PHILOSOPHISCHE BIBLIOTHEK

G. W. LEIBNIZ

Specimen Dynamicum

LATEINISCH - DEUTSCH

FELIX MEINER VERLAG



GOTTFRIED WILHELM LEIBNIZ

Specimen Dynamicum

Herausgegeben und übersetzt von
Hans Günter Dosch, Glenn W. Most
und Enno Rudolph

Mit Erläuterungen versehen von
Jörg Aichelin, Hans Günter Dosch,
Pierre Keller, Hans Lichtenberger,
Hans Joachim Maul, Glenn W. Most
und Enno Rudolph

Lateinisch - Deutsch

FELIX MEINER VERLAG
HAMBURG

PHILOSOPHISCHE BIBLIOTHEK BAND 339

Bibliographische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliographie; detaillierte bibliographische Daten sind im Internet abrufbar über <<http://portal.dnb.de>>.

ISBN: 978-3-7873-0534-6

ISBN eBook: 978-3-7873-3251-9

© Felix Meiner Verlag GmbH, Hamburg 1982.

Alle Rechte vorbehalten. Dies gilt auch für Vervielfältigungen, Übertragungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen, soweit es nicht §§ 53 und 54 UrhG ausdrücklich gestatten. *www.meiner.de*

INHALT

Vorwort der Herausgeber	VII
Einführende Bemerkungen zum physikalischen Weltbild des 17. Jahrhunderts	IX
Zur Schrift „Specimen Dynamicum“	XXI
Verzeichnis der wichtigsten im Text vorkommen- den Namen	XXIII
Literaturverzeichnis	XXV
Abkürzungen und Siglen	XXVII

Gottfried Wilhelm Leibniz

Specimen Dynamicum

Specimen Dynamicum, Prima Pars / Teil I	2/3
Specimen Dynamicum, Secunda Pars / Teil II	38/39
Specimen Dynamicum (Erste unveröffentlicht gebliebene Fassung)	64/65
Erläuterungen zu Specimen Dynamicum, Teil I ...	91
Erläuterungen zu Specimen Dynamicum, Teil II ..	135
Abbildungen 1 bis 6	155

VORWORT

Die Schrift „Specimen Dynamicum“, deren erster Teil bereits auszugsweise in der Übersetzung von Artur Buchenau (in: G. W. Leibniz, Hauptschriften zur Grundlegung der Philosophie, Bd. 1, hrsg. v. E. Cassirer, Philos. Bibl. Bd. 107) vorliegt, gehört zu den wichtigen Dokumenten der Naturphilosophie von Leibniz und seiner Zeit. Die vorliegende Ausgabe will die Schrift erstmals vollständig in gesonderter zweisprachiger Ausgabe einem sowohl philosophisch wie wissenschafts-geschichtlich interessierten Leserkreis zugänglich machen. Der zusätzliche Abdruck der ersten unveröffentlicht gebliebenen Fassung des Specimen Dynamicum wie auch der dem lateinischen Text beigefügte kritische Apparat sollen die Gedankenentwicklung von Leibniz bis hin zur Endfassung des Textes nachzeichnen. Notiert wurden daher nur Entwicklungskomponenten, nicht Überlieferungsvarianten.

Maßgebend für die Edition waren die Handschriften von Leibniz, wie sie sich im Leibniz-Archiv Hannover finden ließen. Die Übersetzung hat sich um größtmögliche Wörtlichkeit bemüht. Sprachliche Härten wurden lieber belassen, als durch elegante Anpassungen an den modernen deutschen Sprachstil eine zu große Entfernung von der Urfassung zu riskieren. Dem zeitgenössischen Sprachgebrauch folgend wurde „vis“ stets mit „Kraft“ übersetzt, obwohl die adäquate Übersetzung in moderne Terminologie in den meisten Fällen „Energie“ heißen müßte. Die anschließenden Erläuterungen erheben nicht den Anspruch eines vollständigen Kommentars. Sie wollen Akzente setzen, deren Auswahl sich aus dem Interesse der verschiedenen wissenschaftlichen Disziplinen angehörenden Verfasser erklärt. Sie spiegeln teilweise einen Diskussionsverlauf wider, in dem Physiker und Philosophen anhand der Auslegung eines einheitlich philosophischen und naturwissen-

schaftlichen Textes einen gemeinsamen hermeneutischen Zugang und eine gemeinsame Sprache suchten. Dabei verbliebene Unebenheiten in Stil und Rezeptionsweise wurden bewußt in Kauf genommen.

Zu danken ist dem Leibniz-Archiv in Hannover, das uns auf großzügige Weise Einsicht in die Manuskripte gewährte. Zu danken ist der Forschungsstätte der Evangelischen Studiengemeinschaft, die uns im Rahmen ihres „Arbeitszentrums Naturphilosophie“ angemessene Arbeitsmöglichkeiten verschaffte. Zu danken ist dabei insbesondere den Herren Proff. Picht und von Weizsäcker, die den Gang der Arbeit mit kritischem Rat und Anregungen begleitet haben. Zu danken ist schließlich Frau Eveline Busch und Frau Anna Frese, die in unermüdlicher Schreiarbeit die technische Erstellung ermöglichten.

Heidelberg, im Oktober 1981

Die Herausgeber

EINFÜHRENDE BEMERKUNGEN ZUM PHYSIKALISCHEN WELTBILD DES 17. JAHRHUNDERTS

Ein starkes Interesse an der Materie und ein aus der Stringenz der mathematischen Argumentation hergeleiteter unbedingter Glaube an deren Verbindlichkeit machten die Mechanik im 17. Jahrhundert zu einer maßgebenden Wissenschaft. Die tabellarische Übersicht (s. S. XX) enthält die Daten, die die Entwicklungsgeschichte der Mechanik, besonders im Hinblick auf „Specimen Dynamicum“ widerspiegeln. Wir können ihr entnehmen, welche überragende Rolle dieses Säkulum für diese Wissenschaft spielt. Bezeichnet das Erscheinungsjahr der *Discorsi* des Galilei einen Meilenstein zu Beginn der modernen Mechanik, so bilden die *Principia mathematica* des I. Newton ihren ersten Abschluß.

In der zweiten Hälfte des Jahrhunderts spielte die Naturphilosophie Descartes' eine zentrale Rolle. Der große Philosoph und Mathematiker gibt im 2., 3. und 4. Teil seiner *Principia Philosophiae* eine rational-mechanistische Erklärung aller materiellen Phänomene, die für die nachfolgende Generation prägend war. Kennzeichnend für Descartes' Auffassung von der Materie ist deren radikale Reduktion auf die Ausdehnung: „Die Natur der Materie oder des Körpers ganz allgemein besteht keinesfalls darin, daß er hart oder schwer oder farbig ist oder sonstwie unsere Sinne erregt, sondern darin, daß er eine in die Länge, Breite und Tiefe ausgedehnte Sache ist.“ (*Desc Princ II, 4*) Dem Raum kommt dabei keine eigenständige Bedeutung zu, sondern er wird schlechthin als die Ausdehnung nach Länge, Breite und Tiefe aufgefaßt. Deshalb kann es auch für Descartes kein Vacuum im philosophischen Sinne geben; die Galileischen Abstraktionen eines Falles im leeren Raum zum Beispiel sind für ihn unzulässig. Auch Atome kann es nicht geben, als materielle Körper müßten sie ausgedehnt und damit wieder teilbar sein. Es existiert auch nur eine Art von

Materie, und die Verschiedenheit der Erscheinungsformen ist bestimmt durch die innere Bewegung der Teile. Da es einen leeren Raum nicht gibt, ist auch die Bewegung nur relativ zu definieren als die Überführung eines Körpers aus einer Nachbarschaft in eine andere. Die Bewegung bezieht sich also nicht auf andere Körper schlechthin, sondern auf solche, die den bewegten Körper berühren.

Eine wichtige Rolle in der Dynamik des Descartes spielt die Bewegungsgröße (quantitas motus), die als Produkt von Ausdehnung und Betrag der Geschwindigkeit definiert ist. Sie ist eine erhaltene Quantität, das heißt seit ihrer ersten Erschaffung durch Gott kann sie zwar zwischen verschiedenen Teilen der Materie ausgetauscht, aber weder vernichtet noch neu geschaffen werden. Aus drei Naturgesetzen, in denen dieses Prinzip inkorporiert ist, leitete Descartes idealisierte Stoßgesetze ab. Diese sind in seinem Gesamtsystem von hervorragender Bedeutung, bilden sie doch die Grundlage für alle materiellen Erscheinungen: Da das Wesen der Materie in ihrer Ausdehnung besteht, resultieren alle Wechselwirkungen aus Stößen. Eine Erklärung für die Möglichkeit eines Stoßes selbst zu geben, schien ihm konsequenterweise nicht notwendig zu sein.

Descartes stellt insgesamt sieben Regeln für den vollkommen harten (das heißt elastischen) Stoß auf, in denen er die Fälle gleicher und verschiedener Größen und Geschwindigkeiten behandelt. Es werden hier vier zitiert, die zum Teil von Leibniz in „Specimen dynamicum“ direkt diskutiert werden (Desc Princ II, S. 46 ff.):

Regel 1: „Wenn zwei Körper genau gleich wären und sich mit gleicher Geschwindigkeit geradlinig aufeinander zu bewegen, B von rechts nach links und C jenem entgegengesetzt von links nach rechts, so würden sie in ihrer Bewegung reflektiert und nachher fortfahren, sich zu bewegen, B nach rechts und C nach links, ohne irgend einen Verlust ihrer Geschwindigkeit.“

Regel 2: „Wenn B wie wenig auch immer größer wäre als C und wenn sie sich mit der gleichen Geschwindigkeit bewegen, würde nur C reflektiert und sie würden sich beide nach links mit gleicher Geschwindigkeit bewegen.“

Regel 4: „Wenn der Körper C wie wenig auch immer größer wäre als B und er vollständig ruhte, das heißt, daß er nicht nur keinerlei offensichtliche Bewegung hätte, sondern auch nicht von Luft noch irgendeinem der anderen Körper umgeben wäre, welche wie ich unten zeigen werde, die harten Körper in die Lage setzen, sehr leicht bewegt zu werden, so hätte B, mit welcher Geschwindigkeit er auch auf ihn zukäme, niemals die Kraft ihn zu bewegen, sondern er würde gezwungenermaßen in dieselbe Richtung reflektiert werden, aus der er gekommen wäre.“

Regel 5: „Wenn dagegen der Körper C nur beliebig kleiner wäre als B, so könnte dieser sich gar nicht so langsam auf den anderen, den ich in vollkommener Ruhe annehme, zubewegen, daß er nicht die Kraft hätte, ihn zu stoßen und ihm den Teil der Bewegung abzugeben, der nötig wäre, damit sie sich später mit derselben Geschwindigkeit bewegten.“

Die Vorbehalte, die Descartes zu der 4. Regel macht, zeigen, daß ihm der Widerspruch zwischen seinen Regeln und dem Experiment bekannt war. Aber in einem, mit Materie völlig angefüllten Universum sind quantitative Aussagen schwierig, wenn nicht gar unmöglich. Einer Kritik der Regeln – und damit natürlich ihrer Voraussetzung – durch Leibniz im Specimen II kommt besondere Bedeutung zu, da sie auf Grund von Prinzipien, nicht von Phänomenen erfolgte.

Die das Universum erfüllende Materie spielt auch in Descartes' Theorie des Planetensystems eine gewichtige Rolle, da die Planeten wie die Erde in ihren flüssigen Himmeln ruhen und von diesen mitgetragen werden. Er kann daher, wie er selbst sagt, „mit mehr Sorgfalt als Kopernikus und mit größerer Wahrhaftigkeit als Tycho“ (Desc Princ III, S. 19) die Bewegung der Erde mit der herrschenden Lehre der Kirche vereinen, da bei ihm Bewegung nur im Bezug auf die berührende Umgebung, das heißt in diesem Falle den die Planeten umgebenden Äther definiert ist, und sie in diesem tatsächlich ruhen sollen. Diese Auffassung leitet sich aus Descartes' Begriffen von Raum und Bewegung zwanglos her und ist sicherlich kein opportunistischer So-

phismus, um etwa einer Verurteilung durch die Inquisition zu entgehen (der Prozeß Galileis hatte elf Jahre vor Erscheinen der Principia stattgefunden und ihr Erscheinen verzögert).

Der mechanistischen Grundauffassung mußte die maßgebliche mechanistische Theorie der Antike, der Atomismus des Demokrit, Leukipp und Epikur sehr entgegenkommen. Er wurde von P. Gassendi vermittelt und interpretiert.

Während die Naturwissenschaft des Descartes in der späteren Physik keine direkten Spuren hinterlassen hat, nahmen (und nehmen) die Themen, die nun hauptsächlich behandelt werden sollen, auch in den folgenden Jahrhunderten einen breiten Raum in der physikalischen Fachdiskussion ein. Es sind dies (in moderner Terminologie): Die mechanische Energie und ihr Erhaltungssatz, die Masse und der absolute Raum. In seiner einfachsten Form besagt der Satz von der Erhaltung der (mechanischen) Energie „Arbeit aus dem Nichts zu schaffen oder ein sogenanntes perpetuum mobile ist unmöglich“ (Mach, Arbeit 4). Der holländische Mathematiker R. Stevin macht in seiner Schrift Hypomnemata Mathematica (Leyden 1605) von diesem Prinzip Gebrauch, um Gleichgewichtsgesetze auf der schiefen Ebene herzuleiten. (Leibniz erwähnt ihn in der ersten, unveröffentlichten Fassung des Specimen.) Er beweist diese, indem er zeigt, daß bei ihrer Verletzung ein perpetuum mobile entstände. Galilei macht den Schritt zum Quantitativen, indem er die Fallhöhe als relevantes Maß (wir würden heute sagen für die mechanische Energie) erkannte. Fällt ein Körper um eine gewisse Höhe, so ist die erreichte Geschwindigkeit nur von dieser Höhe, nicht vom speziellen Weg abhängig: „Die Geschwindigkeitswerte, welche ein und derselbe Körper bei verschiedenen Neigungen eine Ebene erlangt, sind einander gleich, wenn die Höhen dieser Ebene gleich sind.“ (Discorsi, S. 155) Da Galilei die Proportionalität der Fallhöhe zum Quadrat der Geschwindigkeit gefunden hatte, erhielt er damit implicit den Erhaltungssatz im konstanten Schwerfeld: $v^2 - kxh = \text{constans}$. Dabei ist v der Betrag der Geschwindigkeit, h die Fallhöhe und k eine vom Körper unabhängige Konstante.

Virtuos wird dieser „Satz von der Erhaltung der mechanischen Energie“ (wie wir heute sagen würden) von Ch. Huyghens ausgenutzt. In seinem wichtigsten zu Lebzeiten gedruckten Buch „Pendeluhren“ (Paris 1673) benutzt er diesen Satz zur Berechnung der Schwingungsdauer eines physikalischen Pendels. Die Steighöhe ist dabei die Erhebung des Schwerpunktes über die Ruhelage. Die „kinetische Energie“ muß aus den einzelnen Teilen des schwingenden Körpers, so als bewegten sie sich unabhängig voneinander, zusammengesetzt werden. Dabei wird neben dem Energiesatz auch noch implicit das (später) sogenannte D'Alembert'sche Prinzip benutzt: Zwangskräfte leisten keine Arbeit. Die Ableitungen des Ch. Huyghens wurden bewundert, zumal sie nach der Art des Archimedes in streng geometrischer Manier durchgeführt waren. Allerdings nennt noch Lagrange die Ableitung prekär und gibt einer von Jakob Bernoulli mit Hilfe der Hebelgesetze durchgeführten (1681) den Vorzug.

Auch zur Ableitung der Gesetze für den elastischen Stoß benutzte Huyghens neben der Relativität der Bewegung die „Erhaltung der kinetischen Energie“ und fand damit die auch heute noch einfachste Herleitung (*De motu corporum ex percussione*, cf auch Mach, *Mech.*, S. 317 ff.). Die Bedeutung der Stoßgesetze für die damalige Physik erhellt sich ebenfalls aus der Tatsache, daß die Royal Society die Behandlung des Stoßes zur Aufgabe stellte, zu der 1668/69 J. Wallis, Chr. Wren und Chr. Huyghens Lösungen einreichten.

Auch für die Entwicklung eines quantitativen Massebegriffes waren die Beiträge von Huyghens maßgebend. Schon bei der Aufstellung seiner Stoßgesetze mußte er bemerken, daß offenbar dem Gewicht und nicht der Ausdehnung eine wesentliche Bedeutung zukommt. Andererseits konnte das Gewicht allein auch nicht das bestimmende Maß für die Materiemenge sein. In den Jahren 1671–73 fand nämlich Richter, daß eine von Frankreich nach Cayenne gebrachte Pendeluhr dort langsamer ging. Daraus mußte man schließen, daß das Gewicht des Pendels in Cayenne geringer war als in Europa. Dies war nun sicher für die Cartesianer nicht

allzu verblüffend, da ja für sie Schwere als ein (dynamisch zu erklärendes) *Accidens* der Materie galt. Huyghens hingegen fand die quantitative Erklärung: Die von der Erdumdrehung herrührende Zentrifugalkraft wirkt unter dem Äquator stärker als in den gemäßigten Breiten und vermindert die zentripetal wirkende Schwere. In der Nomenklatur unterscheidet er zwar noch nicht scharf zwischen *pondus* und *quantitas solida*, doch kann man in letzterem durchaus den ersten quantitativen Massebegriff sehen. Huyghens hielt zwar ausgedehnte, aber unendlich harte Atome für die Urbausteine der Materie. Überhaupt war die maßgebliche mechanistische Philosophie der Antike, nämlich der Atomismus, von großem Einfluß auf die Naturphilosophie des 17. Jahrhunderts.

Chr. Huyghens war der bedeutendste Physiker seiner Generation. Mach nannte ihn den ebenbürtigen Nachfolger von Galilei. „War vielleicht auch seine philosophische Begabung etwas geringer als jene Galileis, so übertraf er denselben wieder durch sein geometrisches Talent.“ (Mach, *Mech.*, S. 149)

Leibniz stand zu Huyghens in engem Kontakt, ja wir dürfen ihn auf dem Gebiete der Naturwissenschaft und Mathematik als einen Schüler von Huyghens betrachten (cf *GM*, II, S. 11 ff.). Die Mechanik erreicht ihren Höhepunkt und ersten krönenden Abschluß mit dem Erscheinen von Isaac Newtons „*Principia mathematica Philosophiae naturalis*“ (London 1686), dem bedeutendsten Einzelwerk in der Geschichte der Physik. Auch Newton hatte, wohl autodidaktisch, sich mit Descartes beschäftigt, doch löste er sich radikal von dessen Schemata, vielleicht auch unter dem Einfluß der Atomisten. Vom Standpunkt der Cartesianer mag man in dem Werk Newtons einen Rückschritt gesehen haben, verwendete er doch Begriffe wie *Quantität* der Materie, *Fernwirkung*, *absoluter Raum* und *Zeit*, die eher dem Arsenal der Scholastik entnommen schienen als einer rationalen Philosophie des 17. Jahrhunderts. Die Entwicklung aber zeigte, daß die Newtonsche Mechanik mit ihrem ungeheuren Erfolg bei quantitativen Aussagen der

logisch rationalen des Descartes, die fast nur qualitative Aussagen machen konnte, weit überlegen war.

Gleich zu Beginn der Prinzipien führt Newton in seiner ersten Definition den Begriff „Quantitas Materiae“ (das heißt: Masse) ein, die er als Produkt aus Dichte und Volumen definiert. Die Quantität der Materie ist das Maß für dieselbe, aus deren Dichte und Größe gemeinsam gebildet. Diese Einführung der Masse läßt sich natürlich leicht als zirkelschlüssig kritisieren (Mach, Mech., S. 210 ff.), wenn man Dichte wiederum als Masse pro Volumen definiert. Vor dem Hintergrund der Cartesischen Prinzipien allerdings ergibt sich etwas grundlegend Neues: Die Ausdehnung kann nicht die einzige Wesensbestimmung der Materie sein. Der Rekurs auf die Dichte mag durch den Atomismus beeinflusst worden sein: Eine Kompression, also Erhöhung der Dichte bewirkt einen geringeren Abstand zwischen den Atomen, verringert aber die Anzahl der Atome nicht. Es mag von daher naheliegen, daß eine Verringerung des Volumens bei gleichzeitiger Erhöhung der Dichte die Materiequantität unverändert läßt, und diese daher als Produkt der beiden zu nehmen ist. Ein dynamischer Massebegriff, wie er dann aber bei Newton auftritt, war den klassischen Atomisten fremd, und Gassendi bekämpft die Keplersche Auffassung von der Trägheit ausdrücklich. In der weiteren Entwicklung der Mechanik erwies sich die Masse als ein grundlegendes Prinzip, und für viele Probleme ist es sinnvoll, die Abstraktion so weit zu treiben, daß man sich die Masse eines Körpers in einem Punkt konzentriert denkt (Mechanik der Massenpunkte).

Natürlich hat die Entstehung des Massebegriffes eine lange Geschichte. Auf die Beiträge von Huyghens sind wir bereits eingegangen; eine besondere Rolle spielten auch die Spekulationen Keplers über eine Materiemenge (*copia materiae*), der die sich der Bewegungsänderung widersetzen- de Trägheit (*repugnans motui*) proportional ist. Auf diesen Begriff bezieht sich wohl auch Descartes, wenn er 1638 an Mersenne schreibt, daß er keine natürliche Trägheit oder Verzögerung (*inertie ou tardivité naturelle*) anerkenne.

Newton sprach auch klar die Proportionalität sowohl

der schweren als auch der trägen Masse zur Quantität der Materie aus, nachdem er dies selbst an vielen Pendeln aus verschiedenen Stoffen nachgeprüft hatte (in moderner Terminologie: Äquivalenz von schwerer und träger Masse). In der zweiten Definition der Principia wird die Bewegungsgröße als Produkt aus Materiequantität und Geschwindigkeit eingeführt, wobei die Richtung zwar nicht ausdrücklich erwähnt, aber in folgenden Anwendungen stets berücksichtigt wird.

Auch den Primat des Stoßes als allein befriedigende mechanische Wechselwirkung gibt Newton auf. Ganz allgemein wird bei ihm die Bewegung durch Kräfte bestimmt: die innewohnende Kraft (*vis insita*) als die Potenz, Änderungen zu widerstehen, und die eingeprägte Kraft (*vis impressa*), die den Zustand der Ruhe oder gleichförmigen Bewegung ändert. Newton stellte drei Gesetze der Bewegung auf. Gesetz I ist das Trägheitsgesetz: Ohne äußere Kräfte bleibt ein Körper im Zustand der Ruhe oder der gleichförmigen Bewegung. In Gesetz II wird statuiert, daß die Änderung der Bewegung proportional der eingepägten Kraft sei (in Größe und Richtung). Gesetz III schließlich postuliert die Gleichheit von Wirkung und Gegenwirkung. Newton verband mit dem Begriff der Kraft eine wohlbestimmte Vorstellung, und damit ist Gesetz II für ihn tatsächlich ein Naturgesetz und keine Definition der Kraft. Insbesondere gibt er Beispiele für Kräfte und rechnet die sich daraus ergebenden Bahnkurven aus. Am bekanntesten und großartigsten ist seine Beschreibung der Bewegung der Planeten und der Monde mit Hilfe der Schwerkraft, die als Fernkraft in der Verbindungslinie zweier Massen wirkt, dem Produkt der Massen proportional und dem Quadrat der Entfernung umgekehrt proportional ist. Newton war wohl durch die Einführung einer Fernkraft selbst beunruhigt, denn er schreibt: „Daher hüte sich der Leser zu denken, daß ich durch Bezeichnungen dieser Art (*voces*) — das ist Anziehung, Stoß, Hinneigung zu einem Zentrum — Art und Weise der Wirkung und physikalischen Grund oder Ursache irgendwo erkläre“ (New Princ zu Def. 8).

War Newton mit der formal mathematischen Einführung

der Schwerkraft offenbar selbst nicht zufrieden, so seine wissenschaftliche Mitwelt, besonders auf dem Kontinent, noch weniger. Die Richtigkeit seiner Ableitungen und die mathematische Konsistenz seiner Beschreibung wurden zwar anerkannt, aber die Einführung einer in die Ferne wirkenden Anziehung als absurd verurteilt. Erst im Laufe des 18. Jahrhunderts setzte sich die Newtonsche „Experimentalphysikalische“ Methode durch. Im Rahmen einer Theorie wird aus den Phänomenen auf ein „Gesetz“ geschlossen, und dieses Gesetz wird auf möglichst viele Phänomene angewandt (New Princ, Buch III).

Die Auszeichnung der Ruhe beziehungsweise der gleichförmigen geradlinigen Bewegung, wie sie bei Galilei, Gasendi, Huyghens, ja sogar bei Descartes auftritt, führte Newton zur Einführung des absoluten Raumes und der absoluten Zeit: „Die absolute, wahre und mathematische Zeit verfließt an sich und vermöge ihrer Natur gleichförmig, und ohne Beziehung auf irgend einen äußeren Gegenstand. Der absolute Raum bleibt vermöge seiner Natur und ohne Beziehung auf einen äußeren Gegenstand, stets gleich und unbeweglich. . . Die absolute Bewegung ist die Übertragung des Körpers von einem absoluten Orte nach einem andern absoluten Orte.“ (New Princ, S. 37). Damit war ein Referenzsystem aufgestellt, auf das sich die geradlinige und gleichförmige Bewegung beziehen ließ. Newton bemerkte, daß sich eine geradlinig gleichförmige Bewegung gegenüber dem absoluten Raum nicht feststellen ließ, wohl aber eine beschleunigte, insbesondere eine kreisförmige. Am Begriff des absoluten Raumes entzündete sich eine heftige Polemik, doch konnte die folgende Schlußweise Newtons nicht widerlegt werden: Wird ein mit Wasser gefülltes Gefäß in kreisförmige Bewegung um seine Längsachse gesetzt, so wird das Wasser anfänglich den Wänden des Gefäßes nicht folgen und eine ebene Oberfläche bilden. Allmählich wird aber die Bewegung der Wände sich auf das Wasser übertragen, es wird sich von der Mitte des Gefäßes entfernen und an den Wänden hochsteigen, und die Oberfläche wird eine hohle Form annehmen. Die *wahre* Ruhe bei großer Relativbewegung gegen die Wand zeichnet sich also durch eine

ebene Oberfläche ab, die wahre Bewegung bei relativer Ruhe zur Wand gibt Anlaß zu einer gekrümmten Oberfläche. Bei aller Anerkennung für die tief sinnigen Einwände eines Leibniz oder Huyghens, die teilweise sehr modern anmuten, sollte man doch nicht übersehen, welche befreiende Wirkung die Einführung des absoluten Raumes für die Physik hatte. Der cartesische Raum war so vollgestopft, daß selbst der einfache Stoß nicht als Problem zweier Körper behandelt werden konnte. Erst im leeren Raum Newtons ließen sich vorher so komplex erscheinende Phänomene wie die Planetenbewegung streng quantitativ behandeln.

Es sei hier am Rande vermerkt, daß sowohl das Problem des absoluten Raumes als auch das der Fernwirkung mit der Newtonschen Theorie keineswegs ihre abschließende Klärung erfuhren. In der Feldtheorie sowie der Relativitätstheorie haben sich eher der Standpunkt der lokalen Wechselwirkungen (allerdings keinesfalls in seiner Reduktion auf Stöße ausgedehnter Teilchen) sowie der relative Raum durchgesetzt. Keinesfalls aber sollte man schließen, daß die Newtonsche Physik eine Verirrung auf dem Weg dieser Theorien war und – hätte man mehr auf Leibniz und Huyghens gehört – man sie schon früher hätte finden können. Es sei in diesem Zusammenhang an Einstein erinnert: „Newton, verzeih mir; du fandest den einzigen Weg, der zu deiner Zeit für einen Menschen von höchster Denk- und Gestaltungskraft eben noch möglich war. Die Begriffe, die du schufst, sind auch jetzt noch führend in unserem physikalischen Denken, obwohl wir nun wissen, daß sie durch andere, der Sphäre der unmittelbaren Erfahrung ferner stehende ersetzt werden müssen, wenn wir ein tieferes Begreifen der Zusammenhänge anstreben.“ (A. Einstein, *Philosopher Scientist*, S. 30 ff.)

Erhaltungssätze, die für Descartes, Huyghens und Leibniz so bedeutend sind, spielen für Newton keine wichtige Rolle. Er beweist zwar, im Zusatz 3 zu seinen Gesetzen, die Erhaltung der Bewegungsgröße als gerichtete Größe, doch behandelt er im zweiten Teil seiner *Principia* sehr ausführlich Probleme mit Reibungskräften, bei denen die mechanische Energie nicht erhalten ist. Es zeigt sich hier

ein Unterschied sowohl in der erkenntnistheoretischen als auch in der ethisch-religiösen Grundhaltung. In der Tat könnte ein Empirist mit Recht darauf verweisen, daß die kinetische Energie bei keinem real ablaufenden irdischen Prozeß erhalten ist, und die Spekulationen eines Leibniz, der annahm, daß die (sichtbare) kinetische Energie in (unsichtbare) innere Bewegungsenergie umgewandelt wird, als ad hoc Hypothese verwerfen. Zum anderen zeigt sich aber auch eine sehr verschiedene Auffassung vom Wirken Gottes. Während für Leibniz die Weisheit Gottes, der das Universum so geschaffen hat, daß ein supranaturales Eingreifen nicht nötig ist, wesentlich ist, zeigt sich für die Newtonsche Schule die Vollkommenheit der Welt in der ununterbrochenen Ausübung der göttlichen Macht und Herrschaft.

In diesem historischen Umfeld ist die Schrift *Spec dyn I* und *II* zu sehen. Sie hatte sicherlich keinen großen direkten Einfluß auf die Entwicklung der Physik, wenn auch der mit diesen und ähnlichen Schriften (neben *Spec dyn* insbesondere die „*Brevis Demonstratio . . .*“, GM VI, S. 117 ff., CassBu, S. 246 ff.) entfachte Streit zwischen Cartesianern und Leibnizianern über das wahre Kraftmaß bis in die Mitte des 18. Jahrhunderts andauerte (cf Kants Erstlingschrift: „*Gedanken von der wahren Schätzung der lebendigen Kräfte . . .*“, 1747). Der Gedanke an die zentrale, metaphysisch motivierte Bedeutung von Erhaltungsgrößen trat allerdings gänzlich in den Hintergrund; und in der Vorrede zum berühmten „*Traité de la dynamique*“ (1743) tat D'Alembert diese ganze Kontroverse als einen Streit um Worte ab. Es ist wohl ein Indiz für die Langlebigkeit von Vorurteilen auch in den objektiven Wissenschaften, daß ein historisch gebildeter und scharfsinniger Physiker wie Ernst Mach diese Meinung D'Alemberts übernahm (Mach, *Mech.*, S. 247; aber auch Cassirer, S. 322 ff.). Cassirer zeigt, daß im 19. Jahrhundert, als der Gedanke an die Erhaltung der „Kraft“ (das heißt in moderner Terminologie: Energie) als universeller Größe zentrale Bedeutung für die Physik gewann, Überlegungen wie die von Leibniz durchaus wieder angestellt wurden (Cassirer, S. 311 f.; S. 321). T. S. Kuhn