

Bild- und Weltbildaspekte der analytischen Mechanik und Himmelsmechanik

JÖRN HENRICH

Die Philosophie hat sich seit der Antike auf sprachliches Wissen und den Umgang mit ihm konzentriert. Die Gründe dafür sind mannigfaltig. Mit der kategorialen Syllogistik von Aristoteles war das Verhältnis von Argumentation, Beweis, Erkenntnis und Wissen aufs Engste miteinander verknüpft. Die Axiomatik der Elemente Euklids entwickelte sich in der Neuzeit zum Leitbild: In den Naturwissenschaften wurde sie zur Strukturvorgabe von Theorien (Galilei, Newton, Euler), im Rationalismus etablierte sich die logische Deduktion zur *conditio sine qua non* von gesicherter Erkenntnis (Descartes). Für das Verständnis der Geschichte des Rückgangs von Visualisierungen, insbesondere des Rückgangs von Weltbildern, ist die Entwicklung der Mathematik und der Naturwissenschaften von höherer Bedeutung als die Philosophiegeschichte: Über die Handhabung von Bildern in den Wissenschaften wurde weitgehend unabhängig von zeitgenössischen philosophischen Strömungen entschieden; der Umgang mit Bildern folgte der wissenschaftlichen Praxis und deren Bedürfnissen.

Die Bildwissenschaft hat zu ihrem Gegenstand ein vielleicht zu wohlwollendes Verhältnis. Es fehlt das Wissen um die Gründe des kurzzeitigen Verlustes von Visualisierungen in den Wissenschaften des 18. Jahrhunderts, der sich aber bis heute auf Lehrbücher und die Auffassungen von Wissenschaften auswirkt, und zwar durch die Tradition der quantitativen Wissenschaften und die Wissenschaftstheorie vermittelt¹. Auch fehlt das Wissen darum, daß Mathematik und Physik der Unabhängigkeit von der Anschauung erst viele ihrer Erfolge zu verdanken haben. Die Kenntnis der historischen Gründe, die zur Suspendierung von Bildern als Erkenntnismittel geführt haben, ist für die systematische Erörterung der Grenzen von Bildern gewinnbringend. Immerhin ist der Rationalismus sowohl in der Philosophie- als auch in der Wissenschaftsgeschichte eine der wichtigsten Geisteshaltungen, der Unschätzbare nicht nur für die Wissenschaften, sondern auch für die aufgeklärte Kultur zu verdanken ist.

Die wissenschaftliche Disziplin, die wie keine andere die Themenbereiche Anschauung, Visualisierung und Weltbild berührt, ist die Astronomie. Sie bestand bis zur Begründung der Astrophotographie durch

¹ Mathematik und Logik sind über einen langen Zeitraum relativ bildarm, um nicht zu sagen bildfeindlich, Wissenschaften gewesen. (Vgl. P. Schreiber, *Mathematik und Logik*, in: *Bildwissenschaft. Disziplinen, Themen, Methoden*, hg. v. K. Sachs-Hombach, stw 1751, Frankfurt am Main 2005, 68–78, hier 68.)

John Herschel (ca. 1840) und der Entwicklung der Spektralanalyse durch Kirchhoff und Bunsen (ca. 1859/60) ausschließlich in der Himmelsmechanik. Erst dann verließ sie ihre thematische Beschränkung und erschloß das Feld der Astrophysik². Die Bild- und Weltbildgeschichte der wissenschaftlichen Astronomie im 18. Jahrhundert ist die Geschichte des Verlusts von Visualisierungen in der Himmelsmechanik. Die Systematik dieser Verlustgeschichte ist komplex: Physikalische, naturphilosophische, methodische und wissenschaftstheoretische Aspekte gehen in den Prozeß der Entvisualisierung der Himmelsmechanik ein. Darauf reagierten die romantischen Philosophen bei der Ausgestaltung der Anschauung als Erkenntnisprinzip und des Weltbildbegriffs, was Gegenstand des Beitrags von Johannes Zachhuber im vorliegenden Band ist.

Ich möchte in diesem Beitrag zunächst die Gründe für den Anschauungs- und Visualisierungsverlust in der analytischen Mechanik und seine Geschichte aufzeigen und dann darstellen, wie sich die analytische Methode auf Laplace' Philosophie der Astronomie auswirkt. Ein abschließendes Kapitel deutet auf die Rezeption der analytischen Methode in der Weltanschauungsphilosophie hin.

Die Entvisualisierung der Mechanik

Die Geschichte der Entvisualisierung der Mechanik hat ihren Anfang bei Galilei und Kepler; sie haben die Bahnen fallender Körper und Planeten mit Kegelschnitten identifiziert. Methodisch ist bedeutend, daß Galilei mit den Discorsi den Grundstein für die neuzeitliche Axiomatisierung der Mechanik legt. Worum es inhaltlich geht, sind funktionale Zusammenhänge, die sich nicht im naiven Sinn beobachten lassen. Galileis Fallgesetz besagt, daß die Fallstrecke proportional zum Quadrat der Zeit wächst: $s \sim t^2$ (Abb. 1).

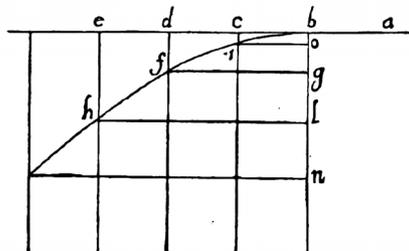


Abb. 1: Galileis Skizze zur Fallparabel³

² Siehe B. Kanitscheider, *Kosmologie*, Stuttgart 1991, 132.

³ G. Galilei, *Discorsi e Dimostrazioni matematiche, intorno à due nuove scienze Attenenti alla Mecanica & i Movimenti Locali*, Leiden 1638, 242.

Bei Apollonios von Perga (ca. 262–190) war die Parabel noch der Schnitt eines Kegels mit einer Ebene, bei Galilei ist die Parabel die nachgezeichnete Bewegung eines Punktes, bei der auf einer Koordinatenachse die Zeit aufgetragen ist. Nun können wir aber weder die Zeit oder deren Quadrat sehen, noch ist es möglich, einen Strich von einem Zeitpunkt t^1 bis zum Zeitpunkt t^2 zu ziehen; der Zeitstrahl hat kein empirisches Korrelat. Galilei belegt die eine Dimension des Koordinatensystems mit der Zeit, die andere mit der Strecke. Daß die Parabel des Strecken-Zeit-Diagramms mit der Wurfparabel geometrisch übereinstimmen kann, – es gehen Faktoren wie Anfangsgeschwindigkeit, Luftwiderstand etc. in die Wurfgleichungen ein, – liegt daran, daß sich der waagerechte Wurf aus gleichförmiger Translationsbewegung in x-Richtung und dem freien Fall in y-Richtung zusammensetzt. Ein in seiner Trägheitsbewegung ungestörter Körper gäbe ein ideales Maß der Zeit ab; einen solchen Körper gibt es aber nicht. Galileis Verdienst besteht darin, daß er gezeigt hat, wie sich ein Körper bewegen würde, wenn er idealen Bedingungen unterstünde.

Descartes hat 1637 die analytische Geometrie begründet. Er führt in seiner Geometrie die Geometrie auf die Algebra zurück. Der Schritt war für die Methodenentwicklung der Mathematik und Physik äußerst folgenreich; in der Erstveröffentlichung ist die Geometrie in den *Discours de la Méthode* integriert. Zur Beschreibung einer Ellipse benötigt man keine Konstruktionsanweisung mit einem Kegel und einer Ebene, sondern der analytische Zusammenhang begründet ihre Form. Diese Begründungsabhängigkeit wurde nicht immer so gesehen. Die entgegengesetzte Auffassung der Priorität der Geometrie gegenüber der Arithmetik kam in der Antike dadurch zustande, daß es irrationale Verhältnisse wie Seite/Diagonale im Pentagramm oder im Quadrat gibt, die sich geometrisch, nicht aber arithmetisch darstellen lassen.

Eine so grundlegende wissenschaftliche und methodische Veränderung benötigt zur Etablierung Zeit. Diese Zeit war das 18. Jahrhundert. Newton hatte zuvor in den *Philosophiae naturalis principia mathematica* die geometrische Begründung der Dynamik geleistet. In der Wissenschaftsgeschichte berühmt ist sein geometrisches Verfahren der Ermittlung von Zentralkräften (Abb. 2).

Doch auch bei Newton wird die Anschauung induzierten Prinzipien untergeordnet. Das erste Newtonsche Axiom, das Trägheitsprinzip, besagt, daß eine isolierte Masse ewig in ihrem gleichförmigen Bewegungszustand verharrt, wenn nicht eine Kraft auf sie einwirkt. Das Trägheitsprinzip, oder genauer: eine absolute Trägheitsbewegung, läßt sich nicht beobachten, dennoch stellt Newton es an den Anfang der *Principia*. Wir haben uns an den Trägheitsbegriff gewöhnt, doch die Aristotelische Auffassung, dergemäß der natürliche Zustand eines Körpers die Ruhe

vorweggenommen habe⁶. Auch der *Traité de Dynamique* von 1758 kommt prinzipiell ohne Visualisierungen aus. Am Ende des *Traité* gibt es noch fünf Seiten mit erläuternden Skizzen, sie sind aber kein unabdingbarer Bestandteil der Beweisführung. D'Alembert behandelt in der Einleitung des *Traité* die Preisfrage der Preußischen Akademie, ob die Gesetze der Statik und der Mechanik notwendig oder kontingent sind. Diese Frage allein zeigt, daß die Methodenentwicklung der neuzeitlichen Mechanik von Aristoteles' Ontologie und Syllogistik abhängt, die von Bildverfahren grundsätzlich unabhängig sind, auch wenn sie sich durch Diagramme darstellen lassen und dargestellt wurden.

Lagrange setzt das Programm der anschauungsunabhängigen Mechanik als erster radikal um. Die *Mécanique analytique* (1788) ist ausschließlich in algebraischer Form ausgestaltet: *réduire la théorie de la Mécanique à des formules générales*. Das führt zu einer Zielsetzung, die widersprüchlich anmutet: eine Mechanik entwickeln, die frei von mechanischen Überlegungen ist: »On ne trouvera point de Figures dans cet Ouvrage. Les méthodes que j'y expose ne demandent ni constructions, ni raisonnemens géométriques ou mécaniques, mais seulement des opérations algébriques [...]«⁷

Die *Mécanique analytique* zeigt, daß eine Beschränkung auf die analytische Methode letztlich eine Frage des wissenschaftlichen Geschmacks ist: »Ceux qui aiment l'Analyse, verront avec plaisir la Mécanique en devenir une nouvelle branche, & me sauront gré d'en avoir étendu ainsi le domaine.«⁸ In der Philosophiegeschichtsschreibung werden Geschmacksfragen selten gestellt, da Geschmack kein seriöses Kriterium ist. Bei der Frage nach den Gründen des Visualisierungsverlusts in der Mechanik ist er vielleicht zentral. Niemand verbietet Lagrange, wie Euler und d'Alembert Graphiken zu verwenden, die Aufgabe der rationalen Mechanik bestand aber im Ausbau der Unabhängigkeit von der Anschauung. Genau das – die methodische Strenge, die Trockenheit und die Ferne zur Anschauung – wird in der Rezeption der Naturwissenschaft zum Vorwurf.

Die analytische Methode ist durch die Überwindung der Anschauung äußerst erfolgreich gewesen, doch hat sie die zentrale Frage der qualitativen Mechanik nicht berücksichtigt. Seit Galilei geht die Mathematisierung der Mechanik mit einer Suspendierung der Erklärung der Mechanismen der Kraftübertragung einher; die Cartesianer stellen hier den Gegenpol dar. Die Frage nach den Wirkungsmechanismen der Gravitationskraft ist ein so großes Problem, daß es bei der analytischen Methode schlichtweg außen vor gelassen wird. Zu welchen metaphy-

6 »D'Alembert was clearly a precursor of positivistic science.« (J. Morton Briggs, *Alembert*, in: *DSB*, Bd. I, New York 1970, 112.)

7 J.L. Lagrange, *Mécanique Analytique*, Paris 1788, vi.

8 J.L. Lagrange, *Mécanique analytique* (wie Anm. 7), vi.

sischen Verlusten das führt, verdeutlicht das Beispiel der Kraft: In der vorklassischen Mechanik wurde der Kraftbegriff mit zahlreichen außerwissenschaftlichen, z.B. theologischen, teleologischen, animistischen oder spirituellen Konnotationen versehen⁹. Leibniz und Newton sind beide noch vom Aristotelismus beeinflusst. Für Newton ist Kraft nicht nur die Ursache von Bewegung oder Beschleunigung, sondern auch das Prinzip ihrer Aufrechterhaltung. Eine solche Definition ist als Zugeständnis zur »vorgalileischen« Mechanik zu sehen, in der Dynamis eine duale Natur hat, »an active one insofar as it affects other objects, and a passive one as susceptible of external changes«¹⁰. Diese Definitionen haben ihre konzeptuelle Grundlegung im Dynamisbegriff in Aristoteles' Metaphysik, IX 1. Dort bestimmt Aristoteles δύναμις als ἀρχὴ μεταβολῆς ἐν ἄλλῳ ἢ ἢ ἄλλο¹¹, das heißt als Anfang oder Prinzip der Veränderung in einem anderen oder als ein anderes: Der Umstand, daß ein Körper eine Veränderung erfahren kann, wird als eine δύναμις verstanden, wobei der Begriff darauf nicht beschränkt ist und als frühes Stadium des Kraftbegriffs den weiten Umfang in die Mechanik transportiert hat. In der analytischen Mechanik wird dagegen die Kraft auf einen Vektor oder eine Größe reduziert: »En prenant une force quelconque, ou son effet pour l'unité, l'expression de toute autre force n'est plus qu'un rapport, une quantité mathématique qui peut être représentée par des nombres ou des lignes; c'est sous ce point de vue que l'on doit considérer les forces dans la Mécanique.«¹²

Ein Kraftvektor in einem dreidimensionalen Koordinatensystem stimmt praktisch nie mit der tatsächlich vorliegenden Kraft überein, was für Berechnungen aber völlig unerheblich ist. Kräfte werden in einem rechtwinkligen Koordinatensystem durch drei zu den Achsen parallele Vektoren dargestellt. Welcher Art die vorliegende Kraft ist, sie kann z.B. die Summe aus mehreren Kräften sein, ist gleichgültig. In der analytischen Mechanik sind nur die Richtung und der Betrag von Interesse. Das Erkenntnisziel hat sich vom Aristotelismus zum Cartesianismus und zur analytischen Mechanik gewandelt: Es verschiebt sich vom qualitativen zum quantitativen Schwerpunkt, bzw. von der Metaphysik zur mathematischen Naturwissenschaft.

Das Weltsystem von Laplace

Der bedeutendste Astronom des 18. Jahrhunderts ist Pierre Simon Laplace. Die paradigmatische Schrift wissenschaftlicher Weltentwürfe ist seine *Exposition du système du monde*. Die Exposition ist in erster Auflage

9 Siehe M. Jammer, *Concepts of Force*, S. vi.

10 M. Jammer, *Concepts of Force* (wie Anm. 9), 120.

11 Aristoteles, *Metaphysik*, Bd. 2, Hamburg 1991, Buch IX, 1, 1046a, 10–11.

12 J.L. Lagrange, *Mécanique analytique* (wie Anm. 7), 2.

1796 erschienen; 1797 veröffentlichte Johann Karl Friedrich Hauff eine Übersetzung unter dem Titel: *Darstellung des Weltsystems*. Die Philosophen in Deutschland haben Laplace wahrgenommen, was sich philologisch anhand von Schleiermacher oder Hegel nachweisen läßt. Herder nennt ihn den »Newton unsrer Zeit«¹³.

Die *Exposition du système du monde* bietet eine philosophische Interpretation der Himmelsmechanik; zu ihr hat Laplace in der fünfbändigen *Mécanique céleste* wichtigste Beiträge geleistet, und zwar durch die Anwendung der analytischen Mechanik auf Planetenbewegungen. Der Systembegriff im *Système du monde* erhält keine weitere Spezifizierung. Er steht für das Gesamte aus Planetenbewegung, Bewegungsgesetzen und dem Gravitationsgesetz, wobei Laplace eine realistische Beschreibung und Erklärung anvisiert. Der Streit um konkurrierende Weltsysteme ist entschieden¹⁴. Im Groben geht es um die Theorie planetarer Störungen. Die bedeutendste Störung ist die Jupiter-Saturn-Ungleichheit, die durch Kepler bekannt wurde. Das Sonnensystem weist Schwankungen auf und mußte aufgrund der Störungen neu verstanden werden. Die alte Annahme der Stabilität und Gleichförmigkeit konnte nicht aufrecht gehalten werden. Clarke und Leibniz führten darüber die philosophische Debatte. Newton sagte durch Clarke vermittelt, daß Gott gelegentlich den Kosmos wieder einrichte, wogegen Leibniz die Auffassung des perfekten kosmischen Uhrwerks vertritt. Die wissenschaftliche Debatte machte die Stabilität des Sonnensystems zur zentralen Aufgabe der Kosmologie im 18. Jahrhundert. Laplace konnte nachweisen, daß die Störungen säkular sind und um Mittelwerte schwanken, wozu eine erhebliche Niveauerhöhung der Himmelsmechanik erforderlich war. Er berücksichtigt Veränderungen der Exzentrizität der Planetenbahnen, die Planetenformen und beider Auswirkungen auf die gravitative Wechselwirkung zwischen den Planeten. Das Sonnensystem sei perfekt. Laplace sagt nicht, daß Leibniz recht hatte, es läuft aber darauf hinaus.

Auch für Laplace gilt, daß die Beurteilung der Anschauung negativ ausfällt: Erstens leite sie fehl, wie die lange Geschichte der Geozentrik verdeutliche: »Ainsi l'Astronomie s'est élevée à travers les illusions des sens, et ce n'a été qu'après les avoir dissipées par un grand nombre

13 J.G. Herder, Gott. Einige Gespräche über Spinoza's System nebst Shaftesbury's Naturhymnus, 2. Auflage, zitiert nach: Sämtliche Werke, hg. v. B. Suphan, Band 16, Berlin 1887, ND Hildesheim 1994, 473.

14 Richard Schröder weist darauf hin, daß sich »die Bedeutung des Wortes systema in der neuzeitlichen Kosmologie von der Seite des Gegebenen auf die Seite der (Re-)Konstruktion des Gegebenen« verschiebt. (R. Schröder, »Du hast die Welt nach Maß, Zahl und Gewicht geordnet.« Über einen Konsens im astronomischen Weltbildstreit des 16. und 17. Jahrhunderts, in: I.U. Dalferth/J. Fischer/H.-P. Großhans (Hgg.), Denkwürdiges Geheimnis. Beiträge zur Gotteslehre. FS Jüngel, Tübingen 2004, 479–506, hier 484.)

d'observations et de calculs que l'homme enfin a reconnu les mouvements du globe qu'il habite et sa vraie position dans l'univers.«¹⁵In der Korrektur der Fehlleitung der Sinne bestehe die Aufgabe der Astronomie.

Zweitens sei die unmittelbare Betrachtung für die astronomische Arbeit unnötig. Ein einzelner Mensch könne gar nicht den erforderlichen ›grand nombre d'observations‹ leisten, und für die Berechnungen der Planetenbewegung genüge das Studium der Kataloge. Auch ohne eigene sinnliche Eindrücke lassen sich Aussagen über das Weltsystem herleiten, wie Laplace im Fall der himmelsmechanischen Bestimmung der Polabplattung der Erde betont: »Il est très remarquables qu'un Astronome, sans sortir de son observatoire, en comparant seulement ses observations à l'Analyse, eut pu déterminer exactement la grandeur et l'aplatissement de la Terre, et sa distance au Soleil et à la Lune, éléments dont la connaissance à été le fruit de longs et pénibles voyages dans les deux hémisphères.«¹⁶

Laplace setzt das Theorienideal der Analyse in der *Exposition du système du monde* und der *Mécanique céleste* um; in den sechs Bänden kommt nicht eine einzige Abbildung vor. Zu welchem Weltbild führt eine analytische Methode, in der die Wahrnehmung auf die Ermittlung von Planetenkoordinaten beschränkt ist, die ausschließlich auf planetare Bewegungsgesetze abzielt und aus der Visualisierungen ausgeschlossen sind? Durch Laplace verändert sich das Weltbild zu einem Geflecht funktionaler Abhängigkeiten. Naturphilosophische Folgen sind:

1. *Determinismus*: Das Weltsystem wird auf gravitativ interagierende Materieteilchen beschränkt. Relevant sind ausschließlich Bewegungsgesetze und Initialbedingungen. Neben den mechanischen Ursachen gibt es keine weiteren, und darüber hinaus gehende Naturauffassungen sind wissenschaftlich indiskutabel. Die differentielle Betrachtungsweise umfaßt die Natur dadurch, daß der Übergang von einem Zustand zum nachfolgenden eindeutig berechnet werden kann. Das erkenntnistheoretische Fazit, das Laplace aus der Berechenbarkeit des Bewegungsverhaltens von Planeten durch Differentialgleichungen zieht, ist der häufig erwähnte Laplacesche Geist: »Une intelligence qui, pour un instant donné, connaît toutes les forces dont la nature est animée et la situation respective des êtres qui la composent, si d'ailleurs elle était assez vaste pour soumettre ces données à l'Analyse, embrasserait dans la même formule les mouvements des plus grands corps de l'univers et ceux du plus léger

15 P.S. Laplace, *Exposition du système du monde*, *Système du monde* in: *Œuvres Complètes*, Ausgabe der Académie des sciences, 14 Bände, Paris 1878–1912, hier Bd. 6, 114.

16 P.S. Laplace, *Système du monde* (wie Anm. 15), 252.

atome: rien ne serait incertain pour elle, et l'avenir, comme le passé, serait présente à ses yeux.«¹⁷

Zwecks einer angemessenen wissenschaftshistorischen Beurteilung der analytischen Methode ist zu bemerken, daß am Ende des 18. und zu Beginn des 19. Jahrhunderts die Himmelsmechanik eine der leistungsfähigsten Disziplinen war, wobei Leistungsfähigkeit an der Prognosefähigkeit gemessen wurde. Es gab keinen anderen Bereich, der hinsichtlich des Erfolgs und der Geschlossenheit der Himmelsmechanik auch nur annähernd entsprach.

2. *Metaphysikkritik und die Metaphysikfreiheit der Himmelsmechanik*: Laplace baut die Metaphysikferne der analytischen Mechanik zu einer weltsystematischen Metaphysikfeindlichkeit aus: Gott und Zweckmäßigkeiten dürfen in der Astronomie keine Rolle mehr spielen. Dabei geht es nicht nur um scholastischen Aristotelismus, sondern auch um neuzeitliche Teleologie. Der Grund für die Übernahme der Geisteshaltung der Mechaniker für den Kosmologen Laplace liegt in der Identität der grundlegenden Prinzipien. Es gab seit Aristoteles Versuche, die Trennung in sub- und translunare Physik zu ersetzen. Descartes macht dies durch die Wirbeltheorie in den *Principia Philosophiae*, Newton durch die Theorie der universellen Attraktion.

Ein Beispiel für die metaphysische Verwertung der analytischen Mechanik in Laplace' Weltsystem ist die Diskussion der teleologischen Deutung des Prinzips der kleinsten Wirkung. Es gibt Differential- und Integralprinzipien: Differentialprinzipien der Mechanik beschreiben den differentiellen Verlauf einer Bewegung, Integralprinzipien die Bewegung als Ganze. Das Prinzip der kleinsten Wirkung ist ein Integralprinzip und wurde von Maupertuis metaphysisch als Ökonomieprinzip der Natur vorbereitet und von Euler analytisch formuliert. Wie es zu verstehen ist, hängt davon ab, ob man der Mechanik theologische Relevanz zubilligt. Die historischen Sichtweisen sind durch die ursprüngliche Fragestellung, das Brachystochronenproblem, beeinflusst: Welche Kurve zwischen zwei Punkten A und B führt dazu, daß eine Kugel nur durch ihre Schwere beschleunigt die Strecke in kürzester Zeit durchläuft (Abb. 3)?

17 P.S. Laplace, *Œuvres Complètes* (wie Anm. 15), Bd. 7, S. vii. Das ist auch die Erkenntnishaltung in der *Exposition du système du monde*.

- »Alors on pourra remonter par la pensée aux changements successifs que le système planétaire a éprouvés; on pourra prévoir ceux que les siècles à venir offriront aux observateurs, et le géomètre embrassera d'un coup d'œil dans ses formules tous les états passés et futurs de ce système.« (P.S. Laplace, *Système du monde* (wie Anm. 15), 217)
- »Ces lois [les lois de la nature], en embrassant l'univers, dévoilent à nos yeux ses états passés et à venir« (P.S. Laplace, *Système du monde* (wie Anm. 15), 466).

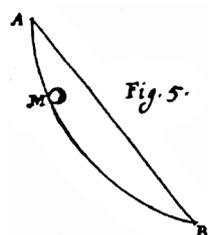


Abb. 3: Johann Bernoullis Skizze zum Brachystochronenproblem

Im Fall des Brachystochronenproblems ist die Antwort die Zykloide. Sämtliche alternativen Kurven unterscheiden sich von der Zykloide dadurch, daß deren Integrale $\int m \cdot v \cdot dt$ einen höheren Betrag annehmen würden, bzw. $\int m \cdot v \cdot dt$ hat einen Minimalwert. Die zweite Sichtweise ergibt sich aus den Differentialgleichungen. Was läßt sich über den Gesamtverlauf einer Bewegung sagen, die durch differentielle Bewegungsgleichungen bestimmt ist? Das Ergebnis ist das gleiche. Beim Prinzip der kleinsten Wirkung geht es nicht um das Zeit-, sondern um das Streckenelement: Das Prinzip ist ein Variationsprinzip und sondert aus unendlichen vielen möglichen Trajektorien diejenige aus, bei der das Wirkungsintegral den Minimalwert besitzt¹⁸. Euler selbst hat die Ableitung des Prinzips der kleinsten Wirkung aus den Bewegungsgleichungen im zweiten Anhang der *Methodus inveniendi lineas curvas* vorgeführt¹⁹.

Die Übereinstimmung der differentiellen und der integralen Sichtweise auf eine Bewegung bietet philosophischen Zündstoff und wurde ausgiebig diskutiert. Euler deutet sie in den Begriffen der Ursachenlehre von Aristoteles: Die *causa efficiens* führe zum selben Ergebnis wie die *causa finalis*, was er zum Anlaß nimmt, die Zweckmäßigkeit der differentiellen Bewegung zu behaupten: *Cum enim mundi universi fabrica sit perfectissima, atque a Creatore sapientissimo absoluta, nihil omnino in mundo contingit, in quo non maximi minimiv ratio quaepiam eluceat: quamobrem dubium prorsus est nullum, quin omnes mundi effectus ex causis finalibus, ope methodi maximorum & minimorum aequè feliciter determinari queant, atque ex*

18 Zur Frage nach $m \cdot v \cdot ds$ oder $m \cdot v^2 \cdot dt$ bemerkt Klaus Mainzer: »Mit Hinweis auf den Differentialquotienten der Geschwindigkeit $v = ds/dt$ aus Wegelement ds und Zeitelement dt verweist Leibniz auf die äquivalente Formulierung aus Zeitelement und »lebendiger Kraft« mv^2 [... vis viva] mit $\int mv^2 dt = A$.« A bezeichnet die Zusammensetzung aller unmittelbaren Wirkungen. (K. Mainzer, Prinzip der kleinsten Wirkung, in: J. Mittelstraß (Hg.), Enzyklopädie Philosophie und Wissenschaftstheorie, 3, Mannheim 1995, 342.

19 Siehe L. Euler, *Methodus inveniendi lineas curvas maximi minime proprietate gaudentes, sive solutio problematis isoperimetrici latissimo sensu accepti*, Lausanne/Genf 1744, 309–320.

*ipsis causis efficientibus.*²⁰ »Da nämlich die Erstellung der gesamten Welt die vollkommenste und von dem weisesten Schöpfer vollendet ist, so geschieht überhaupt nichts auf der Welt, in dem nicht irgendein Verhältnis des Maximums oder Minimums hervortritt. Deshalb kann weiter kein Zweifel bestehen, daß doch alle Wirkungen in der Welt aus den Endursachen mit Hilfe der Methode der Größten und Kleinsten gleich gut bestimmt werden können wie aus den bewirkenden Ursachen selbst.«

Laplace' Kritik an Eulers teleologischer Deutung setzt bei der differentiellen Bewegung an, führt nur zu einem anderen Ergebnis: Die Naturökonomie sei kein Zweck, sondern neutral und eine mathematisch-physikalische Gegebenheit. Die Ableitbarkeit des Prinzips der kleinsten Wirkung aus den Bewegungsgleichungen ist sein Argument dafür, daß die Natur nicht teleologisch strukturiert ist: »Le principe de la moindre action ne doit donc point être érigé en cause finale, et loin d'avoir donné naissance aux lois du mouvement, il n'a pas même contribué à leur découverte, sans laquelle on disputerait encore sur ce qu'il faut entendre par la moindre action de la nature.«²¹

Die Interpretation der mechanischen Prinzipien und der Differentialgleichungen ist die Naturphilosophie, weil sich der gesamte Kosmos nach den Gesetzen der Mechanik verhält. Die weltssystematische Bedeutung von Laplace' Œuvre ergibt sich also aus der Vorgeschichte, deren metaphysische Spekulationen aus seiner Sicht ohne jeden Erfolg verlaufen sind. Daher ist das wichtigste Anliegen die säkularisierte Durchführung des mechanistischen Programms. Berühmt wurde das diesbezügliche Gespräch zwischen Laplace und Napoleon, in dem Laplace die Gotteshypothese als nicht mehr erforderlich ausweist: »Sire«, répondit Laplace, »je n'avais pas besoin de cette hypothèse.«²²

Das heißt nicht, daß ein naturwissenschaftliches Weltsystem keine orientierende Funktion besitzt, die als Bestandteil von Weltbildern gesehen wird²³. Die anthropologische Aussage besteht in der kosmologisch realistischen Beurteilung des Menschen. Die Menschen seien »trompés par les apparences et par le penchant qui porte l'homme à se regarder comme le principal objet de la nature«²⁴. Religiös oder anthropologisch überzogene Selbsteinschätzungen sind für Laplace physikalisch irrelevant und systematisch sogar fehl leitend. Sein Wissenschaftsverständnis

20 L. Euler, *Methodus inveniendi lineas curvas* (wie Anm. 19), 245. Übersetzung nach H. Linsenbarth, *Abhandlungen über das Gleichgewicht und die Schwingungen der ebenen elastischen Kurven von Jakob Bernoulli und Leonh. Euler*, Leipzig 1910, 18.

21 P.S. Laplace, *Système du monde* (wie Anm. 15), 151.

22 V. Hugo, *Choses vues*, in: *Œuvres complètes*, Paris 1987, 686.

23 Siehe G. Abel, *Die Macht der Weltbilder und Bildwelten*, in: G. Abel et al., *Neuzeitliches Denken, Festschrift für Hans Poser zum 65. Geburtstag*, Berlin 2002, 38, vgl. außerdem in diesem Band den Aufsatz von J. Zachhuber, 171–194.

24 P.S. Laplace, *Système du monde* (wie Anm. 15), 119.

entspricht dem Zeitgeist des französischen Materialismus der Aufklärungszeit. Diese Theorien sind durchweg Säkularisierungen und Befreiungen von überkommenen religiösen Illusionen und Ängsten, die eine Orientierung an der Wahrheit verhindert haben²⁵. Der gesellschaftliche Wert der Astronomie besteht nicht nur im geographischen und nautischen Nutzen, sondern in der dauerhaften Befreiung von unbegründeten Ängsten und einer nicht-anthropozentrischen Weltanschauung.

Dieser Wert geht mit Bemühungen einer Verwissenschaftlichung der Gesellschaft einher, der in mannigfaltigen Formen konkretisiert wird, z.B. im metrischen System oder in sozialen Sicherungssystemen, für die statistische Methoden die mathematische Voraussetzung sind. Die entsprechende Disziplin bekam den Namen *Arithmétique Politique*, worunter die Beschäftigung mit denjenigen Themen fällt, die sich quantitativ behandeln lassen, z.B. Landwirtschaft, Lebensmittelversorgung, Arbeit etc.²⁶ Die Einsicht in den kulturellen und sozialen Wert der Wissenschaften wird nicht erst in der Aufklärungszeit entdeckt; sie reicht bis in die Antike zurück, für die Neuzeit ist Bacons Wissenschaftsutilitarismus bedeutender, für Laplace wohl auch Voltaires Geschichtsphilosophie, dergemäß die Geschichte eine Fortschrittsentwicklung von der Barbarei zur Zivilisation ist. Letztlich geht es um die Rationalisierung, Objektivierung und Einforderung der Konsensfähigkeit jeder Art von gesellschaftlich relevanten Urteilen, worin die Analogie zur quantitativen Wissenschaft besteht. Das bedeutet auch, daß gesellschaftliche Prozesse und ihre Prinzipien quantifizierbar sind. Der immanente Rationalitätsoptimismus findet seinen prägnantesten Ausdruck in der Kampfansage an Ungerechtigkeit am Ende der ersten Edition der *Exposition du système du monde*. Sie schließt in kultureller Euphorie mit einem Wahrheits- und Gerechtigkeitsappell, bei dem Willkür durch Gesetzmäßigkeit ausgetauscht wird: »Vérité, justice: voilà ses loix immuables.«²⁷ Auch die Ethik, die lange vor allem in der Auslegung des mosaischen Dekalogs bestand, bekommt eine mathematische Struktur.

Ausblick auf die Rezeption in der Philosophie

Durch die analytische Methode und die Auffassung der Fruchtlosigkeit metaphysischer und theologischer Spekulationen entfällt die traditionelle

25 Vgl. H. Meyer, *Abendländische Weltanschauung*, Bd. 4, Paderborn/Würzburg 1950, Kapitel 3.3: Die Aufklärung – Natur und Geschichte, 267–273.

26 Siehe Diderots Artikel zur »Arithmétique politique in der *Encyclopédie*«. (Diderot, *Arithmétique politique*, *Encyclopédie*, Bd. 1.) Auch Lagrange hat eine Abhandlung zur arithmetischen Politik verfaßt (J.L. Lagrange, *Essai d'arithmétique politique sur les besoins de l'intérieur de la République*, Paris 1791).

27 P.S. Laplace, *Exposition du système du monde*, 1. Auflage, Paris 1796, 351.

anthropologisch-religiöse Verwertung der Astronomie, die in älteren bildlichen Kosmosdarstellungen vorlag (Abb. 4).

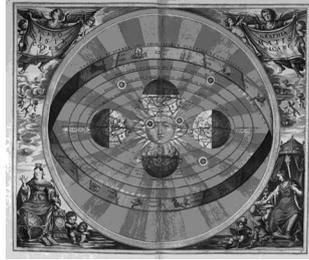


Abb. 4

Solche Weltbilddarstellungen sind holistisch und visualisieren das Universum als Ganzes. Durch das hohe künstlerische Niveau entsprechen sie einer Weltfrömmigkeit, deren metaphysisches Korrelat in einer Teleologie und in religiösen Interpretationen besteht. In der wissenschaftlichen Himmelsmechanik, spätestens seit Copernicus, fällt das weg (Abb. 5).

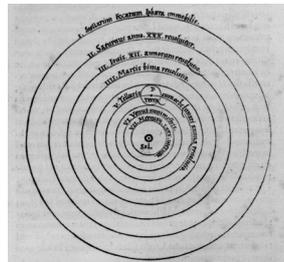


Abb. 5

Laplace bricht auch noch mit der sachlichen Visualisierung (Abb. 6).



Abb. 6: Eine typische Seite der *Mécanique céleste*.

Der für Weltbilder charakteristische Holismus wird durch einen mechanistischen Holismus ersetzt, der in einer Vereinheitlichung des

Weltsystems durch die Vereinheitlichung der Wissenschaft besteht. In Laplace' wissenschaftlichem Holismus spielt die Dynamik des Himmels die entscheidende Rolle, weshalb die traditionellen Darstellungen einer Momentaufnahme des Kosmos sich nicht mehr zur angemessenen Repräsentation des himmelsmechanischen Weltsystems eignen. Die bildhaften Darstellungen religiöser Weltbilder gestatten die Sicht auf den Kosmos in seinen metaphysischen Zusammenhängen, die Laplacesche Himmelsmechanik dagegen die Einsicht in die dynamische Kohärenz von Vergangenheit, Gegenwart und Zukunft.

Für das Verständnis der Reaktionen auf die analytische Weltbetrachtung ist voraus zu stellen, daß die Philosophie am Ende des 18. Jahrhunderts nicht auf die Kosmologie konzentriert ist. Kants Erkenntnistheorie und die Anthropologie in der Folge von Lamettries *L'homme machine* (1784) sind die Themen der Zeit. Die materialistische Anthropologie hatte sich nicht zuletzt durch Kants Kritiken in der Hinsicht als defizitär erwiesen, daß sie jeden Erkenntnisbeitrag des Subjekts und das Phänomen der Freiheit nicht erklären konnte. Fichte kritisiert, »daß alle Einwirkung mechanisch sey, und daß durch Mechanismus keine Vorstellung entstehe, kann kein Mensch, der nur die Worte versteht, läugnen. Aber gerade da liegt die Schwierigkeit. Es gehört schon ein Grad der Selbstständigkeit und Freiheit des Geistes dazu, um das geschilderte Wesen der Intelligenz, worauf unsere ganze Widerlegung des Dogmatismus sich gründete, zu begreifen. Viele sind nun einmal mit ihrem Denken nicht weiter gekommen, als zum Fassen der einfachen Reihe des Naturmechanismus«²⁸.

Die Frage nach der Herkunft des Geistes ist eine der wichtigsten Fragen der zeitgenössischen Naturphilosophie; die Verbindung von Naturphilosophie und Anthropologie ist noch sehr eng. Doch die Darstellungen naturwissenschaftlicher Weltsysteme lassen gerade solche Fragen außen vor.

Analoges gilt für die religionsphilosophische Betrachtung der Natur. Ihr Ziel ist der Nachweis des göttlichen Schöpfungsplans mit seinen zahlreichen Implikationen wie Güte, Einheit, Weisheit, Allmacht etc. Schleiermacher tendiert dazu, daß die Beschränkung der Wahrnehmung auf die Ermittlung von Planetenpositionen und ihre mathematische Berechnung eine der Perfektheit der Schöpfung unangemessene Reduktion ausmache: »Die Unfähigkeit Eurer Sinne kann nicht der Stolz Eures Geistes sein, und was macht sich der Geist aus Zahlen und Größen, da er

28 J.G. Fichte, Erste Einleitung in die Wissenschaftslehre, Erstdruck in: Philosophisches Journal, Bd. 5, 1797, Heft 1, 1–47, hier zitiert nach: J.G. Fichte, Sämtliche Werke hg. v. I.H. Fichte, Bd. 1, Berlin 1845/1846, 439.

ihre ganze Unendlichkeit in kleine Formeln zusammenfassen und damit rechnen kann wie mit dem unbedeutendsten?«²⁹

Dem wird die Anschauung als methodisches Prinzip entgegengesetzt: »Erhebt Euch einmal – es ist doch für die meisten unter Euch ein Erheben – zu jenem Unendlichen der sinnlichen Anschauung, dem bewunderten und gefeierten Sternenhimmel. Die astronomischen Theorien, die tausend Sonnen mit ihren Weltsystemen um eine gemeinschaftliche führen, und für diese wiederum ein höheres Weltsystem suchen, welches ihr Mittelpunkt sein könnte, und so fort ins Unendliche nach innen und nach außen, diese werdet Ihr doch nicht ein System von Anschauungen als solchen nennen wollen?«³⁰

Die Anschauung ist das Erkenntnisprinzip, um das Schleiermacher die naturwissenschaftliche Methode ergänzt. Die Kritik an der analytischen Methode liegt nicht in deren Falschheit, sondern in der Unzulänglichkeit für das Ganze. Schleiermacher empfindet das himmelsmechanische Weltsystem als nicht holistisch, die geschaffene Welt sei vielmehr ein Kunstwerk, von dem die mathematische Analyse nur einen Ausschnitt behandeln könne: »Wenn Ihr von einem großen Kunstwerke nur ein einzelnes Stück betrachtet, und in den einzelnen Teilen dieses Stücks wiederum ganz für sich schöne Umrisse und Verhältnisse wahrnehmt, die in diesem Stück geschlossen sind, und deren Regel sich aus ihm ganz übersehen läßt, wird Euch dann nicht das Stück mehr ein Werk für sich zu sein scheinen, als ein Teil eines Werkes?«³¹

Damit fehlt aus religionsphilosophischer Perspektive den naturwissenschaftlichen Weltsystemen eine der Bedingungen von Weltbildern: Es fehle die »majestätische Offenbarung des Weltgeists«, der den Menschen zur »innige[n] Ehrfurcht vor dem Ewigen und Unsichtbaren« und zur »wahre[n] ungekünstelte[n] Demut« bewegt³².

Doch auch in der Kosmologie blieb die Anschauungsferne der analytischen Himmelsmechanik nicht ohne Kritik. Auf die Bildlosigkeit wissenschaftlicher Literatur reagierte insbesondere die Populärastronomie mit einer Revisualisierung³³. Friedrich Wilhelm Bessel erklärt 1832 noch ganz im Geist von Laplace: »Die Bewegungen aller Himmelskörper so vollständig kennen zu lernen, daß für jede Zeit genügende Rechenchaft davon gegeben werden kann, dieses war und ist die Aufgabe,

29 F. Schleiermacher, *Über die Religion: Reden an die Gebildeten unter ihren Verächtern*, Göttingen 1991, 69.

30 F. Schleiermacher, *Über die Religion* (wie Anm. 29), 55.

31 F. Schleiermacher, *Über die Religion* (wie Anm. 29), 71.

32 F. Schleiermacher, *Über die Religion* (wie Anm. 29), 85.

33 Siehe zur Visualisierung in der Populärastronomie die Monographie von S. Utzt, *Astronomie und Anschaulichkeit – Die Bilder der populären Astronomie des 19. Jahrhunderts*, Frankfurt a.M. 2004.

welche die Astronomie aufzulösen hat.«³⁴ Schulze schreibt wenig später eine Populärastronomie, deren Titel bereits seine Haltung gegenüber der analytischen Himmelsmechanik gegenzeichnet: »Das veranschaulichte Weltsystem oder die Grundlehren der Astronomie und deren leichte und sichere Veranschaulichung durch eigenthümliche Versinnlichungswerkzeuge dargestellt und nachgewiesen« (1838). Alexander von Humboldt sieht »die Wissenschaft wie verödet«³⁵ und hält die »Versinnlichung« von kosmischen Größen für das Verständnis erforderlich³⁶. Das »Erstaunen, das Zahl- und Raumgrößen ohne Beziehung auf die geistige Natur oder das Empfindungsvermögen der Menschen erregen«, sei »unfruchtbar«³⁷. Für Humboldt fehlt der Astronomie die sensualistische Nähe. Visualisierungen dienen nicht bloß zur Unterhaltung, sondern sie werden als Erkenntnismedium auch von der wissenschaftlichen Avantgarde reflektiert und geschätzt.

Für die philosophische Interpretation der Kosmologie spielt die wiedergewonnene Bildlichkeit keine entscheidende Rolle: Mädler zum Beispiel wendet sich gegen Astrologie, Teleologie und die Geozentrik, die noch immer gegen den »Zorneseifer ihrer [der Astronomie] Feinde«³⁸ zu widerlegen sei. Eine religiöse Deutung der Astronomie liest man dagegen im Vorwort von Adolph Drechslers illustriertem Lexikon der Astronomie: »[...] wir bewundern mit Freude die Allmacht des Schöpfers in der unzählbaren Menge der Welten, ahnen seine Weisheit, [...] preisen seine Güte, welche uns befähigt, des Erhabenen in der Schönheit des All uns bewußt zu werden [...].«³⁹ Die Weltbilder der Astronomie sind nur in der Akzeptanz der wissenschaftlichen Ergebnisse und der Methode einheitlich; die Revisualisierung erbrachte keine zusätzlichen verbindlichen Elemente.

34 F.W. Bessel, Populäre Vorlesungen über wissenschaftliche Gegenstände, hg. v. H.C. Schumacher, Hamburg 1848, 6.

35 A. von Humboldt, Kosmos, in der Ausgabe von O. Ette/O. Lubrich, Frankfurt a.M. 2004, 39, in der Originalausgabe Stuttgart/Tübingen 1845, 82. Wilhelm Bölsche empfiehlt später den Naturwissenschaften, dem »Musterexempel des Spröden«, einen »humanistische[n] Schliff«. (W. Bölsche, Wie und warum soll man die Naturwissenschaft ins Volk tragen?, in: ders., Stirb und Werde! Naturwissenschaftliche und kulturelle Plaudereien, Jena 1913, 297.)

36 A. von Humboldt, Kosmos (wie Anm. 35), 76, 1845, 155.

37 Siehe A. von Humboldt, Kosmos (wie Anm. 35), 76, 1845, 156/157.

38 J.H. Mädler, Der Himmel: gemeinfaßliche Darstellung des Wichtigsten aus der Sternkunde, Hamburg 1871, VI.

39 A. Drechsler, Illustriertes Lexikon der Astronomie, Leipzig 1888, VI.