
2 Naturwissenschaften im Mittelalter

2. 1 Rezeption des Platonismus und Aristotelismus durch das Christentum

Als die griechische Philosophie sich ihrem Ende zuneigte, trat das Christentum als neue geistige Macht an ihre Stelle. Ihre intellektuellen Bestrebungen beschränkten sich jedoch keineswegs auf die Naturwissenschaften. Die religiösen und ethischen Forderungen zielten auf eine völlige Beherrschung des Menschen ab.

Durch eine derartige in der Antike nicht dagewesene strenge religiöse Gebundenheit bekam die Entwicklung des naturwissenschaftlichen Denkens eine neue Dimension.

In der hellenistischen Welt hatte sich die Wissenschaft unabhängig von der Religion entfalten können. Die griechische Religion kannte keine allgemein verbindliche Dogmatik. Daher waren ernsthafte Konflikte mit der Naturwissenschaft nicht zu befürchten.

Die Denker der Antike traten, sich ihrer schöpferischen geistigen Fähigkeiten bewußt, erhobenen Hauptes und in jugendlicher Unbekümmertheit vor ihre Götter.

Dagegen sah die christliche Lehre wegen der Verworfenheit der diesseitigen Welt im Menschen ein hilfsbedürftiges Wesen, das aus eigener Kraft weder im Denken noch im Handeln selbst etwas vollbringen kann. Er ist in demütig gebeugter Haltung der ständigen Hilfe und der Erleuchtung durch Gott bedürftig.

Indem das Christentum damit die Autorität der Offenbarung über jede menschliche Erkenntnis stellte, war eine Konfliktsituation geschaffen, die im Inquisitionsprozeß gegen Galilei kulminierte und noch heute Naturwissenschaftler und Theologen beschäftigt und beunruhigt.

Das erste Aufeinandertreffen der beiden Positionen fand zur Zeit der Kirchenväter statt.

Nach ihrer Lehre muß der Christ vor allem auf das Heil seiner Seele bedacht sein und deshalb nicht versuchen, tiefer in die Geheimnisse der Natur einzudringen, als die Heilige Schrift dies zuläßt.

Dementsprechend verlangt der Kirchenvater Basilius (330 - 379), ein Leben in Gottesfurcht und christlicher Demut zu führen und sich dabei beispielsweise weniger mit der Frage zu beschäftigen, ob die Erde eine Scheibe, ein Zylinder oder eine Kugel sei.

Es ist jedoch falsch, in einer solchen Aussage eine prinzipielle Feindlichkeit der Kirchenväter gegen die Naturwissenschaften zu sehen.

Augustinus (354 - 430) betont, daß die Natur in ihrer von der Zahl beherrschten Ordnung auch die Weisheit ihres Schöpfers offenbare.

Mit Nachdruck verlangt er aber eine religiöse Bindung der naturwissenschaftlichen Forschung. Wissenschaft soll letztlich immer der Heiligen Schrift unterworfen sein, welche in ihren Aussagen stets höher zu stellen ist als die des menschlichen Erkenntnisvermögens. Aus der Zweckmäßigkeit, welche in der Natur erkennbar ist, kann man zwar auf die Existenz eines Schöpfers schließen. Man muß sich jedoch davor hüten, die Natur statt seiner zu verehren.

Von besonderer Bedeutung für die weitere Entwicklung des naturwissenschaftlichen Denkens ist die Rezeption des Platonismus durch Augustinus.

Die Lehre Platons übte auf ihn eine gewaltige Anziehungskraft aus. Die Beschreibung der Erschaffung der Welt in Platons „Timaios“ schien ihm in guter Übereinstimmung mit der biblischen Schöpfungsgeschichte. Auf die Frage, was Gott vor der Erschaffung der Welt getan habe, gibt Augustinus die Antwort, die Zeit sei erst mit der Schöpfung geschaffen worden. Die gleiche Antwort geben heutige Kosmologen, wenn sie konstatieren, daß die Raumzeit erst mit dem Urknall geschaffen wurde.

Platons Ideenlehre harmonierte in besonderer Weise mit der christlichen Gottesvorstellung. Die platonischen Ideen ließen sich mühelos als Gedanken Gottes interpretieren, von denen die irdischen Dinge nur unvollkommene Verwirklichungen darstellen. Der Platonismus erwies sich somit als philosophisches System, nützlich für den christlichen Glauben.

Augustinus glaubte, daß sich alle christlichen Glaubenssätze in philosophische Terminologie umformulieren und dann ohne Rückgriff auf irgendwelche Dogmen einsehbar machen ließen. Der Gedanke, daß die von Gott geschaffene Welt in gewissem Grade an seiner Vollkommenheit teil hat, nicht nur Bewunderung verdient, sondern auch den Menschen inspiriert, die Gedanken Gottes nachzudenken und zu entschlüsseln, ist bei *Augustinus* in Ansätzen vorhanden. Dieser Auswirkung des Platonismus auf das naturwissenschaftliche Denken begegnen wir in ausgeprägter Form jedoch später bei Kepler.

Nachdem durch die Kirchenväter der Platonismus Eingang in das philosophische Denken des Christentums gefunden hatte, verzeichnen wir im 13. Jahrhundert eine deutliche Wende zum Aristotelismus. Der bedeutendste Vertreter dieser die Scholastik kennzeichnenden Bemühung ist Thomas von Aquin (1224 - 1274).

Ihm ging es darum, die christliche Religion auf der Grundlage der Vernunft für jedermann einleuchtend zu machen, indem er versuchte, in seinem grundlegenden Werk *Summa theologiae* ein System von Glaubens- und Vernunftswahrheiten aufzubauen. Die Grundspannung zwischen Glauben und Vernunft will er im Rahmen der aristotelischen Philosophie rational analysieren und damit überwinden. Die menschliche Vernunft kann die Offenbarung nicht außer Kraft setzen. Doch stehen der Vernunft alle Erkenntnisse offen, die sich auf die Welt der Erfahrungen stützen. So kann die Vernunft die Existenz Gottes erschließen, jedoch nicht seinen Heilsplan. In der Frage der Vernunft nimmt er die Position von Aristoteles ein. Die Universalien (Allgemeinbegriffe) sind keine rein begrifflichen platonischen Entitäten. Sie haben ihre Grundlage in den existierenden Dingen, von denen sie durch Abstraktion abgeleitet werden, ohne daß ihnen eine selbständige Existenz zugesprochen werden könnte.

Für die Entwicklung des naturwissenschaftlichen Denkens war die Thomistische Synthese von Aristotelismus und christlicher Religion in zweifacher Hinsicht bedeutungsvoll. Die in der platonischen Denkweise wenig ausgeprägte Achtung vor sinnlicher Erfahrung kam im Aristotelismus zur Geltung. Schon bei Thomas' Vorgänger und Lehrer Albertus Magnus (1200 - 1280), der unermüdlich empirisches Tatsachenmaterial sammelte, finden wir grundlegende Äußerungen über die Rolle der Empirie hinsichtlich des Ziels und der Methode der Naturwissenschaft: Eine Schlußfolgerung, die dem Zeugnis der Sinne widerspricht, kann nicht geglaubt werden. Die bekannte Aussage von Albertus: „fui et vidi“ (ich war dabei und sah es geschehen) verrät, welche Bedeutung er dem Experiment beimaß. Trotz der beginnenden Anerkennung der Erfahrung der Sinne dauerte es noch lange Zeit bis man die erkenntnistheoretische Funktion des Experiments klar erkannte. Dies gelang erst vierhundert Jahre später Galilei. Er erkannte, daß die bloße Beobachtung mit den Sinnen noch nicht zu naturwissenschaftlichen Erkenntnissen führt. Erst im Rahmen eines theoretischen Konzeptes gewinnt das Experiment seine Bedeutung. Diese Einsicht resultiert aus der Idee, daß hinter den sichtbaren Phänomenen sich mathematische Strukturen verbergen, die es zu erkennen gilt.

Unsere moderne Naturwissenschaft entspringt aus zwei Wurzeln: die eine ist die Empirie, die im Aristotelismus eine Rolle spielt, und die andere die Mathesis im pythagoreisch-platonischen Sinne.

Erst nachdem Galilei und seine Nachfolger die Synthese zwischen diesen beiden Denkrichtungen vollzogen hatten, erwuchs daraus der mächtige Baum der heutigen Naturwissenschaften.

2.2 Der Islam als Hüter und Vermittler des Wissens der Antike

Der Islam war von Anfang an eine bemerkenswerte Bewegung des spirituellen Imperialismus. Die gewaltige Energie, mit der die Araber ihre Eroberungen vorantreiben, geht Hand in Hand mit der beachtlichen Fähigkeit zur Assimilation dessen, was die Wissenschaften der von ihnen unterworfenen Länder in der Antike hervorgebracht hatten.

Damit wurden sie jedoch nicht nur zu Hütern dieser Tradition, sondern sie haben diese auch durch eigene Ideen verbessert und weiterentwickelt.

Der Mathematiker und Astronom Thabit ibn Qurra hat nicht nur zahlreiche griechische mathematische Werke übersetzt, sondern auch eine eigene Theorie der Präzession (Verschiebung des Frühlingspunktes) entwickelt. Danach resultiert diese nicht - wie Hipparch und Ptolemäus annahmen - aus einer stets im gleichen Sinne fortschreitenden gemeinsamen Bewegung der Fixsterne, sondern aus einer periodischen Schwankung um eine Mittellage. Diese sogenannte Trepidationstheorie hat in der weiteren Entwicklung der Astronomie eine wichtige Rolle gespielt. Arabische Astronomen haben auch wichtige Beiträge hinsichtlich sorgfältiger Beobachtungen zur Verbesserung ihres Anschlusses an die Theorie gemacht.

So ist Al-Battani (858 - 929) berühmt geworden wegen seiner genauen Bestimmung der Neigung der Ekliptik. Er entdeckte die von Ptolemäus nicht bemerkte Bewegung der Absidenlinie der Sonnenbahn. Schließlich verfaßte er ein wichtiges Handbuch der Astronomie. Der Mathematiker, Physiker und Astronom Ibn al-Haytham (Alhazen) (965 - 1039) schrieb ein großes Werk über Optik, das weit über das hinausgeht, was die Griechen auf diesem Gebiet in theoretischer und experimenteller Hinsicht hervorgebracht hatten.

Er befaßt sich sehr gründlich mit der mathematischen Theorie von sphärischen und parabolischen Spiegeln sowie dem Bau und der Funktion des Auges. Dabei produziert er Naturerscheinungen, welche der mathematischen Methode zugänglich sind. In diesem Bemühen lassen sich die Anfänge dessen erblicken, was Galilei dann systematisch fortsetzt und zur Methode der Physik entwickelt.

Wir sind bereits bei der Behandlung der Planetentheorie des Ptolemäus ausführlich auf dessen mechanisches Modell eingegangen. In gleicher Weise wollte auch Ibn al-Haytham sich nicht mit einer positivistischen Beschränkung des Ziels der Wissenschaft zufrieden geben. Dementsprechend entwarf auch er ein detailliertes mechanisches Modell der Planetenbewegung zur Verstofflichung der komplizierten Deferenten- und Epizykelbewegungen.

Der Astronom al-Bitrugi (Alpetragius) stellt in der 2. Hälfte des 12. Jahrhunderts ein Planetenmodell auf, das im Unterschied zu dem ptolemäischen Konzept mit den Prinzipien der aristotelischen Physik in Einklang stehen sollte. Diese sogenannte Spiraltheorie (laulabia) fand gelegentlich das Interesse der Astronomen. Wegen der fehlenden quantitativen Ausführung war das Modell jedoch nicht in der Lage, durch Beobachtungen nachprüfbar Aussagen zu machen bzw. als Grundlage für die Aufstellung von Planetentafeln zu dienen.

Der herausragendste von allen arabischen Denkern ist der berühmte Aristoteleskommentator Averroes (1126 - 1198). Seine rationalistische Position ist gekennzeichnet durch das Bestreben, Konflikte zwischen Vernunft und Offenbarung zu vermeiden. Deshalb möchte er Philosophie und Wissenschaft davor bewahren, mit der Theologie verquickt oder gar ihr untergeordnet zu werden. Im Laufe unserer weiteren Betrachtungen werden wir sehen, wie schwierig es war, seine eindringliche Warnung zu befolgen.

Averroes hatte bestimmte Züge der aristotelischen Naturphilosophie in seinen Kommentaren überbetont, z.B. die Ewigkeit der Materie, die strenge Determinierung des Geschehens oder die Sterblichkeit der Einzelseele. Diese Interpretation wurde im Jahre 1277 durch den Bischof von Paris Etienne Tempier verdammt. Diesem Dekret von Tempier schloß sich im selben Jahr der Erzbischof von Canterbury an. Die Averroisten zogen sich daraufhin von Spanien nach Padua zurück, wo sie ihre Lehre von der doppelten Wahrheit ausbauten. Danach kann etwas im Sinne der Theologie wahr sein, aber unwahr im Sinne des logischen Denkens und umgekehrt.

Das Dekret von Tempier war für die Entwicklung der Naturwissenschaften von Bedeutung; denn mit der Verurteilung der averroistischen Meinung, daß Aristoteles über Metaphysik und Naturwissenschaft immer das letzte Wort gesprochen habe, war

der Weg zur Aristoteles-Kritik frei geworden, die das System langsam untergraben sollte.

Die Naturphilosophen konnten sich nun auf die rationale Naturphilosophie des Aristoteles berufen, aber sie hatten auch durch das Dekret von Tempier von der christlichen Religion die Freiheit erhalten, die Autorität des Aristoteles und seine Naturphilosophie einer kritischen Analyse zu unterziehen.

Verwunderlich ist, daß die Theologen Galileis Kritik an Aristoteles als Angriff auf ihre eigene Position ansahen.

2.3 Neue Denkrichtungen in der Scholastik

Scholastik ist die Sammelbezeichnung für die Wissenschaften des lateinischen Mittelalters seit dem 9. Jahrhundert, vor allem der Philosophie und Theologie. Die Bezeichnung geht zurück auf die „Doctores scholastici“, die Lehrer der sieben freien Künste an den Dom- und Klosterschulen. Mit der Erweiterung der Lehrgebiete an diesen Schulen und der Entstehung der Universitäten wird die Bezeichnung „Scholastiker“ erweitert gebraucht, so daß jeder, der sich im Rahmen einer Schulgemeinschaft mit Wissenschaft beschäftigt, ein Scholastiker genannt wird.

Inhaltlich ist die Scholastik gekennzeichnet durch eine harmonische Verbindung von christlicher Offenbarungslehre mit philosophischem Denken auf der Basis einer postulierten Einheit des menschlichen Geistes; methodisch eben durch die „scholastische“ Methode. Diese besteht in der klaren Herausarbeitung der Fragestellung, d.h. der „Quaestio“, der scharfen Unterscheidung der Begriffe, der „Distinctio“ und in logisch geformten Beweisen sowie Erörterung der Gründe und Gegengründe in formgerechter „Disputation“.

Wesentlich ist die Text- und Autoritätsgebundenheit der dialektischen Schulung.

Das allgemeine Ziel besteht darin, die rein biblische Theologie mit Hilfe der Philosophie tiefer zu verstehen und ihre Inhalte in ein logisches System einzubinden.

Wir haben bereits gesehen, wie der bedeutendste Vertreter der Hochscholastik, Thomas von Aquin, das philosophische System des Aristoteles dafür heranzog. Deshalb werden die Vertreter der Scholastik gerne als „Aristoteliker“ bezeichnet, auch wenn sie als Kritiker des großen Meisters hervortreten.

Bei dieser Auseinandersetzung spielt das allgemeine Verhältnis von Begriff und Wirklichkeit eine wesentliche Rolle.

Die zwei Hauptprobleme sind das Dialektikproblem und der Universalienstreit.

Das Dialektikproblem kreist um die Frage, ob und in welchem Sinne die „Dialektik“, die aus den damals bekannten logischen Standardtexten übernommenen Argumentationsfiguren, über die Wahrheit von Glaubenssätzen entscheiden kann.

Das Universalienproblem, auf das wir bereits bei der Behandlung des Thomas von Aquin eingegangen sind, hat seinen theologischen Ursprung in den Systematisierungsversuchen zur Trinitäts- und Erlösungslehre.

Bei der Verfolgung des Ziels einer rationalistischen Harmonisierung von Glauben und Wissen läuft die scholastische Methode Gefahr, zu einem wirklichkeitsfremden

und spitzfindigen Denken zu verkrusten. Das Ergebnis dieser Entwicklung bezeichnet man abwertend als „Scholastizismus“. Man könnte daher geneigt sein, der Meinung positivistisch orientierter Naturwissenschaftler zuzustimmen, daß die Scholastik die Entwicklung der Naturwissenschaften eher behindert als gefördert hat.

Aufgrund der sehr bemerkenswerten Untersuchungen der deutschen Historikerin Anneliese Maier zur Naturphilosophie der Scholastik und des französischen Physikers und Historikers Pierre Duhem ist dieses vorschnelle Urteil nicht mehr aufrecht zu erhalten.

Das 13. und 14. Jahrhundert sind vielmehr durch eine besondere Atmosphäre der Kritik und des Zweifels gekennzeichnet. Dies genügte zwar noch nicht, eine neue Naturwissenschaft zu begründen, wohl aber hat sie nicht unwesentlich dazu beigetragen, Hindernisse aus dem Wege zu räumen. Kritik und Zweifel konnten erst langsam ihr destruktives Werk vollbringen, bevor auf den zurückbleibenden Trümmern das Gebäude einer neuen Naturwissenschaft errichtet werden konnte.

Zu den herausragenden Denkern gehören Wilhelm von Ockham (1285 - 1349), Johannes Buridan (1295 - 1358), Thomas Bradwardine (1295 - 1349) und Nikolaus von Oresme (1320 - 1382). Sie haben wichtige Beiträge zur Reform der aristotelischen Dynamik, speziell zur Impetustheorie sowie zur quantitativen Erfassung der Intensitätsänderung von Qualitäten geliefert.

Anneliese Maier bezeichnet sie wohl mit Recht als „Vorläufer Galileis“. ¹⁾

Wir wollen uns im folgenden mit ihren Beiträgen zur Entwicklung der Physik beschäftigen.

2.4 Eine reformierte aristotelische Dynamik

Hinsichtlich einer Reform auf dem Gebiet der Dynamik hat der am Merton College in Oxford tätige Thomas Bradwardine Bedeutendes geleistet.

In seiner 1328 erschienenen Schrift „Tractatus proportionum“ wandte er sich nachdrücklich gegen das Grundprinzip der aristotelischen Dynamik, wonach die Geschwindigkeit v proportional dem Quotienten aus Kraft F und Widerstand R sein soll. In unserer heutigen Schreibweise bedeutet dies: $v \sim F/R$.

Diese Beziehung lehnt Bradwardine mit dem Argument ab, da sie auch den Fall $F < R$ zuläßt, der nicht zu einer Bewegung führt, und für F wenig größer als R der qualitativen Erfahrung widerspricht. Er verwarf auch die zu jener Zeit häufig benutzte Proportionalität $v \sim \frac{F-R}{R}$.

Da die aus ihm sich ergebenden Folgerungen ebenfalls dem Augenschein widersprachen, weist er auch diesen Ansatz zurück. Schließlich versuchte er es mit einem völlig anderen Bewegungsgesetz.

Danach soll die Geschwindigkeit von dem Quotienten aus Kraft und Widerstand abhängen, d.h. $v = v\left(\frac{F}{R}\right)$, wobei nun aber der n -fachen Geschwindigkeit die n -te Potenz des Verhältnisses F/R zugeordnet wird.

Dieser Zusammenhang lautet als Formel geschrieben:

$$n v\left(\frac{F}{R}\right) = v\left[\left(\frac{F}{R}\right)^n\right]$$

und hat, wie man sich durch Einsetzen leicht überzeugen kann, die Lösung:

$$v \sim \log \frac{F}{R}.$$

Demnach wird die Geschwindigkeit $v=0$, wenn $F/R=1$, d.h. die Kraft gleich dem Widerstand ist. Während $F/R > 1$ sich als sinnvoll erweist, ergibt sich für $F/R < 1$ ein negativer Wert für die Geschwindigkeit v , was nach Bradwardine bedeutet, daß keine Bewegung möglich ist.

Es sei darauf hingewiesen, daß wir die Überlegungen Bradwardines in unserer heutigen Formelschreibweise ausgedrückt haben. Er benutzt eine Art Wortalgebra. Bradwardine kannte natürlich auch noch nicht die Logarithmus-Funktion. Es dauerte noch zweieinhalb Jahrhunderte, bis Jost Bürgi und John Napier sie erfanden und Logarithmentafeln aufstellten.

Nikolaus von Oresme formuliert in einer ausführlichen Abhandlung „De proportionibus proportionum“ in Anlehnung an Bradwardine im 1360 ein Bewegungsgesetz, nach dem der Quotient aus Kraft und Widerstand mit Hilfe der Quotienten der Geschwindigkeiten ausgedrückt ist. In unserer heutigen Schreibweise lautet es:

$$\frac{F_2}{R_2} = \left(\frac{F_1}{R_1} \right)^{\frac{v_2}{v_1}}$$

Während der Ansatz von Bradwardine durch die Funktion $x = \log y$ erfüllt wird, führt der Ansatz von Oresme auf die Exponentialfunktion $y = a^x$.

Obwohl die Ansätze von Bradwardine und Oresme für ein Grundgesetz der Dynamik falsch sind, kommt ihnen für die Beurteilung der Entwicklung der Physik doch eine zweifache Bedeutung zu. Einmal zeigen sie, wie schwierig es war, ein Grundgesetz der Dynamik zu formulieren. Dies gelang erst über dreihundert Jahre später Newton. Andererseits hat der durch Bradwardine und Oresme gegangene Irrweg dazu beigetragen, den Begriff der mathematischen Funktion, insbesondere der Funktionen $y = a^x$ bzw. $x = \log y$ in das Bewußtsein der Physiker zu bringen. Dies hat letztlich dazu beigetragen, mathematische Überlegungen als methodisches Werkzeug in der Physik nach und nach heimisch zu machen.

Ein weiterer bedeutsamer Schritt war die im Kreise der sogenannten *Calculatores* aufkommende Tendenz, Bewegungen mit veränderlicher Geschwindigkeit grafisch darzustellen bzw. mathematisch zu erfassen. Indem man begann, die Intensität von Qualitäten nicht nur durch Zahlen, sondern grafisch auch mit Hilfe von Strecken darzustellen, wurde es möglich, auch ihre Veränderung zu erfassen. Dies kann als ein bedeutsamer erster Schritt zur Darstellung einer Funktion in einem Koordinatensystem angesehen werden. Wir finden diese Methode in dem 1350 erschienenen Werk des Nikolaus von Oresme: *Tractatus configurationibus qualitatum et motum*. Hier

werden „Intensitäten“ mit Linien verglichen. Zur Veranschaulichung der Abhängigkeit einer Intensität vom Ort wird die „Konfiguration“ eingeführt (Bild 2.1).

Der Ort (extensio) wird als „longitudo“ auf einer waagerechten Geraden, die Intensität als „latitudo“ zu jedem Werk der longitudo als Strecke senkrecht aufgetragen. Es erschienen dann Figuren von „viereckiger“, „dreieckiger“ Qualität bzw. konkave oder konvexe Figurationen. Die Abhängigkeit der Geschwindigkeit von der Zeit wurde durch eine Konfiguration dargestellt, welche die Zeit als longitudo und die Geschwindigkeit als latitudo aufweist. Dabei ist die „dreieckige“ Konfiguration der gleichförmig beschleunigten Bewegung von besonderer Bedeutung. Die Frage, ob sich die Geschwindigkeit als Funktion der Zeit oder als Funktion des Ortes gleichförmig ändert, war nicht einfach zu beantworten. Später hat sich Galilei damit herumgeschlagen.

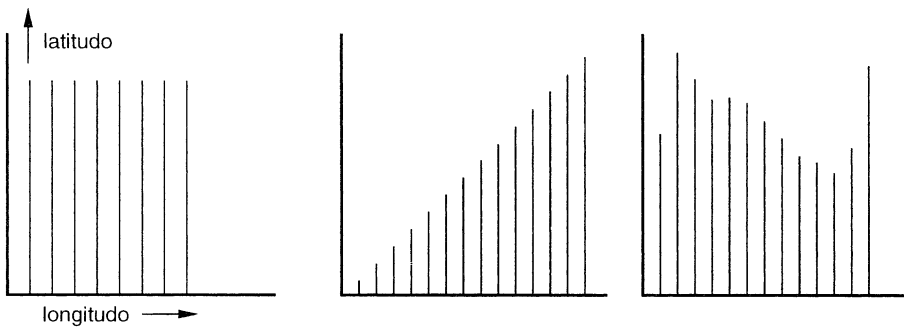


Bild 2.1: Konfigurationen

Dabei half ihm, daß Oresme zu dem Ergebnis gekommen war, daß der zurückgelegte Weg von der mittleren Geschwindigkeit v_m abhängt. Diese Erkenntnis bezeichnet man als Mertonsche Regel, da sie bereits ein halbes Jahrhundert vor Oresme die am Merton-College tätigen Kollegen kannten.

In unserer heutigen Schreibweise läßt sie sich in der Form

$$v_m = \frac{v_0 + v_t}{2}$$

darstellen.

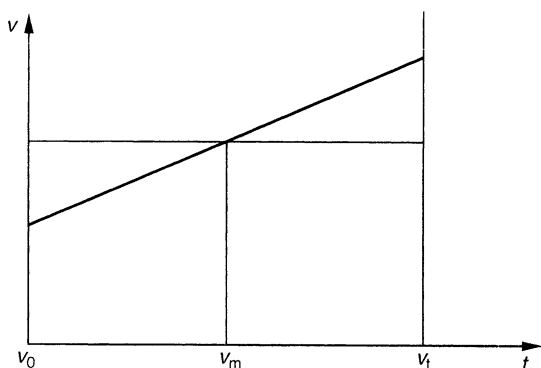


Bild 2.2: Mertonsche Regel

Oresme macht jedoch keine Anwendung dieser sogenannten Mertonschen Regel auf den freien Fall. Auf diese Idee kam erst 250 Jahre später Galilei. Oresme war sich offenbar dieser Möglichkeit, die in der Mertonschen Regel enthalten war, noch nicht bewußt.

Eine bedeutsame Bresche in das aristotelische System der Physik schlug Johannes Buridan (1300 - 1358). Er war Rektor der Pariser Universität und die zentrale Figur der Pariser Terministen.

Der Terminismus ist eine Denkrichtung der Hochscholastik, die durch Wilhelm von Ockham begründet wurde. Es ist die philosophische Position, die im Universalienstreit die Meinung vertritt, daß den Allgemeinbegriffen (Universalien) außerhalb des Denkens keine reale Existenz zukomme. Sie sind vielmehr nur „termini conceptis“, d.h. im Geiste vorgestellte Prädikatoren. Die Allgemeinbegriffe sind nicht als metaphysische Wesenheiten, d.h. als etwas Wirkliches, sondern nur als Namen der Dinge, „nomina rerum“, anzusehen. Daher bezeichnet man die „Terministen“ in nicht scharfer Abgrenzung zueinander auch als „Nominalisten“.

Die Bedeutung Buridans für die Entwicklung der Physik in der Hochscholastik beruht auf seiner *Impetustheorie*.

Schon in der Antike blieb die Bewegungslehre des Aristoteles nicht unwidersprochen.

Nach Aristoteles ist bei einer Bewegung der „motor conjunctus“ in dem umgebenden Medium zu sehen.

Im 6. Jahrhundert n. Chr. verwarf Johannes Philoponos diese Theorie. Nach seiner Auffassung ist der „motor“ ein ganz bestimmtes unstoffliches Vermögen, das z.B. beim Wurf der „projector“ dem „mobile“ einprägt („vis impressa“).

Dieser Begriff des „inneren bewegenden Vermögens“ wird von Buridan als „impetus“ aufgegriffen und weiterentwickelt. Der „impetus“ ist der Materiemenge und der Geschwindigkeit proportional. Der Begriff ist mit dem verwandt, was Galilei später „momento“, Descartes „quantité de mouvement“ und Newton „quantitas motus“ nennt.

Buridan begründet seine Ansicht, daß dieser Impetus nicht als „motor conjunctus“ wirken kann mit der Erfahrung, derzufolge beim Schuß eines Pfeils durch ein Tierfell, das ja die Luft als „motor“ zurückhält, der Pfeil trotzdem weiterfliegt.

Pierre Duhem hält den Impetus-Begriff in der Bewegungslehre der Pariser Terministens für das erste Auftreten des Impuls-Begriffes der späteren klassischen Mechanik.

Dagegen weist Anneliese Maier auf den grundsätzlichen Unterschied der beiden Begriffe hin. Sie betont, daß der Impuls eines Massenpunktes eine Folge seiner Bewegung sei, wogegen der Impetus als Ursache der Bewegung betrachtet werden müsse.

Max Jammer glaubt, in dem Impetus-Begriff eine Vorstufe zum Begriff der „trägen Masse“ erkennen zu können. Aber auch diese Interpretation bestreitet Anneliese Maier. Sie gibt zu bedenken, daß die Scholastik unter Trägheit die Tendenz zum Verharren im Zustand der Ruhe bzw., wenn dieser gestört ist, zur Rückkehr in ihn versteht, während nach Auffassung der klassischen Physik seit Newton Trägheit gerade ein bewegungserhaltender Faktor sei. Weiterhin verweist sie darauf, daß die Trägheit der klassischen Physik das Beharrungsvermögen in gleichförmiger geradliniger Bewegung ist, wogegen Buridan z.B. die Drehung eines Rades oder eines Kreisels durch einen kreisförmig wirkenden Impetus erkläre. Die Vorstellung einer „zirkulären“ Trägheit, die wir bereits in dem rotierenden Himmelsäther, aus dem nach Aristoteles die Gestirne bestehen, sitzt ideengeschichtlich betrachtet sehr tief in der Vorstellungswelt der Naturforscher. Selbst bei Newton, dem Begründer unseres heutigen „linearen“ Trägheitsbegriffs finden wir bei der Aufzählung von Beispielen zur Veranschaulichung der Trägheit das rotierende Rad Buridans.

Die unterschiedlichen Meinungen darüber, inwieweit Buridans Impetus-Begriff bereits den klassischen Impulsbegriff bzw. den klassischen Trägheitsbegriff enthalten, sollten uns auch hier darauf verweisen, nicht aufgrund unserer heutigen physikalischen Erkenntnisse ihre historischen Wurzeln zu überinterpretieren. Mit diesem Hinweis soll jedoch keineswegs die besondere Leistung Buridans in Frage gestellt werden. Sie liegt grundsätzlich in seiner kritischen Methode zur Überwindung des Aristotelismus. Zur Erklärung der ewig andauernden Bewegung der Himmelskörper benötigt er nicht mehr ein „fünftes Element“. Er geht von der Annahme aus, Gott habe bei der Schöpfung der Welt jeder Himmelsphäre einen bestimmten Impetus mitgeteilt, der dann ihre Bewegung ohne fortwährendes Eingreifen von Intelligenzien aufrecht erhält.

Indem Buridan den Impetus-Begriff der „irdischen“ Mechanik auf eine „Himmelsmechanik“ anwendet, vollzieht er einen ungewöhnlich mutigen Schritt, das aristotelische Dogma eines grundsätzlichen Unterschieds von „sublunarer“ und „translunarer“ Welt in seinen Grundfesten zu erschüttern. In diesem Sinne können wir ihn in der Tat nicht nur als „Vorläufer“ Galileis, sondern auch Newtons ansehen, der in seine Himmelsmechanik den Schlußpunkt in der Überwindung der hierarchischen Ordnung des aristotelischen Weltbildes gesetzt hat.

Dazu hat nicht unwesentlich auch Nikolaus von Oresme beigetragen, auf dessen Beiträge zur Reform der aristotelischen Dynamik wir bereits eingegangen sind.

In seinem Werk *Traité du Ciel et du Monde* wird die Frage nach dem Bewegungszustand der Erde ausführlich diskutiert. Er deutet die tägliche Drehung des Sternenhimmels als eine Folge der Rotation der Erde um ihre Achse. Nach seiner Meinung läßt sich eine solche Drehung weder aufgrund der Beobachtung noch durch logische Argumente widerlegen. Die üblichen Gegenargumente, die wir später bei den Gegnern der kopernikanischen Lehre wieder finden werden, die Erddrehung müsse einen starken Ostwind erzeugen, oder ein senkrecht hochgeworfener Stein müsse dann westlich vom Ausgangspunkt herunterfallen, setzt Oresme außer Kraft, indem er annimmt, daß die Luft sich mitdreht.

Wie wird er jedoch mit dem aristotelischen Argument fertig, daß der Erde im Gegensatz zu den Himmelskörpern aufgrund ihrer Zusammensetzung keine Kreisbewegung als natürliche Bewegung zukommen kann?

Oresme argumentiert: Teile der Erde, die man aus ihrem natürlichen Ort entfernt, bewegen sich von Natur aus geradlinig, aber die Erde als Ganzes muß sich aufgrund ihrer mathematischen Form drehen. Dies ist eine beachtliche Wendung in der Auffassung von der natürlichen Bewegung der Erde. Aufgrund ihrer Kugelform gehört es zur Natur der Erde, daß sie sich drehen muß, so wie es z.B. zur Natur des Eisens gehört, sich zu einem Magneten hin zu bewegen.

Bei Oresme tritt bei der Argumentation für eine Erdrotation ein weiterer sehr wesentlicher Gesichtspunkt in Erscheinung: Es ist vernünftiger, ökonomischer oder einfacher, daß alle Körper von der zentralen sich drehenden Erde bis zu der Fixsternsphäre mit gleichmäßig abnehmender Winkelgeschwindigkeit vor einem unbeweglichen Himmel in der gleichen Richtung ostwärts rotieren, als daß die ruhende Erde von ostwärts rotierenden Sphären umschlossen wird und die Fixsternsphäre mit einer Winkelgeschwindigkeit von einer Drehung pro Tag entgegengesetzt (westwärts) rotiert. Oresme sagt wörtlich, daß nach der Auffassung der Philosophie „das, was durch mehr oder kompliziertere Operationen geschieht, unnütz ist, wenn es durch weniger und einfachere Operationen geschehen könnte“. Dieses „Prinzip von der Einfachheit der Natur“ oder „Sparsamkeitsprinzip“ (lex parsimoniae) ist schon im Altertum formuliert worden und hat im Laufe der Entwicklung des naturwissenschaftlichen Denkens eine entscheidende Rolle gespielt.

Im Rahmen der klassischen Mechanik werden wir ihm bei Leibniz, Maupertuis, Fermat und Hamilton als finalistische Interpretation der mathematischen Struktur der „Extremalprinzipien“ begegnen. Somit erweist sich der Gedanke der Einfachheit und Zweckmäßigkeit als eine ideengeschichtliche Leitlinie in der Entwicklung des physikalischen Denkens.

Ideengeschichte der Physik

Eine Analyse der Entwicklung der Physik im historischen
Kontext

Kuhn, W.

2016, XVIII, 512 S. 200 Abb., Softcover

ISBN: 978-3-662-47058-9