

Cartesische Erkenntnistheorie und mathematische Physik des 17. Jahrhunderts

Autor(en): **Fleckenstein, J.O.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Gesnerus : Swiss Journal of the history of medicine and sciences**

Band (Jahr): **7 (1950)**

Heft 3-4

PDF erstellt am: **21.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-520833>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

qui se creuse entre l'enseignement secondaire et l'enseignement universitaire, entre le public et le savant et qui pourrait constituer une fissure sérieuse de notre civilisation.

C'est donc le cœur serré par l'urgence du problème que pose la notion de vérité scientifique que je m'écrie: DESCARTES est mort! Vive le nouveau DESCARTES qui nous apportera la lumière et nous donnera une idée simple et claire de la vérité.

Cartesische Erkenntnistheorie und mathematische Physik des 17. Jahrhunderts*

Von J. O. FLECKENSTEIN, Basel

War DESCARTES ein Cartesianer? Der Historiker, dem die psychologischen Prozesse bei der Bildung von Philosophenschulen bekannt sind, wird diese Frage eher zu verneinen geneigt sein. Immerhin hat DESCARTES der Gründung einer Schule den Weg geebnet, welche wie eine neue «Scholastik» die französische Wissenschaft fast ein Jahrhundert lang und die Pariser Akademie seit ihrer Gründung bis in die Mitte des 18. Jahrhunderts hinein beherrschte, wo sie schließlich von den Mathematikern d'ALEMBERT, CLAIRAUT und MAUPERTUIS für die NEWTONSche Physik erobert wurde. Unser Philosoph hat nämlich 1644 sein System in den *Principia philosophiae* zusammengefaßt und in vier Teilen: «Über die Prinzipien der menschlichen Erkenntnis», «Über die Prinzipien der körperlichen Dinge», «Über die sichtbare Welt» und «Über die Erde» das lehrbuchartig dargestellt, was er seit 1637 in seinem *Discours*, den Meditationen und dem zurückgehaltenen *Le monde* veröffentlicht hatte. Das Werk erschien sechs Jahre nach GALILEIS *Mechanik* im gleichen Verlag. (Abb. 1).

Dieses spätere Schulbuch der Cartesianer, von dem DESCARTES am 31. Januar 1642 selber an CONST. HUYGENS schrieb: «... je le ferai nommer *Summa philosophiae*, afin qu'il s'introduise plus aisément en la conversation des gens de l'école, qui, maintenant, le persécutent et tâchent à l'étouffer

* Vortrag zum 300. Todestag RENÉ DESCARTES', gehalten am 26. August 1950 zu Davos vor der Schweizerischen Gesellschaft für Geschichte der Medizin und der Naturwissenschaften, der Schweizerischen Mathematischen und der Schweizerischen Physikalischen Gesellschaft.

RENATI
DESCARTES
PRINCIPIA
PHILOSOPHIÆ.



AMSTELODAMI,
APUD LUDOVICUM ELZEVIUM,
ANNO MDCLXXIV.
Cum Privilegio

Abb. 1

avant sa naissance, aussi bien les Ministres que les Jésuites . . .»¹ konnte um so leichter zur Bibel der neuen Wissenschaft des 17. Jahrhunderts werden, als in ihm der erkenntnistheoretische Ausgangspunkt des Systems in den Hintergrund, die spezielle Ausführung desselben in der Naturphilosophie aber in den Vordergrund getreten war (auf welche sich übrigens das Indexverbot des *Donec corrigantur* nicht bezog). Der gespannte und kraftvolle Stil der Erstlingswerke war einer breiteren, ja epischen Darstellung gewichen: der Kenner bemerkt in den detaillierten Ausführungen der *Prinzipien* etwas von der mühevollen Langeweile eines Denkers, der gezwungen ist, zu beschreiben, was er schon längst durchdacht hat und der im übrigen das Bücherschreiben verachtet.

Aber das Werk wurde gerade deshalb zum Maßstab, an welchem die Epigonen den Cartesianismus maßen. Die bizarren cartesischen Wirbel aus den Kügelchen der vier Urelemente, die den Spott der Physiker des achtzehnten Jahrhunderts herausforderten – «die soliden Sphären des ARISTOTELES sind mir noch lieber als die Wirbel des DESCARTES» bemerkte DELAMBRE² –, waren eine direkte Konsequenz der «*reform cartésienne et son fondement géométrique*». Die Pioniere der Physik im experimentierfreudigen 17. Jahrhundert freilich, selbst zumeist überzeugte Cartesianer, wie REGIUS³ und MARIOTTE⁴, ROHAULT, der Begründer der französischen Experimentalphysik⁵ und RÉGIS «*omnium Cartesianorum papa*»⁶, verstanden nicht mehr den ganzen Weg zu durchmessen, der von der *Méthode* des Erkenntnistheoretikers DESCARTES zu den Wirbeln des Naturphilosophen CARTESIUS führte.

Das Cartesische System ist in der Geschichte der Philosophie durch die Zweisubstanzenlehre charakterisiert: die geistige des denkenden Ich und die körperliche des Ausgedehnten. Am berühmten Wachsgleichnis aus der zweiten Meditation hat DESCARTES am siegessichersten die Lehre vorgebracht, daß das Wesen der Körperlichkeit mit und nur mit ihrer Ausdehnung – welche dann der Cartesianismus bloß dreidimensional verstehen konnte – zusammenfällt. Das Geschehen in der körperlichen Welt ist deshalb

¹ DESCARTES, *Œuvres* (Ed. Adam-Tannery) III, p. 523. Brief Nr. 267.

² DELAMBRE, *Histoire de l'Astronomie moderne*, v. II, p. 235, Paris 1821.

³ HENRICI REGII, *Fundamenta physices*, 4°, Amsterdam, Elzevier, 1646.

⁴ MARIOTTE, *Seconde essai de physique, de la nature de l'air*, 12°, Paris 1679.

⁵ ROHAULT, *Traité de physique*, 2 vol. in 4°, Paris 1671, 1682.

⁶ RÉGIS, *Système de philosophie, contenant la logique, la métaphysique, la physique et la morale*, 3 vol. in 4°, Paris 1690.

nichts anderes als ein bloßes Ortsverschieben innerhalb des Ausgedehnten. Da jedoch bei der Verschiebung von Raumteilen keinerlei Substanz verlorengehen darf, so muß diese Verschiebung als ein kreisförmiges Strömen vorgestellt werden. Der Wirbel vertritt damit gewissermaßen in der Kosmologie des DESCARTES das Atom, der sonst sowohl die Existenz der Atome wie des Vakuums ablehnt. «Ein Vakuum im philosophischen Sinne, d. h. ein solches, in dem sich keine Substanz befindet, kann es offenbar nicht geben, weil die Ausdehnung des Raumes von der Ausdehnung des Körpers nicht verschieden ist» (*Princ.* II, 16). «Es ist unmöglich, daß irgendwelche Atome oder Teile der Materie ihrer Natur nach unteilbar sind. Denn, wenn es welche gibt, so müssen sie notwendig ausgedehnt sein; so klein sie auch gedacht werden mögen – in Gedanken kann man sie doch immer noch in zwei oder mehr kleinere teilen und daraus ihre Teilbarkeit erkennen. Und was in Gedanken geteilt werden kann, das *ist* auch teilbar; wollten wir es also für unteilbar halten, so widerspräche dies unserer eigenen Erkenntnis» (*Princ.* II, 20). Die Cartesischen Wirbel – 250 Jahre später von Lord KELVIN zu neuem Leben erweckt – verkörpern den ersten Versuch einer Kontinuumsphysik.

In der Kosmogonie geht DESCARTES von der Gleichverteilung des ausgedehnten Stoffes in der körperlichen Welt aus. Im Anfang war der kontinuierlich ausgebreitete und bewegte Stoff in möglichst gleiche Teilchen von mittlerer Größe geteilt; sie bewegten sich in doppelter Rotation, einmal um ihre Achse und zugleich in einem Wirbel um gewisse Zentralkpunkte, die heute durch die Sterne im riesigen Weltenmeer realisiert sind. In dieser Bewegung haben sich die kontinuierlich verteilten Teilchen abgerieben, zersplittert und zusammengeballt, so daß allmählich drei Arten von Materie entstanden. Da Kugeln den Raum nicht vollständig erfüllen, so entstanden diese erst später durch Abschleifen und Absplittterung von äußerst fein gewordener, sich mit enormer Geschwindigkeit bewegender Materie, welche als Materie erster Art die Zwischenräume zwischen den Kugeln ausfüllt, während die Kugeln die Materie zweiter Art bilden. Diese nennt DESCARTES auch «Luft-element», jene «Feuerelement», welches die Fixsterne aufbaut, während sich das Luftelement, als Kügelchen der Materie zweiter Art, in weiten Wirbeln zwischen den einzelnen Fixsternen wie zwischen Sonne und Planeten bewegt. Je mehr sich aber die Teilchen des zweiten Elementes abrieben, um so mehr vermehrte sich die ursprünglich geringe Menge der Teilchen des ersten Elementes. In dem Stadium aber, wo mehr Teilchen des Feuerelementes entstanden waren, als zur Ausfüllung der Zwischenräume nötig waren, floß diese Überzahl nach der Mitte des Wirbels und bildete dort dessen Zentralkörper.

In einem Wirbel müssen aber, wie in einer Schleuder, die massigeren Teilchen mehr nach außen gehen als die leichteren, so daß gerade die Teilchen des ersten Elementes in das Zentrum des Wirbels fließen. Die aneinandergrenzenden Wirbel des nunmehr schon in zwei Materien differenzierten flutenden Stoffmeeres beeinflussen sich in ihren Bewegungen und müssen sich einander so anpassen, daß sie sich am wenigsten hindern. Dies

wird dann der Fall sein, wenn die Pole des einen Wirbels den Äquatorialgegenden der anderen nahe liegen. Denn in Parallellage der Wirbelachsen werden bei gleicher Rotationsrichtung die Wirbel ineinanderfließen, bei entgegengesetzter aber sich aufheben. Fällt nun aber der Pol des einen in die Äquatorrichtung des anderen Wirbels, so muß Materie aus dem ersten in den zweiten fließen, denn am Äquator ist der Druck größer als am Pol; in jedem Wirbel strömt also Materie in Richtung der Pole ein und in Richtung des Äquators wieder aus. Es wird dies vornehmlich Materie erster Art sein, denn diese dringt leichter durch die Gänge des Luftelementes. Beim Lauf durch die Achse müssen aber sich diese Teilchen, da der Raum zwischen den Kugelchen des Luftelementes tetraedrisch ist, zunächst zu Dreikanten und wegen der Rotation des Gesamtwirbels zu schraubenförmigen Tetraedern, zu schneckenhausartigen Gebilden formen. Diese werden sich nun im Zentralkörper zusammenfilzen und die verschiedenen Formen terrestrischer und planetarischer Materie aufbauen. Sie bilden die Teilchen des dritten, des Erdelementes. Wegen des größeren Außendruckes am Äquator werden diese zusammengefilzten Massen also in dessen Nähe um den Zentralkörper aufsteigen, womit DESCARTES eine instruktive Erklärung für die Sonnenflecke GALLEIS geben konnte.

Die Phantasie kann sich in barocken Bildern auch das weitere Detail der terrestrischen Welt ausdenken. Die Elementenlehre läßt DESCARTES, wenn auch in präziserer Form, das Weltbild des ARISTOTELES weiterführen und indem er die Erde in einem Wirbel um die Sonne gezogen lehrt, kann er sich mit einem klugen Kniff aus der kritischen Situation der kopernikanischen Lehre ziehen: Denn sowenig wie ein getriebenes Schiff eine eigene Bewegung gegenüber dem Meer, sowenig hat die Erde eine wirkliche Bewegung gegenüber dem Weltenmeer des zweiten Elementes.

Die Cartesische Physik bleibt das Werk eines Geometers, obwohl seine *Géometrie* das Werk eines Analytikers gewesen war. Sowenig er seine Physik analytisch zu fassen sucht, so sehr tobt sich dafür seine plastische geometrische Phantasie aus, für welche freilich GOETHE in der Geschichte der Farbenlehre nur Verachtung zeigte: «Er bedient sich, um das Unfaßliche, ja das Unbegreifliche zu erklären, der krudesten sinnlichen Gleichnisse. So sind seine verschiedenen Materien, seine Wirbel, seine Schrauben, Haken und Zacken niederziehend für den Geist, und wenn dergleichen Vorstellungsarten mit Beifall aufgenommen wurden, so zeigt sich daraus, daß eben das Roheste, Ungeschickteste der Menge das Gemäßbeste bleibt.»

Die Kritik des Dichters trifft die Absichten unseres Denkers nicht. Der Naturroman, den uns der Philosoph vorlegte, war nicht das Werk der dichtenden Phantasie, sondern ein Entwurf des mathematischen Verstandes. Sein höchster Ehrgeiz war es, durch das Dickicht der sinnlichen Erfahrung die geraden und geordneten Gärten der mathematischen Erkenntnis zu legen, die wegen der Einfachheit ihrer Wege für jedermann gangbar

sind. «Le bon sens est la chose du monde la mieux partagée . . .» dies ist der erste Satz, den der Denker veröffentlicht hat und mit den Worten: « . . . Ich für mein Teil habe mir niemals eingebildet, mein Geist sei in irgendeiner Beziehung vollkommener als der eines Durchschnittsmenschen; im Gegenteil, oft habe ich mir die Gedankenschnelle, das klare und bestimmte Vorstellungsvermögen, das umfassende und treue Gedächtnis mancher anderer gewünscht. Und ich wüßte nicht, welche anderen Eigenschaften die geistige Vollkommenheit ausmachen sollten! Was aber die Vernunft anbetrifft, die allein uns ja erst zum Menschen macht, so glaube ich ohne weiteres, daß sie bei allen Menschen gleich ist . . .» fährt der *Discours de la méthode* weiter fort.

Die Unzulänglichkeit des primitiven physikalischen Modells, welches der Meister entworfen hatte, blieb auch den Cartesianern nicht verborgen. Aber selbst der größte unter ihnen, CHRISTIAN HUYGHENS, blieb bei aller Kritik der Wirbelhypothese treuer Anhänger der Cartesischen Kontinuumsvorstellung und Gegner der NEWTONSchen Fernkraft einer Gravitation. NEWTON hatte das ganze zweite Buch seiner *Principia mathematica* der Widerlegung der Wirbellehre gewidmet. HUYGHENS versuchte durch eine hydrodynamische Ätherwirbeltheorie die Gravitation cartesisch zu erklären und die vier schwachen Punkte der alten Wirbellehre zu beseitigen. Ihr war nämlich unverständlich geblieben, weshalb

1. die Exzentrizitäten der Bahnen der Planeten – abgesehen von den Störungen – konstant blieben;
2. obwohl ihre Bahnen nicht koinzidieren, trotzdem aber die Neigungen sich konstant erhielten;
3. ihre Umlaufgeschwindigkeiten nach bestimmten Gesetzen verschieden sind, und
4. retrograde Kometen sich vorfinden.

Das konsequente Durchhalten des cartesischen Dogmas von der Unmöglichkeit des Vakuums führte HUYGHENS bis dicht an die moderne Undulationstheorie des Lichtes heran⁷.

Die ersten Ansätze zu einer analytischen Formulierung mechanischer Gesetze, die HUYGHENS als ein Antipode NEWTONS meisterhaft in seinen Untersuchungen über Zentralkräfte, Stoßgesetze und das Oszillationszen-

⁷ Eine eigentliche Wellentheorie des Lichtes impliziert das HUYGHENSSche Prinzip nämlich nicht; denn der Begriff der Wellenlänge spielt in ihm noch keine physikalische Rolle. HUYGHENS bleibt im Bannkreis des cartesischen Geometrismus, er liefert nur die konstruktivgeometrischen Voraussetzungen zu einer physikalischen Wellentheorie.

trum durchzuführen verstand, stammen von DESCARTES selber. Grundlage der Cartesischen Mechanik ist der Satz von der Erhaltung des Impulses – oder in der ursprünglichen Terminologie – des «Bewegungsquantums», unter welchem das Produkt von Masse und Geschwindigkeit verstanden wird. Da DESCARTES jedoch den vektoriellen Charakter der Geschwindigkeit noch nicht erfaßt hat und sie nur als eine skalare Größe kennt, so muß er sich bei der Herleitung der Stoßgesetze in Widersprüche verwickeln.

Bis ins 18. Jahrhundert hinein bleiben deshalb die Stoßgesetze ein immer wiederkehrendes Thema der cartesianischen Pariser Akademie. Denn nach den Gesetzen des Stoßes verteilt sich das Bewegungsquantum, welches ein für allemal in seiner Gesamtsumme gegeben ist, in der Welt der physikalischen Zustandsänderungen. Aber weil die Geschwindigkeit nur skalar, die Richtung aber willkürlich von Gott gewählt ist, so bereitet selbst das Parallelogrammgesetz der Impulse den Cartesianern lange Zeit Kopfzerbrechen, so daß sie schließlich die Allgemeingültigkeit dieses Zerlegungsprinzips bestritten. VARIGNON leitet in seiner *Nouvelle Mécanique*⁸ das Prinzip auch unter der Hypothese der Cartesianer, daß bei der Zerlegung nach der Diagonalen Bewegungsgröße verlorengelange, her. Er zeigt, daß beim Stoßvorgang das gewonnene Bewegungsquantum bei der Zusammensetzung zur Resultanten wiederum benötigt⁹ wird und umgekehrt. Der Impuls mv wird nun von den Cartesianern mit Kraft gleichgesetzt. VARIGNON ist deshalb der Entdecker des allgemeinen Satzes vom Kräfteparallelogramm geworden. Und da er bezeichnenderweise unter «Nouvelle Mécanique» nur eine neue Statik versteht, so bleibt seine Verwechslung des cartesischen Impulses mit dem dynamischen Kraftbegriff ohne fatale Folgen.

So wie DESCARTES die neue Methode seiner analytischen Geometrie nur innerhalb des traditionellen Rahmens der euklidischen Geometrie anwandte, so überwand er auch die antike Physik nur formell, nicht inhaltlich, indem seine Mechanik antike Statik bleibt, die vor ihm allerdings nach systematischen Gesichtspunkten neu geordnet werden kann. Die einfachen Maschinen, wie Hebel, schiefe Ebene, Rolle usw., wurden seit alters her als gesonderte Probleme mit speziellen Herleitungen behandelt. DESCARTES verlangt als erster einen gemeinsamen Oberbegriff, aus dem alle diese Maschinen als Spezialfälle folgen. Er findet ihn im Begriff der mechanischen Arbeit und

⁸ *Nouvelle Mécanique ou Statique dont le projet fut donné en MDCLXXXVII*. Ouvrage posthume de M. VARIGNON. 2 vol. in 4°, Paris 1725.

⁹ Vgl. J. O. FLECKENSTEIN, *Pierre Varignon*, Arch. Internat. Hist. Sciences, no 5, p. 85–138 (1948).

im virtuellen Prinzip, denn «die Erfindung aller Maschinen beruht auf dem einzigen Prinzip, daß dieselbe Kraft, die ein Gewicht von 100 Pfund auf eine Höhe von zwei Fuß zu erheben vermag, imstande ist, ein Gewicht von 200 Pfund auf die Höhe von einem Fuß zu erheben. Dieser Grundsatz aber muß zugestanden werden, wenn man nun erwägt, daß zwischen einem Vermögen und der Leistung, die es zu vollziehen vermag, stets ein festes und eindeutiges Größenverhältnis bestehen muß . . .»¹⁰ Wird hiemit zwar die Vorstellung von beseelten Kräften mit bestimmten Wirkungsvermögen, wie sie der Renaissance noch vorschwebte, endgültig überwunden, so engt sie sich doch zugleich wieder nur auf statische Begriffe ein. Der Cartesianer VARIGNON kann später das hieraus entspringende Prinzip von BERNOULLI der «virtuellen Verrückungen» nicht verstehen, da er nicht kontinuierlich-funktionell, d. h. dynamisch, zu denken vermag⁹.

Wie ist es möglich, daß die Physik des DESCARTES und der Cartesianer nur eine Statik geblieben ist? Wie konnte VARIGNON in der *Nouvelle Mécanique* hundert Jahre nach GALILEI noch mit ARISTOTELES die Kraft der Geschwindigkeit proportional setzen?

In der Welt des DESCARTES gibt es nur starre Stöße, welche das Bewegungsquantum übertragen, keine kontinuierlich wirkenden Kräfte als Ursachen von Zustandsänderungen. Das Weltgeschehen versucht er aus der geometrischen Mannigfaltigkeit der Verteilungen des Bewegungsquantums zu verstehen, statt aus dem «in allen zeitlichen Änderungen sich Erhaltenen» zu begreifen, wie es später als Energieprinzip von LEIBNIZ in dem Streit mit den Cartesianern über das wahre Maß der Kräfte formuliert wurde.

War es die bloße Unzulänglichkeit des ersten Schrittes, welcher die Physik nur als Kinematik verstehen ließ, statt bis zur Dynamik weiterzuschreiten? Warum gelang der Durchbruch von der Geometrie der Bewegungen bis zur Arithmetik der Kräfte nicht völlig? Ihm, dem Reformator der Philosophie, der im Besitze der «méthode générale» die Abbildung der Geometrie auf die Arithmetik erfunden hatte? War die geometrische Anschaulichkeit die Kraft seiner Reform, so war sie aber auch zugleich ihre Schwäche. Denn die völlige Abbildung der Physik auf Arithmetik verlangt die mathematische Fassung des Begriffes der zeitlichen Änderung.

Das Geheimnis der Cartesischen Methode war die *Abbildung* verschiedener Begriffe aufeinander. DESCARTES zog aus der Unmöglichkeit, im

¹⁰ *Tractatus de Mechanica. Œuvres* (Ed. Adam-Tannery) I, p. 435-59 (Anhang zum Brief Nr. 89 an CONST. HUYGHENS vom 5. Oktober 1637).

Sinne der Scholastik mittels einer Begriffshierarchie von Subjekten und Prädikaten die Wirklichkeit adäquat zu erfassen, die Konsequenz, daß das Denken sich fortan auf das Konstruieren von zweckmäßigen Zuordnungsmechanismen zu beschränken habe, durch welche komplizierte Begriffe auf immer einfachere abgebildet werden, so daß mit den einfachsten wie mit Zahlen gerechnet werden kann. Anhand der analytischen Geometrie demonstrierte er diese «*méthode générale*». Freilich vermag diese Methode nur Relationen zu erfassen, denn inhaltlich haben beispielsweise Figurenpunkte und Zahlen nichts miteinander gemein, während die scholastische Methode gerade das Wesen des Seienden (Ontologie) zu bestimmen suchte.

DESCARTES beschränkt aber nicht das Denken nur auf Beziehungen, sondern er engt diese auf bloß Extensives ein, weil ihm nur das Ausgedehnte als «klar und deutlich» Objekt mathematischer Relationen sein darf. Damit ist ihm aber der Begriff der kontinuierlichen Veränderung und erst recht jener in der Zeit unzugänglich; denn außerdem zielt er noch auf eine völlige Elimination des Zeitparameters in seiner *Géométrisation* der Physik ab. Der Cartesische Kosmos kennt deshalb nur das stoßweise Zucken von dicht aneinanderliegenden, aber diskreten Korpuskeln als Fetzen des Ausgedehnten, nicht aber den kontinuierlichen Fluß des Geschehens. Ihm ist *mouvement* ein *état*, nicht eine zeitliche Zustandsänderung.

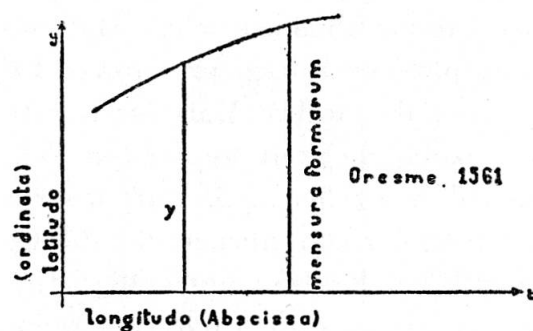


Abb. 2

Zur Symbolisierung von Zustandsänderungen hatten schon die Nominalisten der Scholastik das Hilfsmittel der graphischen Darstellung erfunden. Freilich benötigten sie zum Verständnis von Veränderungen einer Substanz die Hypothese der substanziellen Formen¹¹. DESCARTES hat dieses Ver-

¹¹ Den Übergang von Wasser zu Eis stellte sich der Scholastiker schematisch so vor, daß die Substanz, welche wir heute H₂O nennen, unter die sukzessive Folge der Formen des immer weniger Flüssigen und dann der Formen des immer mehr Festeren tritt. Je nach der realistischen oder nominalistischen Auffassung wurden diese «*Formae substantiales*»

fahren von allen überflüssigen Zutaten gereinigt, die *longitudines* oder *mensurae formarum* der Scholastiker zu Ordinaten gemacht und den Koordinaten Zahlen *zugeordnet*. (Abb. 2). War es dem Erfinder dieses Verfahrens, NIKOLAUS VON ORESME, noch verwehrt gewesen, das Gesetz der *mensurae formarum* auch nur für die einfachste aller natürlichen Zustandsänderungen, für die Fallbewegung, zu finden, so gelang es 250 Jahre später GALILEI, als Endpunkt einer langen Zersetzungsgeschichte der Scholastik, in welcher man geradezu alle Einzelstapen des Übergangs vom substanzuell-prädikativen zum kausal-funktionellen Denken verfolgen kann, das Fallgesetz zu formulieren.

Auch DESCARTES hat sich um dieses Gesetz bemüht. Untersucht man seine Manuskripte aus der Jugendzeit vor der Publikation des *Discours* und der *Géométrie*, so findet man schon in diesen alle sowohl kraftvollen wie verhängnisvollen Wurzeln des Cartesischen Systems auf¹². Die Frage des holländischen Physikers und Fortifikationsingenieurs BEECKMANN, wie schnell ein Körper die halbe Strecke falle, wenn man die Endgeschwindigkeit der ganzen Strecke kenne, löst DESCARTES bezeichnenderweise so auf, daß er trotz richtigen Ausgangspunktes unterwegs den Zeitparameter stillschweigend in die zurückgelegte Wegstrecke umdeutet und die differentiell-kontinuierlichen Geschwindigkeitsänderungen dv_i mit der mittleren Geschwindigkeit v_i verwechselt. Damit gelangt er zum Gesetz $v = gs$, von welchem falschen Ansatz GALILEI 1604 ebenfalls ausgegangen war¹³; es ist zweifellos leichter, sich Änderungen im Raume zu veranschaulichen, als in der Zeit zu denken. Während aber DESCARTES sein falsches Gesetz algebraisch in der neuen Sprache des funktionellen Denkens formulieren kann, muß GALILEI sein richtiges Fallgesetz¹⁴, zu dem er sich langsam durchringt, noch in der Sprache der Barockscholastik ausdrücken. Während GALILEI die Methode des DESCARTES nicht kannte und DESCARTES die funktionell-dynamischen Motive GALILEIS nicht fassen konnte, hat der Physiker BEECKMANN bezeichnenderweise die Lösung des DESCARTES im

als mehr oder weniger real existierend aufgefaßt, die gleichsam wie Schalen die materielle Substanz umhüllen.

¹² Briefwechsel DESCARTES-MERSENNE (Brief Nr. 14 vom 13. November 1629) und Tagebuch BEECKMANN (1618/19). *Œuvres* (Ed. Adam-Tannery) I, p. 69, X, p. 58, 75. Vgl. ferner die Tagebuchnotiz des DESCARTES, s. *Cogitationes Privatae* (Ed. Foucher de Careil, Paris 1859), p. 16–21.

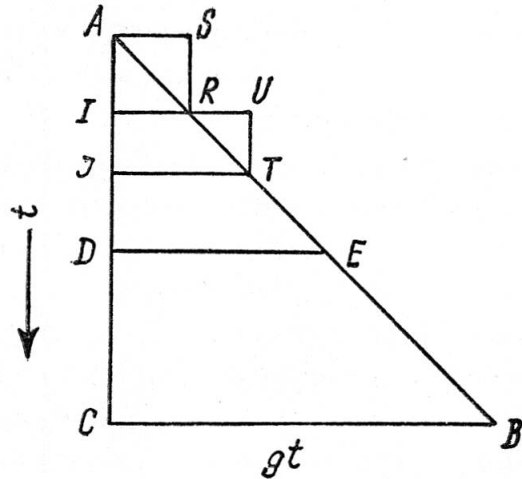
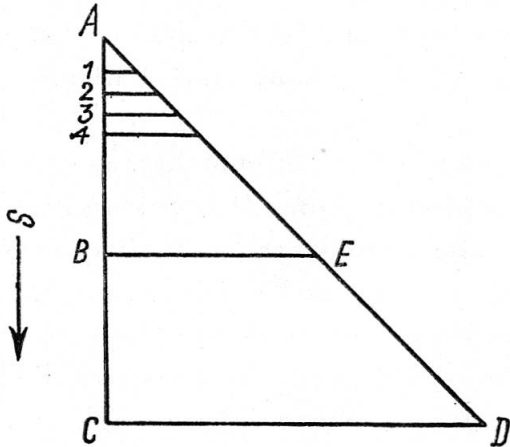
¹³ *Frammenti attenenti ai Discorsi. Opere di Galilei* (Ed. Naz.) VIII, p. 373.

¹⁴ Publiziert in *Discorsi e dimostrazioni matematiche*, Leiden 1638.

$$v = gt$$

En quelle proportion augmente cette vitesse
c'est ce que montre le triangle $ABCDE$.

$$v = gt$$



La ligne 1 dénote la puissance de la vitesse imprimée au premier moment, la ligne 2 la puissance imprimée au second moment, etc. ... On forme ainsi le triangle ABE qui représente l'augmentation de la vitesse dans la première moitié de l'espace que le grave parcourt. Comme le trapèze $BCDE$ est trois fois plus grand que le triangle ABE , il en résulte que le poids descend trois fois plus vite de B en C que de A en B : c'est-à-dire que s'il descend en trois moments de A en B , il descendra en un seul moment de B en C ...

Si, pendant le premier moment de temps le corps a parcouru un moment d'espace $AIRS$, durant les deux premiers moments de temps, il aura parcouru trois moments d'espace représentés par la figure $AJTURS$. L'espace parcouru dans un temps quelconque sera donc représenté par le triangle correspondant, augmenté des petits triangles ASR , RUT , etc. ... égaux entre eux. Mais ces triangles égaux ainsi ajoutés sont d'autant moindres que les moments d'espace sont moindres ... Il reste que l'espace dont la chose tombe en une heure est à l'espace dont elle tombe en deux heures comme le triangle ADE au triangle ACB .

Haec ita demonstravit Mr. PERON.

In $\frac{\Delta v}{\Delta t} = g$
 setzt DESCARTES $\Delta t = \Delta s$
 Ferner $\Delta v_i = \bar{v}_i$
 also $\Sigma \bar{v}_i = g \Sigma \Delta s_i$
 $v = g s$ (GALILEI, 1604)
 statt $\frac{dv}{dt}$ ist $\frac{ds}{dt} = \text{Kraft}_{(\text{DESCARTES})}$
 $= \text{Impuls}$

$$s_{AB} : s_{BC} = \Delta_{ABE} : \Delta_{ACD}$$

$$\Delta = \frac{1}{2} (gt) t$$

$$s = \frac{g}{2} t^2$$

GALILEISCHEN Sinn gelesen und das quadratische Weggesetz mit der Zeit dem Cartesius zugeschrieben! (Abb. 3).

GALILEI und sein Florentiner Kreis hatte die Geschwindigkeit – in den Frühschriften «forma motus» genannt – als eine Art scholastische Indivisibel betrachtet¹⁵. Wenn er auch den Indivisibilibienbegriff nicht zu kalkülisieren vermochte, so konnte er doch den Begriff der zeitlichen Veränderung damit veranschaulichen, während DESCARTES im Besitz des Kalküls nur Extensives erfaßte. Denn der GALILEISCHE Geschwindigkeitsbegriff als des Quotienten zweier infinitesimalen – extensiv betrachtet – Nullgrößen übersteigt die Möglichkeiten cartesischer Dialektik. DESCARTES kann allenfalls die Tangentensteigung als Maß einer Geschwindigkeit anerkennen, aber er weigert sich, sie als Grenzfall einer Sekante zu betrachten. Das Hauptproblem einer Kinematik ist die Bestimmung von Tangenten. DESCARTES lehrt diese für die algebraischen Kurven mittels der Diskriminantenmethode für Gleichungswurzeln. Später wagen sich die Cartesianer an den GALILEISCHEN Tangentengrenzwert der Sekante heran. Aber alle ihre Methoden, die sie ersinnen, beruhen gerade darauf, daß sie die dialektische Schwierigkeit des Quotienten zweier Nullen im Extensiven vermeiden, indem sie lehren, wie man vorher aus der Differenz der Funktionen zweier Argumente die Argumentendifferenz herausdividiert, so daß nachher ohne Schwierigkeit diese Differenz in ein Nulldifferential verwandelt werden kann. Da diese Methoden jedoch nur auf algebraische Kurven allgemein angewendet werden können, so muß die Cartesische Physik notwendigerweise nur eine Kinematik algebraischer Kurven bleiben, deren Formenmannigfaltigkeit auf die Klassizisten des Barock, auf FERMAT, ROBERVAL, PASCAL, HUYGHENS, freilich einen unwiderstehlichen Reiz ausübte.

Es waren die Cartesianer, welche mit den verschiedenen Zentralkraftgesetzen $1 : r^n$ (für beliebige ganzzahlige n) formal spielten, nachdem ihnen HUYGHENS die allgemeine Formel $k = \frac{v^2}{\rho}$ (ρ = Krümmungsradius) abgeleitet hatte. Die Ersetzung von v nach dem dritten KEPLERSCHEN Gesetz liefert

¹⁵ Unter Indivisibel verstanden die Scholastiker die letzten unteilbaren inextensiven «Formen», welche mit den extensiven Teilungselementen des Kontinuums als *Materia* das Kontinuum bilden. Für GALILEI entsteht die Bewegung als Zustandsänderung dadurch, daß der bewegte Körper unter die sukzessive Folge der verschiedenen «Formae motus», also unter die kontinuierliche Folge der Geschwindigkeiten tritt. Die Geschwindigkeit ist das Indivisible der Bewegung. Das Bewegungskontinuum entsteht also aus der Geschwindigkeit als Form und den quantitativen Teilen der Bewegung, nämlich den einzelnen Verhältnissen s/t , als seiner *Materia*.

dann sofort die NEWTONSche Gravitationsformel, und es waren wiederum die Cartesianer (VARIGNON und BERNOULLI¹⁶), welche methodisch bewiesen, daß nur für $n = 2$ das allgemeine Kraftgesetz $1 : r^n$ Kegelschnitte als Bahnkurven liefert. Echte cartesische Routine drückt sich in dem Versuche CASSINIS aus, die Ellipse, bei welcher die Summe der Radivektoren von den beiden Brennpunkten konstant ist, durch die Lemniskate, bei der das entsprechende Produkt konstant bleibt, zu ersetzen¹⁷, oder wenn ein englischer Adept des Cartesianismus, SETH WARD, eine *Astronomia geometrica*¹⁸ schreibt, in welcher die KEPLERSchen Gesetze auf den Antifokus bezogen werden. Der Gegensatz zwischen Cartesianismus und Newtonianismus entzündete sich nicht an der Form des Gravitationsgesetzes, sondern nur an der Deutung der Schwerkraft als Fern- oder Nahkraft. Der Meister aber hatte selbst dieser nur formalen Routine, die sich über den physikalischen Inhalt der Rechengrößen keine Gedanken macht, vorgearbeitet: Während er in seiner Antwort an BEECKMANN den physikalischen Inhalt des Kraftbegriffs verfehlt, wirft er zum Schluß sogleich die Frage auf, wie die Fallbewegung verläuft, wenn die Kraft nicht mehr konstant ist, sondern in irgendeiner Potenz der Zeit (d. h. cartesisch) des zurückgelegten Weges steht.

Das Trägheitsprinzip ist dabei DESCARTES bekannt¹⁹. Aber es verliert seine Fruchtbarkeit, wenn ihm bei der Geometrisierung der Mechanik der Zeitparameter genommen wird. Bewegung ist für DESCARTES Ortsverschiebung. «Nihil est absolutum in motu praeter separationem duorum corporum motorum ab invicem; quod autem unum ex istis corporibus dicatur moveri, aliud quiescere, hoc est relativum; pendetque a nostro conceptu . . .» schreibt er selber als Erläuterung zu den *Principia*²⁰. Die Barriere des Extensivum hält die Cartesische Physik im Vorhof der Statik zurück und verhindert sie, sich dem kontinuierlichen Fluß physikalischer Kausalität einzuordnen.

¹⁶ VARIGNON, *Des forces centrales ou des pesanteurs nécessaires aux Planètes pour faire leur décrire les orbés qu'on leur a supposés jusqu'icy*, Mém. Acad. p. 218–37, Paris 1700.

BERNOULLI, *Solution du problème inverse des forces centrales*, Mém. Acad. p. 521–33, Paris 1710. Op. I (1742) p. 470–80.

¹⁷ In *Recueil d'observations . . . par Messieurs de l'Académie Royale des Sciences*, 4°, p. 36, Paris, Imprimerie Royale, 1693.

¹⁸ *Astronomia geometrica: ubi methodus proponitur qua primariorum Planetarum Astronomia sive elliptica circularis possit geometricè absolvi*, 8°, Londini 1656.

¹⁹ Vgl. A. KOYRÉ, *Etudes Galiléennes II*, Actualités scient. et indust. No. 853, Paris 1939.

²⁰ *Œuvres inédites de Descartes*, s. Cit. 12. *Œuvres* (Ed. Adam-Tannery), XI, p. 656.

Die Ausdehnung, das Extensivum, wird aus dem Substrat der Relationen des Erkenntnistheoretikers DESCARTES schließlich zur Substanz der Körperlichkeit im System des Naturphilosophen CARTESIUS. In den *Regulae*²¹ war die Ausdehnung als das grundlegende Koordinatensystem definiert worden, auf das alle Fragen der Größenvergleichung zu beziehen sind. Für die Wissenschaft lassen sich aber alle Einzelmerkmale des empirischen Gegenstandes in räumlichen Proportionen ausdrücken, die ihr Korrelat in Verhältnissen von Extensivem haben. Freilich bleibt damit die Beschreibung aller physikalischen Vorgänge nur ein Bild, aber ein Modell, *an welchem Rechenoperationen vorgenommen werden können*. Die Erkenntnis der materiellen Natur kennt kein anderes Material als Raumgrößen und ihre Verhältnisse: «non res ipsae sensibus externis erunt proponendae, sed potius compendiosae illarum figurae», heißt es in der Regula XII. Die Ausdehnung ist das Mittel der Erkenntnis, mit welchem die Beschaffenheiten des Stoffes dem Geiste unmittelbar «klar und deutlich» vorgestellt werden können. Sie gehört zu den *ideae innatae*, welche die Bedingungen jeglicher Erkenntnis überhaupt darstellen, da sie die reinen Grundbegriffe sind, nach deren Muster überhaupt alle Erkenntnisse gebildet werden. Wenn aber zur Erkenntnis der Körperlichkeit das Extensivum als Substrat genügt, so muß es auch als *Substanz* deren Wesen sein. Denn Wahrheit ist Sein: «La vérité étant une même chose avec l'être» (*Meditat. V*). Mag auch das «absolute Sein» nicht nach unserer Mathematik genormt sein: das *Sein* der Wissenschaft aber ist mit ihrer *Wahrheit* identisch. Mit aller Klarheit hat DESCARTES diese «idealistische» Position bezogen, als ihm der Atomist GASSENDI vorwarf, sein Raum sei nur ein Gedankending, das mittels einer falschen Hypostasierung in die Wirklichkeit hineingetragen werde: Wenn GASSENDI recht hat, dann ist jeder Weg zum Sein verschlossen, denn es müßte folgerichtig alles, was wahrhaft verstanden und begriffen wurde, aus keinem anderen Grund, weil es das Werk der Einsicht und des Verstandes ist, für die Darstellung der Wirklichkeit verworfen werden²². Und so rechtfertigt der Denker inmitten der *Principia* (III, 20)

²¹ Das erst *postum* veröffentlichte Jugendwerk *Regulae ad directionem ingenii* (wahrscheinlich um 1628 verfaßt) erschien 1701 in Amsterdam in den *Opuscula posthuma physica et mathematica*.

²² In der Antwort auf die *Objectiones quintae* des GASSENDI gegen die *Meditationes de prima philosophia*. Vgl. *Œuvres* (Ed. Adam-Tannery) VII, p. 380 sq. Ferner: Lettre de M. DESCARTES à M. CLESSELIER, servant de réponse a un recueil des principales instances faites par Monsieur GASSENDI contre les précédentes réponses.

seine Naturphilosophie mit folgendem metaphysisch-theologischem Schluß: «Gewiß, wenn wir keine Prinzipien gebrauchen als die einleuchtend erkannten, wenn wir aus ihnen nichts als durch mathematische Folgerungen ableiten und inzwischen das, was wir so aus ihnen ableiten, mit allen Erscheinungen der Natur übereinstimmt; wir würden glauben, Gott Unrecht zu tun, falls wir noch da argwöhnten, die auf diese Weise gefundenen Ursachen der Dinge seien falsch, als ob er uns so unvollkommen geschaffen hätte, daß wir uns täuschten, indem wir unsere Vernunft richtig gebrauchten.»

Aber, hat nicht auch die Zeit eine Dimension? Ist nicht auch das Intensivum ebenso unmittelbar dem Geist gegeben wie das Extensivum? Dies waren die Fragen, die ein junger, dem DESCARTES kongenialer Denker 25 Jahre nach dem Erscheinen der *Principia* aufwarf. In der *Physica nova*²³ kritisiert LEIBNIZ den Cartesischen Bewegungsbegriff, welcher als reine geometrische Translation nichts mehr mit der ursprünglichen metaphysischen Bedeutung der aristotelischen *Κίνησις* gemein hat. Er weist auf GALILEI hin, der in seinem Bewegungsbegriff als zeitlicher Zustandsänderung diesen Zusammenhang noch gewahrt hat. Die Dynamik entzieht sich dem Versuch des mathematischen Denkens, wenn man den Zeitparameter eliminiert. Sie ist nur möglich, wenn man die geometrischen Lagen der Körper des DESCARTES in ihrer Abhängigkeit voneinander durch eine Kraftbeziehung, durch eine Funktion der Zeit, bestimmt. Und so fordert LEIBNIZ den Übergang von der Cartesischen Logik der Relationen des Diskreten zur Mathematik der Funktionen des Kontinuierlichen, welche das Variable zu berechnen gestattet. Diesen Infinitesimalkalkül mit variablen Größen hat GALILEI noch nicht haben können. Er kann sich nämlich nur dann ergeben, wenn man auf die dynamischen Vorstellungen GALILEIS die algebraische Methode des DESCARTES anwendet.

NEWTON hat den GALILEISCHEN Kraftbegriff cartesisch algebraisiert und damit erst die moderne Physik ermöglicht. Der Florentiner Kreis um GALILEI hatte eine Geometrie der Indivisibilia ausgearbeitet, welche bei ihrem Fluß durch die verschiedenen Formen der Körper sich stetig ändernd

²³ *Hypothesis nova physica, qua phaenomenorum naturae pleorumque causae ab unico quodam universali motu in globo nostro supposito ... repetuntur. Theoria motus abstracti ...* 12°, Moguntiae 1671.

²⁴ Vgl. J. O. FLECKENSTEIN, *The line of descent of the infinitesimal calculus in the history of ideas*, Arch. Internat. Hist. Sciences, n° 12, p. 542–54 (1950).

die entsprechenden Kontinua erzeugen²⁴. Indem NEWTON den Zeitparameter in die Physik einführt – in seiner privaten Metaphysik sogar zur «vita divina» entsprechend dem Raum als «Sensorium dei» substanzialisiert – gelingt ihm die mathematische Fixierung der GALILEISCHEN Geschwindigkeit als Fluxion und der Kraft als Fluxion einer Fluxion in seinem bezeichnenderweise «Calculus of Fluxions» genannten Infinitesimalkalkül²⁵.

Noch aber bestimmte bei NEWTON der physikalische Inhalt die Form des Kalküls. Vollendet ist ein solcher erst, wenn er auch losgelöst von allen zufälligen Inhalten der Rechenoperationen seinen logischen Sinn beibehält, wie etwa bei den einfachsten Operationen der Addition und Multiplikation.

Die Entdeckung, daß auch ein physikalischer Kalkül nur den Sonderfall eines allgemeinen logischen Kalküls darstellt, war nur von einem Philosophen zu machen, und nicht von einem Fachmathematiker des 17. Jahrhunderts. Sie mußte geradezu mit Notwendigkeit einem Philosophen zufallen, welcher, selber noch in der traditionellen Logik stehend, in den dynamischen Grundbegriffen GALILEIS einerseits das *inhaltliche* und in der Relationslogik des DESCARTES andererseits das *formale* Motiv erspähte, welche beide bisher voneinander isoliert, das traditionelle prädikative Denken der Scholastik abzulösen begonnen hatten. Nur die Synthese dieser beiden Motive in ihrer Reinheit, indem die GALILEISCHEN Vorstellungen von den Schlacken der Indivisiblenmethoden befreit und die Cartesische Logik der Relationen des Diskreten zur LEIBNIZSCHEN Mathematik der Funktionen des Kontinuierlichen weitergetrieben wird, *kann* zur Erfindung desjenigen Kalküls führen, der, weil er mit variablen Größen rechnet, das begriffliche Handwerkszeug der exakten Wissenschaften der Neuzeit abgibt. Diese Synthese aber *muß* zur Schöpfung des gesuchten neuen Kalküls führen, wenn an der entscheidenden Stelle der dialektischen Krisis des Differentialquotienten als des Quotienten zweier Nullgrößen der methodische Impuls des DESCARTES vom Primat der formalen Relationen vor den inhaltlichen Subjekten zum vollen Durchbruch kommt, indem das diesen Impuls hemmende Cartesische Dogma vom Extensiven fallengelassen wird.

Zu diesem Abenteuer, um den Preis des «klaren und deutlichen» Extensivums, das Erfassen des verworrenen Inextensiven zu wagen, wurde

²⁵ JAMES GREGORY hatte in Italien an Ort und Stelle die Infinitesimalverfahren der Florentiner kennengelernt. Es ist möglich, daß er die Ideen einer Kalkülisierung des spätscholastischen Fluxusbegriffes nach England gebracht hat.

LEIBNIZ durch eine Figur in den nachgelassenen Papieren PASCALS verleitet²⁶ (Abb. 4). In jenem «*triangulum characteristicum*» trat die Konstanz der Quotientenrelation so sinnfällig hervor, daß die Postulierung derselben auch für den Grenzfall, wo die Subjekte als cartesische Extensiva sinnlos werden, einem LEIBNIZ nur selbstverständlich erscheinen muß, der früher in der *Ars combinatoria* die Kombinatorik als einen neuen Kalkül mit Anordnungen bzw. Relationen – statt mit bloßen Dingen bzw. Subjekten – erfunden hatte. Kann auch DESCARTES zwischen den Nullextensiva keine Relation mehr setzen, so nimmt LEIBNIZ diese Relation auch leer von allem Extensiven an und erweckt metaphysisch die Differentiale als inextensive, aber intensive und darum die Physik des Kontinuierlichen abbildende logische Subjekte der Relation zu neuem Leben²⁷.

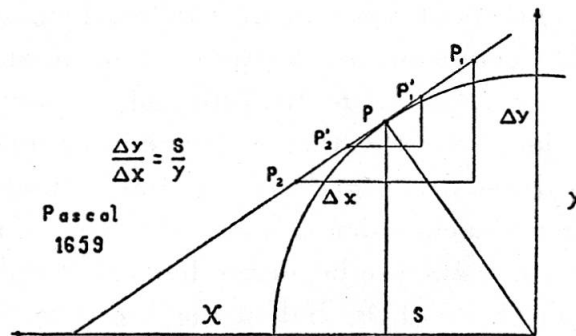


Abb. 4

Post festum freilich kann, wenn einmal der Differentialquotient erfunden worden ist, auch seine cartesische Rechtfertigung erfolgen.

²⁶ LEIBNIZ sagt später selber, daß ihn «une lumière que l'auteur n'avait point vue» erleuchtete (*Fragment destiné au Marquis de l'Hôpital*, LEIBNIZ, M. II, 259). Er bemerkte nämlich, daß die PASCALSche Beziehung der Ähnlichkeit der Seiten des unendlich kleinen Dreiecks zu dem konstanten Dreieck aus Ordinate, Normalen und Subnormalen nicht nur für den Kreis, wie klein auch die Seiten werden mögen, sondern für alle Kurven gilt. Da sich dann aber von Punkt zu Punkt dieses Dreieck aus Normalen, Subnormalen und Ordinate in einer für den Verlauf der Kurve charakteristischen Weise ändert, so kann das infinitesimale Dreieck als das «*triangulum characteristicum*» aufgefaßt werden.

²⁷ Kraft des Primats der Relation vor den relationierenden Subjekten werden einfach die Subjekte geändert, damit die Relation erhalten bleiben kann. Die extensiven Nullen werden zu intensiven Monaden verwandelt. So wie das Indivisibel zum Differential geworden ist, so transformiert sich in der LEIBNIZschen Metaphysik die «*Forma substantialis*» in die Monade. Sie entspringt dem Versuch, den Begriff der Veränderung substanzial und funktionell zugleich zu fassen.

Es genügt, das Cartesische Extensivum hinreichend zu verfeinern – wie schon in der Metaphysik MALEBRANCHE früher die «Etendue» soweit differenziert hatte, daß sich der französische Spätcartesianismus den LEIBNIZschen Ideen öffnen konnte. Es ist bemerkenswert, daß JOHANN BERNOULLI nur im Kreise der Mathematiker um MALEBRANCHE Adepten des neuen Kalküls fand, während die anderen Akademiker ihn nicht nur ablehnten, sondern über ein Jahrzehnt im Schoße der Akademie offen bekämpften²⁸. Erst mit CAUCHY wird wiederum das Differential «klar und deutlich» als Extensivum erfaßt. Als ob gleichsam der Cartesische Genius der Klarheit und Methode sich zäher erweise als der LEIBNIZsche Genius der Fruchtbarkeit und Spekulation.

Überall dort, wo nicht gerade das Differentiell-Kontinuierliche dem grobmaschigen Netz des Extensivum entwischt, feiert DESCARTES schon zu Lebzeiten mit seiner Methode Triumphe. Scheint er bei erstem Zusehen nur die Scholastik geometrisiert zu haben, so erkennt der Historiker in seinem Analogieverfahren die Keime echter naturwissenschaftlicher Methodik, welche deduktiv und induktiv zugleich vorangeht. Weder die apriorische Methode der Scholastik noch die unvermittelte Beobachtung kann bei der Ableitung des Brechungsgesetzes zum Ziele führen. Erst die Erfahrung zeigt, daß aus dem komplexen Fall aller Einzelbedingungen die Dichtigkeit der Medien zu berücksichtigen ist²⁹. Das scheinbar einfache Problem löst sich in ein Geflecht mannigfach versponnener Einzelfäden auf, deren jeder erst gesondert für sich aufgerollt werden muß. Erst wenn die logische Struktur des Problems klar erkannt ist, kann die Erfahrung herangezogen werden, weil die vorherige gedankliche Zerfällung in die Teilbedingungen zeigt, an welchem Punkt das Experiment angesetzt werden

²⁸ Der Marquis de l'Hôpital, welcher das erste Lehrbuch der Differentialrechnung verfaßte, war ein begeisterter Anhänger und VARIGNON ein Konfrater MALEBRANCHES. Beide verstanden als Spätcartesianer den metaphysischen Hintergrund des LEIBNIZschen Infinitesimalkalküls nicht. Der Marquis nennt den Kalkül in seinem Werk bezeichnenderweise den «Calcul des differences». Selbst ihr Meister JOHANN BERNOULLI, kann sich nicht ganz von der Vorstellung des Differentials als eines hinreichend kleinen Extensivums befreien. Damit mußte der neue Kalkül notwendigerweise mit dem «Prinzip des relativen Verschwindens der Größen höherer Ordnung gegeneinander» gerechtfertigt werden, so daß der Unterschied zu NEWTONS Kalkül in der Tat schließlich nur ein formeller wurde. In der Akademiediskussion kann VARIGNON gegenüber den anderen Cartesianern den LEIBNIZschen Kalkül nur mit dem Hinweis auf den praktischen Erfolg desselben verteidigen.

²⁹ *La Dioptrique* (Discours 1 et 2), Leiden 1637.

muß. In dem Buch über die *Meteore*³⁰ geht DESCARTES von der Erfahrungstatsache aus, daß die Bedingungen des Regenbogens nicht nur am unzugänglichen Himmel, sondern überall dort gegeben sind, wo, wie beim Springbrunnen, ein Zusammenspiel von Lichtstrahlen und Wassertropfen stattfindet. Die Überlegung, daß die absolute Größe der runden Tropfen für die Erscheinung nicht entscheidend ist, führt ihn dazu, nicht den Regenbogen selber, sondern erst ein Modell zu untersuchen, an welchem alle Einzelphasen und Bedingungen des Problems studiert werden können. Er greift zum Experiment und beobachtet an einer mit Wasser gefüllten Glaskugel die Erscheinungen des durchgehenden Lichtstrahls.

Mögen auch die zeitgenössischen Mathematiker und Physiker unseren Denker an Einzelleistungen übertroffen haben – er bemühte sich um das Wissen, warum man solche erzielen kann. Ihn interessierten die Teilgebiete der Forschung nur als Illustration seiner allgemeinen Methode. Ihm war das Wissen selber zum Problem der Wahrheit geworden. Die «Methode» war seit der Renaissance ein Schlagwort der neuen Wissenschaft gewesen. Aber bei GIORDANO BRUNO ist sie nur ein Mittel nach Art der sagenhaften LULLISCHEN Kunst, die Unendlichkeit der Wissensfülle in ein Mosaik symbolischer Schemata zusammenzufassen und so für das Gedächtnis aufzupräparieren. Und so sehr FRANCIS BACON ihr scheinbar nur die Aufgabe stellt, das empirische Material systematisch zu sammeln, so soll sie doch zuletzt bloß zur Entdeckung der scholastischen «Formae substantiales» des «verborgenen Prozesses» dienen. Nicht, indem er die Methode als Ziel seines Denkens, sondern indem er in ihr eine neue Aufgabe erblickt, ist DESCARTES zum Reformator der Wissenschaft geworden. Denn nicht zu einer deskriptiven Klassifikation, sondern zu den Grundbegriffen des Verstandes soll die Methode führen, in deren konstante Formen der wechselnde Gehalt der einzelwissenschaftlichen Empirie eingegossen werden kann. Nicht mehr das «Was» des besonderen Inhaltes eines Gedankens, sondern das «Wie» der logischen Notwendigkeit, mit welcher er aus letzten Grundsätzen in deduktiver Folge herleitbar ist, soll fortan über seinen Erkenntniswert entscheiden.

Die Mathematik besitzt diese Methode: Was immer Gegenstand ihrer Erkenntnis werden kann, untersteht der Bedingung der stetigen Verknüpfung in einer geschlossenen Gedankenfolge. Die Zahlenreihe aber ist nur ihr einfachstes Beispiel einer nach einem einheitlichen Gesetz geordneten

³⁰ Les *Meteores*, (Discours 8), Leiden 1637.

Folge. Die analytische Geometrie, welche der Mannigfaltigkeit von Punkten mittels der Koordinatenachsen Zahlen zuordnet, ist also die erste «spontane Frucht der eingeborenen Prinzipien der Methode» (Regula IV).

Sowenig das Licht der Sonne von den vielerlei Dingen, die es erleuchtet, eine innere Veränderung erfährt (PLOTIN), sowenig kann das Wesen der einen wissenschaftlichen Methode durch die inhaltliche Verschiedenheit der Gegenstände, auf die sie angewendet wird, beeinflußt werden. «Les sciences portent le masque: si on le leur ôtait, elles apparaîtraient dans toute leur beauté. Pour celui qui voit à fond leur enchaînement, il ne sera pas plus difficile de les conserver dans sa mémoire que d'y retenir la série des nombres», schreibt der jugendliche Denker in sein Tagebuch. Die Aufgabe des Philosophen ist es, unter den verschiedenen Masken, zu denen die Fachwissenschaften durch den jeweiligen Gegenstand ihres Forschens erstarrt sind, das gemeinsame Gesicht der Einheit der Methode zu erkennen.

Das Sonnengleichnis des PLOTIN, welches DESCARTES oft zitiert, scheint zugleich aber auch ihn selbst zu charakterisieren. In dem weltanschaulichen Taumel der beginnenden Neuzeit stürzte er sich nicht in das Tummelfeld der Empirie, welches zunächst als einziger Quell sicheren Wissens nach dem Zusammenbruch des mittelalterlichen Weltbildes übrigzubleiben schien, sondern zog sich auf das einsame Denken zurück, um in ihm selber die Kriterien von Wahr und Falsch zu entdecken. Denn die Vielheit der Dinge ist unendlich und unfaßbar, die Grenzen und die Leistungsfähigkeit des Verstandes aber sind von der Vernunft bestimmbar. Die bunte Mannigfaltigkeit der sinnlichen Wahrnehmungen der Außenwelt des Ausgedehnten dient nur dazu, die immer gleichen, klaren und deutlichen eingeborenen Ideen aus der Innenwelt des Bewußtseins hervorzulocken. Die Fülle der Empirie wird diesem Denker nur zum Spiegel der Gesetze des menschlichen Verstandes. Trotz aller persönlichen Isolation von seinen Zeitgenossen, vereinigen sich in DESCARTES die Strömungen und Tendenzen des neuzeitlichen Denkens bewußt; die Analyse des Erkenntnisproblems der modernen exakten Wissenschaften muß deshalb von ihm ihren Ausgangspunkt nehmen.