

# „Ergebnisse“ der spätscholastischen Naturphilosophie

Von Anneliese Maier, Rom

Ein Problem, das seit Jahrzehnten immer wieder, und immer wieder mit neuem Eifer, diskutiert wird und das bis heute noch keine eigentliche Lösung gefunden hat, ist die Frage nach den Beziehungen zwischen der spätscholastischen Naturphilosophie und der klassischen Physik des 17. Jahrhunderts. Der strittige Punkt ist der, ob und wie weit die Denker des 14. Jahrhunderts in der Erklärung der anorganischen Natur und speziell der Vorgänge, die in das Gebiet der Mechanik fallen, zu Ergebnissen gekommen sind, die als „richtige“ Erkenntnisse im Sinn der späteren exakten Naturwissenschaft anzusehen sind.

Daß die Naturphilosophen des ausgehenden Mittelalters in mancher Beziehung über Aristoteles hinaus- und eigene Wege gegangen sind, ist unbestreitbar: die Lehren des Philosophen sind zum Teil umgebildet und weiterentwickelt, zum Teil aber auch einfach abgelehnt und durch neue ersetzt worden. Dieser Prozeß beginnt an sich schon gleichzeitig mit der Aristotelesrezeption als solcher, d. h. mit dem Bekanntwerden der *libri naturales* und der arabischen Kommentare zu ihnen. Robert Grosseteste, Roger Bacon, Albertus Magnus, Thomas, Aegidius Romanus haben keineswegs kritiklos hingenommen, was Aristoteles, Avicenna, Averroes sagen, aber zunächst bleibt es doch nur bei gelegentlichen Einwänden und Korrekturen, mindestens soweit es sich um rein naturphilosophisch-physikalische Theorien und nicht um weltanschauliche Fragen handelt.

Erst mit dem 14. Jahrhundert beginnt die Kritik an Aristoteles und seinen Kommentatoren auf wirklich breiter Basis, und gleichzeitig entsteht allmählich eine eigene und selbständige Naturphilosophie. Zwei Zentren sind es vor allem, die in dieser Entwicklung die führende Rolle spielen: Paris und Oxford: Johannes Buridan und seine Schule, in der Nicolaus Oresme den hervorragendsten Platz einnimmt, auf dem Festland, und Thomas Bradwardine mit seinen Mertonenses, unter denen Wilhelm Heytesbury und Richard Suisset (Swineshead), der „Calculator“, die berühmtesten sind, in England. Nur wenig später bildet sich dann auch eine Schule in Bologna um Matthäus von Gubbio, deren geistes- und kulturgeschichtliche Bedeutung nicht zuletzt in ihrer Empfänglichkeit für die neuen, von Paris und Oxford kommenden Lehren lag, die von hier aus schon früh in Italien Verbreitung fanden. Im letzten Drittel des Jahrhunderts hat die neue Naturphilosophie dann auch in Deutschland zwei hervorragende Vertreter, die aus der Buridanschule hervorgegangen sind und zunächst in Paris gelehrt hat-

ten: es sind Albert von Sachsen, der Gründer der Universität Wien, und Marsilius von Inghen, der erste Rektor der Universität Heidelberg.

Die Kosmologie dieser „moderni“ stellt tatsächlich eine Art von geistiger Revolution dar, die sich rasch ausbreitete und ohne Rücksicht auf sonstige Schulgegensätze in ihren wesentlichen Punkten fast einmütig angenommen wurde. Daß sie viel Neues gebracht und in mancher Beziehung die weitere Entwicklung in neue Bahnen gelenkt hat, steht außer Zweifel. Aber die Frage, die immer wieder aufgeworfen wird und über die man sich nicht einigen kann, ist die, ob die neuen Einsichten, Postulate, Theorien, die das 14. Jahrhundert an die Stelle des Aristotelismus setzt, auch an sich „richtig“ sind, d. h. ob sie mit den Ergebnissen übereinstimmen, zu denen die spätere physikalische Forschung gekommen ist. Und offensichtlich ist man, mindestens vielfach, der Ansicht, daß mit der Beantwortung dieser Frage auch über den Wert oder Unwert der spätscholastischen Naturphilosophie als solcher und über die Berechtigung des Interesses, das man ihr entgegenbringt, entschieden würde.

Diese seltsame und eigentlich ganz unhistorische Einstellung — die fast an die Geschichtsauffassung der Aufklärungszeit erinnert — geht auf die Anfänge der Forschungen zurück, mit denen zu Beginn des 20. Jahrhunderts die Naturwissenschaft des ausgehenden Mittelalters gewissermaßen entdeckt wurde. Pierre Duhem, dem bekanntlich das Verdienst zukommt, dieses neue Feld der Mediävistik erschlossen zu haben, sah die „Physik“ des 14. Jahrhunderts überwiegend mit den Augen des Naturforschers, der erste Anklänge späterer Erkenntnisse in der Vergangenheit sucht, ohne sich allzusehr um die geistigen Zusammenhänge zu kümmern, in die diese „Physik“ hineingehört und aus denen heraus sie allein wirklich zu verstehen ist. Inzwischen hat sich in dieser Beziehung manches geändert, und man ist längst dazu übergegangen, auch diesen Ausschnitt der Geistes- und Wissenschaftsgeschichte zu behandeln wie andere, d. h. als Ideengeschichte — oder als *storia del pensiero*, wie die Italiener mit einem im Deutschen nicht üblichen Ausdruck sagen: als Geschichte dessen, was eine Epoche gedacht hat —, und sie ohne Vorbeziehung auf künftige Errungenschaften und ohne Wertung nach richtig oder falsch in ihrer einfachen historischen Tatsächlichkeit zu betrachten. Daneben lebt aber immer wieder die alte Streitfrage auf, ob und wie weit die *physici* des 14. Jahrhunderts schon zu Ergebnissen gekommen sind, die die der späteren klassischen Physik vorwegnehmen.

Wir glauben, daß eine definitive Antwort auf diese Frage unmöglich ist, aus verschiedenen Gründen, die wohl immer ihr Gewicht behalten werden. Zunächst und vor allem ist es die Verschieden-

heit des Maßstabs, den die einzelnen Betrachter anlegen und nach dem sie das Vorhandensein von „Ähnlichkeiten“ und „Vorwegnahmen“ konstatieren. Die (nicht sehr häufigen) Fälle, in denen mittelalterliche Denker konkrete physikalische Feststellungen, die über das schon von der Antike Gewußte hinausgehen, gemacht und sie mit mathematischer Präzision ausgesprochen haben, stehen ja nicht zur Diskussion — sie beschränken sich durchweg auf einfachste Tatbestände und haben nicht den Charakter großer Entdeckungen —, sondern es handelt sich um philosophische oder theologische Texte, in denen manchmal in ausführlicher Form, manchmal aber auch nur in gelegentlichen Äußerungen, in mehr oder weniger freiwilligen Konzessionen, in Andeutungen, die eine intuitive Ahnung erraten lassen, ein neuer Gedanke ausgesprochen wird. Hier öffnet sich natürlich der Interpretation ein weites Feld, und die Folge ist in vielen Fällen, daß die Gesprächspartner aneinander vorbeireden. Aber nicht nur das: die Antwort auf die Frage, wann man vernünftigerweise von einer Analogie zwischen mittelalterlichen und modernen Vorstellungen sprechen kann, ist natürlich subjektiv bedingt, und es ist zu erwarten, daß etwa der Historiker der exakten Naturwissenschaft manchmal mit anderen Kriterien arbeitet als der Mediävist und Philosophiehistoriker. E. J. Dijksterhuis hat diesen Unterschied in der Betrachtungsweise mit dem Gegensatzpaar „ontologisch“ und „phänomenologisch“ gekennzeichnet; so will er ohne weiteres anerkennen, daß „ontologisch, d. h. im Wesen der Sache“, der Impetus der Scholastik und der Impuls der modernen Mechanik sich prinzipiell unterscheiden, während „phänomenologisch, hinsichtlich der Art, wie sie gebraucht werden oder gebraucht werden könnten, nicht der geringste Unterschied zwischen den beiden Begriffen besteht“<sup>1</sup>; denn beide werden durch das Produkt aus Masse und Geschwindigkeit gemessen (wobei allerdings, so möchten wir hinzufügen, dieses „Maß“ für den Impetus cum grano salis zu verstehen ist). Wir brauchen wohl kaum ausdrücklich zu sagen, daß vom Standpunkt des Philosophen aus eine derartige Beziehung nicht genügt, um die beiden Begriffe als identisch anzusehen<sup>2</sup>.

Aber nicht nur die Vergleichskriterien haben bei derartigen Feststellungen etwas Willkürliches und Subjektives, auch die Beurteilung

<sup>1</sup> E. J. Dijksterhuis, Die Mechanisierung des Weltbilds (deutsche Ausgabe, Berlin 1956) 206 f.

<sup>2</sup> Wenn wir Impetus und Impuls niemals ausdrücklich miteinander verglichen haben, so liegt der Grund dafür in unserer Überzeugung, daß die beiden Begriffe in ontologischer Beziehung völlig inkommensurabel sind, und nicht, wie Dijksterhuis vermutet, in einem Mißverständnis bezüglich des Impulsbegriffs. Eher scheint uns umgekehrt, daß Dijksterhuis hier (und an manchen andern Stellen seines Werks) die scholastischen Begriffe in etwas zu moderner Art auslegt und zu sehr von ihrer ontologischen Seite absieht, die ja doch für die mittelalterlichen Philosophen immer die wichtigere und oft genug die einzige war, die überhaupt in Betracht gezogen wurde.

und Deutung der verglichenen Vorstellungen und Ideen selbst ist keineswegs eine einheitliche. Das gilt bis zu einem gewissen Grad sogar für die Ansichten über die Entstehung der klassischen Physik und die entscheidenden Faktoren, die in ihr wirksam sind, über die — wenigstens ist das der Eindruck, den man aus der einschlägigen Literatur gewinnt — noch keine völlige Klarheit zu herrschen scheint, und es gilt um vieles mehr für die Beurteilung der scholastischen Naturphilosophie, über die die Meinungen noch immer in starkem Maß auseinandergehen, vor allem bei denen, die zwar mit den Theorien der späteren Zeit vertraut sind, aber die scholastischen Quellentexte nicht aus erster Hand oder mindestens nicht in genügendem Umfang kennen. Es kommt immer wieder vor, daß aus vereinzelt Stellen oder gar aus isolierten Begriffen alles mögliche herausgelesen wird, was unhaltbar ist, wenn man die Zusammenhänge berücksichtigt, aus denen die Sätze oder Begriffe stammen. Ein besonders krasses Beispiel dafür bieten die Mißverständnisse, die sich an den Begriff „forma fluens“ geknüpft haben, der zu Unrecht mit der Wissenschaft von den Formlätuden in Zusammenhang gebracht wurde und in dem man geradezu einen Keim der Newtonschen Fluxionsrechnung sehen wollte, während tatsächlich die einzige Verwandtschaft zwischen jenem und dieser die terminologische der Bezeichnung ist<sup>3</sup>. Ähnlich steht es mit der in den letzten Jahren von mehreren Seiten vertretenen Ansicht, daß Wilhelm Ockham mit seinem Bewegungsbegriff den der allermodernsten Physik vorausgeahnt habe: zweifellos lassen sich gewisse Anklänge in den Formulierungen konstatieren, aber zwischen dem, was hier und dort gemeint ist, liegt eine Welt. Im übrigen steht Ockhams Bewegungstheorie am Ende einer langen Entwicklungsreihe und nicht am Anfang einer neuen und zieht lediglich die letzten Konsequenzen aus der traditionellen Auffassung<sup>4</sup>. Man könnte darum mit demselben Recht die ganz modernen Vorstellungen, die man in ihr finden will, auch schon aus Aristoteles herauslesen. Aber vor allem ist es das Gebiet der Mechanik im engeren Sinn, auf dem immer wieder — und immer noch im Anschluß an die ersten Interpretationen, die seinerzeit Duhem den einschlägigen Texten gegeben hatte — den scholastischen Denkern Erkenntnisse zugeschrieben werden, die tatsächlich bei ihnen noch nicht

<sup>3</sup> Wir können hier und im folgenden nicht auf alle Einzelheiten eingehen und verweisen darum ein für allemal auf die Untersuchungen, die wir in unsern „Studien zur Naturphilosophie der Spätscholastik“ vorgelegt haben (Bd. I: Die Vorläufer Galileis im 14. Jahrhundert, Rom 1949; Bd. II: Zwei Grundprobleme der scholastischen Naturphilosophie, 2. Aufl., 1951; Bd. III: An der Grenze von Scholastik und Naturwissenschaft, 2. Aufl., 1952; Bd. IV: Metaphysische Hintergründe der spätscholastischen Naturphilosophie, 1955; Bd. V: Zwischen Philosophie und Mechanik, 1958). Über „forma fluens“ und „fluxus formae“ siehe vor allem Bd. I, Kap. 1, und Bd. V, Kap. 2.

<sup>4</sup> Siehe darüber Näheres in unserm Bd. I, 17 ff. und Bd. V, 100 ff. (vgl. auch unten, Anm. 22).

zu finden sind. Wenn zum Beispiel J. Abelé<sup>5</sup> der Ansicht ist, Johannes Buridan habe in seiner Impetustheorie das Trägheitsprinzip nach seinem *physikalischen* Gehalt bereits entdeckt, ohne ihm allerdings schon die metaphysische Interpretation zu geben, die es in der Folgezeit gefunden hat<sup>6</sup>, so ist das eine Behauptung, die sich aus den Texten in keiner Weise belegen läßt. Wir werden nachher noch sehen, daß die Denker des 14. Jahrhunderts umgekehrt gerade auf philosophischem Weg — und zwar in doppelter Weise — ziemlich nahe an die Entdeckung des Trägheitsgesetzes herangekommen sind, ohne jedoch den letzten Schritt zu tun; aber davon, daß sie es in seinem physikalischen Gehalt, unabhängig von den naturphilosophischen Vorstellungen, die in der Impetustheorie zum Ausdruck kommen, erkannt hätten, ist gar keine Rede. Denn wie man auch diesen „physikalischen Gehalt“, unter Abstraktion von jeder philosophischen Deutung, verstehen will: unter allen Umständen besagt das Inertialprinzip, daß eine gleichförmige geradlinige Bewegung, die sich widerstandslos und ohne fremde Einflüsse vollzieht, unbegrenzt weiterdauert. Für die Naturphilosophie des 14. Jahrhunderts gilt dieser Satz aber ausschließlich für die Himmelsbewegungen und nicht für die irdische Mechanik: für diese letztere würde eine derartige Bewegung nicht *tempore infinito*, sondern *velocitate infinita* erfolgen, d. h. sie würde nicht in alle Ewigkeit weiterdauern, sondern sie würde sich in *instanti*, mit unendlicher Geschwindigkeit vollziehen<sup>7</sup>. Das ist von den scholastischen Denkern oft genug

<sup>5</sup> In einer Besprechung von P. Duhem, *Le système du monde*, Bd. VIII, erschienen in *ArchPh* 21 (1958) 603 ff.

<sup>6</sup> Er wirft uns (a. a. O.) vor, wir hätten den „physikalischen Gehalt“ des Trägheitsprinzips ohne weiteres identifiziert mit der metaphysischen Auslegung, die Descartes ihm gegeben hat. Aber das ist uns niemals eingefallen (P. Abelé gibt nicht an, wo wir uns in diesem Sinn geäußert haben sollen). Wenn wir den Kern des klassischen Inertialgesetzes darin sehen, daß es die gleichförmige Bewegung als „Zustand“ auffaßt, der zu seiner Erhaltung keiner äußeren Kräfte bedarf, sondern sich von selbst erhält, so setzt diese — im Deutschen übliche — Formulierung keineswegs die spezifisch cartesianische Bewegungstheorie voraus. Die Bezeichnung der gleichförmigen Bewegung als „Zustand“ (*status, état*), der dem der Ruhe parallel gestellt wird, ist ja doch nicht auf Descartes beschränkt, sondern findet sich genauso etwa bei Leibniz und Newton, dessen erste *lex* bekanntlich lautet: *Corpus omne perseverare in statu suo quiescendi vel movendi uniformiter in directum* . . . Und das „von selbst“ drückt lediglich den Gegensatz zu dem Von-äußern-Kräften-verursacht-sein aus und macht keine Voraussetzungen über die letzten kosmischen Ursachen der Bewegung: ein *proiectum separatum* bewegt sich nach dem Trägheitsprinzip „von selbst“ in dem Sinn, daß keine partikuläre Ursache erforderlich ist, um das *proiectum* im Zustand der Bewegung zu erhalten; aber ob die allgemeinen Gründe dieser Erhaltung mit Descartes in einer konstant bleibenden universalen *quantité du mouvement* zu suchen sind, oder mit Leibniz und Newton in letzten atomaren Bewegungskräften, aus denen irgendwie alle Bewegungen in der Welt folgen sollen, bleibt dabei natürlich völlig offen. Es ist uns unbegreiflich, wie ein derartiges Mißverständnis überhaupt entstehen konnte.

<sup>7</sup> Es ist das nur einer der Gründe — aber vielleicht der „physikalischste“ —, warum für die scholastische Mechanik die Bewegung eines *proiectum separatum* auf keinen Fall in *infinitum* weiter dauern würde; einen andern werden wir nach-

mit aller Deutlichkeit gesagt worden, und diese Regel ist eine der Grundlagen ihrer ganzen Mechanik — auch für Buridan und seine Schüler.

P. Abelé will weiterhin, und zwar im Anschluß an E. J. Dijksterhuis, der bereits denselben Gedanken ausgesprochen hatte<sup>8</sup>, im scholastischen Impetus einen Vorläufer sowohl der Newtonschen *vis inertiae* wie seiner *vis impressa* sehen; die Unterscheidung, die Newton zwischen beiden macht, sei ein Fortschritt, den seine Begriffsbestimmung über die Impetustheorie hinaus gebracht habe. Vergleiche zwischen dem Impetus und der Newtonschen Kraft im Sinn der *vis impressa*, d. h. der Ursache einer Bewegungsänderung (gemessen durch das Produkt aus Masse und Beschleunigung), wurden schon von Duhem und seitdem von vielen andern angestellt; neu dagegen ist der Versuch, auch die *vis inertiae* mit dem Impetus in Zusammenhang zu bringen und sie geradezu mit ihm zu identifizieren. Dabei ist von den beiden Forschern nur eines übersehen worden: Newtons *vis inertiae* ist keine *vis motrix*, sondern eine *vis resistendi*, d. h. eine passive Potenz: *Materiae vis insita* — so lautet die dritte Definition seiner *Principia mathematica philosophiae naturalis* — *est potentia resistendi, qua corpus unumquodque quantum in se est, perseverat in statu vel quiescendi vel movendi uniformiter in directum ... Neque differt quicquam ab inertia massae nisi in modo concipiendi. Per inertiam fit, ut corpus omne in statu suo vel quiescendi vel movendi difficulter deturbetur. Unde etiam vis insita nomine vis inertiae dici possit. Und in der letzten Quaestio seiner Opticks, wo Newton die Grundlagen seines naturphilosophischen Systems kurz skizziert, heißt es mit aller Deutlichkeit: *Vis inertiae est principium passivum, quo corpora* — gemeint sind die letzten Körperpartikelchen, aus denen das Universum aufgebaut ist — *in motu suo vel quiete perstant, recipiunt motum vi moventi semper proportionem respondentem et resistunt tantum quantum sibi resistitur. Ab hoc solo principio nullus unquam in rerum universitate oriri potuisset motus. Alio aliquo principio omnino opus erat ad movenda corpora, et iam, cum moventur, alio itidem principio opus est, ad motum ipsorum conservandum*<sup>9</sup>. Aber was hat eine derartige passive Kraft, „aus der niemals in der Welt eine Bewegung entstehen könnte“, mit dem scholastischen Impetus gemein, der ja gerade die aktive Ursache einer Bewegung sein soll? Von diesem führt umge-*

her noch berühren. Im übrigen siehe zu dieser Frage unseren Aufsatz „Die naturphilosophische Bedeutung der scholastischen Impetustheorie“: Schol 30 (1955) 321 ff., und Bd. V, Kap. 7.

<sup>8</sup> A. a. O. (vgl. oben, Anm. 1) 392 und 522 ff.

<sup>9</sup> Wir zitieren nach der von Samuel Clarke veranstalteten lateinischen Ausgabe (London 1706), da wir die englische nicht zur Hand haben (S. 341). — Dijksterhuis kennt diese Stelle (vgl. a. a. O. 546); wir verstehen darum nicht recht, wie er trotzdem die *vis inertiae* der dritten Definition mit dem Impetus identifizieren konnte.

kehrt eine eindeutige Linie zu jenem andern *principium*, von dem Newton an dieser Stelle spricht, das nötig war, um die Körper zu bewegen, und das ausdrücklich unterschieden wird von dem, das die Bewegung der schon in Bewegung befindlichen Körper erhält: nämlich zu den *vires motrices*, die die aktiven Ursachen der Atombewegungen sind<sup>10</sup>. Andererseits läßt sich auch für Newtons *vis inertiae* ein Vorläufer in der Naturphilosophie des 14. Jahrhunderts aufzeigen: auch Buridan und seine Schule kennen eine Trägheit der Massen, eine den materiellen Körpern innewohnende passive *vis*, die eine *potentia resistendi* ist und die bewirkt, daß der Zustand des Körpers nur mit Schwierigkeit gestört werden kann, oder, mit andern Worten, die sich jedem Versuch, den Zustand des Körpers zu ändern, widersetzt. Sie unterscheidet sich von der Newtonschen nur dadurch, daß der von ihr verteidigte *status* lediglich der der Ruhe und nicht auch der der gleichförmigen Bewegung ist<sup>11</sup>. In diesem Unterschied kommt in gleicher Weise der Gegensatz zwischen scholastischer und klassischer Mechanik zum Ausdruck wie in dem korrespondierenden zwischen dem *Impetus* oder allgemeiner der scholastischen *vis motrix* und Newtons *vis impressa*: für die Scholastik ist die natürliche Tendenz des materiellen Körpers auf Erhaltung (oder Wiederherstellung) des Ruhezustands gerichtet, und dementsprechend erfordert jede Bewegung als solche, d. h. jede konstante Geschwindigkeit, eine *vis motrix* als Ursache; für Newton verteidigt und erhält die *vis inertiae* nicht nur den Zustand der Ruhe, sondern auch den der gleichförmigen Bewegung, und dementsprechend erfordert nur jede Bewegungsänderung (jede Beschleunigung) eine *vis impressa* als Ursache. Hier und dort also haben wir, wohl unterschieden, aktive Kräfte auf der einen Seite und passive *potentiae resistendi* (et *conservandi*) auf der andern<sup>12</sup>, und es besteht wirklich kein Anlaß, eine diesen Gegensatz gewissermaßen überkreuzende Beziehung zwischen Newtons *vis inertiae* und Buridans *Impetus* anzunehmen.

<sup>10</sup> Siehe dazu unten S. 180 f.

<sup>11</sup> Zu der „Trägheit“ der scholastischen Mechanik, die in der Buridanschule geradezu als *inclinatio ad quietem* bezeichnet wird, vgl. unsern Bd. I, Kap. 3, und Bd. IV, 362 ff., ferner Schol 30 (1953) 333 ff.

<sup>12</sup> Newtons *vis inertiae*, die ja dann die spätere Physik aufgegeben hat, stellt in typischer Weise einen der Fälle dar, in denen das klassische Jahrhundert mit der spätscholastischen Naturphilosophie eher durch eine Kontinuität des „noch“ als des „schon“ verbunden ist. Es ist zweifellos richtiger zu sagen, daß Newton bei der Einführung dieses Begriffes „noch“ an gewissen Vorstellungen der Früheren festhält, als umgekehrt, daß die Scholastik in ihrer *inclinatio ad quietem* „schon“ den klassischen Trägheitsbegriff mindestens teilweise vorweggenommen habe. Auch für Newtons *vis impressa* läßt sich Ähnliches sagen (vgl. Bd. V, 380), und vielleicht sogar für seine Definition der Masse als *quantitas materiae* (Bd. I, 48). Über dem Interesse an dem, was das 14. Jahrhundert von späteren Erkenntnissen „schon“ gewußt oder geahnt hat, hat die Forschung diese Beziehungen des „noch“ vielleicht allzusehr vernachlässigt.

Wir wollen uns auf diese Beispiele beschränken, die anschaulich machen dürften, auf welche Schwierigkeiten die Diskussionen über die „Ergebnisse“ der spätmittelalterlichen Naturphilosophie, im Sinn von „richtigen“ physikalischen Erkenntnissen, stoßen. Unseres Erachtens sollte man die ganze Frage — wenn man sie überhaupt aufwerfen will — in anderer Form stellen und die Ergebnisse und eventuellen historischen Auswirkungen der neuen Einsichten des 14. Jahrhunderts nicht nur auf der schmalen Linie suchen, die von ihnen zur klassischen Physik führen könnte, sondern man sollte die Entwicklung in einem weiteren Zusammenhang betrachten.

Im Rahmen der allgemeinen Geistesgeschichte des christlichen Abendlandes bedeutet die Naturphilosophie der Spätscholastik eine neue Phase in der Haltung des Menschen der Natur gegenüber: es ist ein erster Versuch einer selbständigen Auseinandersetzung mit ihr, und zwar einer Auseinandersetzung, die sich zunächst auf rein philosophischem Boden abspielt und die gewissermaßen zu einer metaphysischerkenntnistheoretischen Neuentdeckung der Natur führt, aber noch nicht zu einer mathematisch-physikalischen. Diese Entwicklung vollzieht sich gleichzeitig mit der beginnenden Wandlung in der Dichtung und der bildenden Kunst, in der man die erste Ankündigung der kommenden Renaissance zu sehen pflegt, und sie ist zweifellos auch eine der Komponenten dieses Prozesses, und vielleicht eine wichtigere, als man bisher vermutete. Ihre „Ergebnisse“, unter diesem Gesichtspunkt betrachtet, bestehen weniger in der Umwandlung des überkommenen Naturbildes nach seiner inhaltlichen Seite als vielmehr in der neuen Art und Weise, in der man die Natur zu erfassen und zu begreifen sucht; kurz gesagt: was sich ändert, ist die Methode der Naturerkenntnis. Zum erstenmal wird der Versuch gemacht, Prinzipien herauszustellen, mit denen ein unmittelbares, von aller Autorität unabhängiges, individuell-empirisches Erkennen und Verstehen der Natur möglich ist. Und mit diesem Versuch haben unsere spätscholastischen Denker wirklich Neues und Bleibendes geleistet und haben den Weg eingeschlagen, den die folgenden Jahrhunderte weitergegangen sind und der noch der heutigen Forschung ist.

„Absurdum est simul quaerere scientiam et modum sciendi“: dieser Satz aus dem zweiten Buch der Metaphysik<sup>13</sup>, den die Scholastiker gern zitierten und kommentierten, könnte als eine Art von Motto über ihre eigenen naturwissenschaftlichen Bemühungen gesetzt werden. Denn während sie vielfach zu erstaunlichen und fast modern anmutenden Einsichten über die modi sciendi kommen, bleiben sie mit ihrer positiven scientia — von wenigen Ausnahmen abgesehen — durchaus

<sup>13</sup> Metaph. II, cap. 3 in der Übersetzung Wilhelms von Moerbeke (= I minor. 995 a 13).



im Rahmen ihrer Zeit, ohne die neu entdeckten Methoden wirklich anzuwenden. Man hat tatsächlich den Eindruck, daß sie es für „absurd“ gehalten haben, sowohl das eine wie das andere anzustreben, und daß sie sich bewußt darauf beschränkten, neue Wege der Naturerkenntnis aufzuzeigen, ohne sie selbst gehen zu wollen. Diese neuen Wege, die aus den verschiedensten Zusammenhängen heraus und auf vielfache Weise gefunden worden sind, haben alle eines gemeinsam: sie machen nicht mehr den Umweg über die Autorität des Philosophen, sondern sie führen direkt von der *experientia* und der *ratio* des einzelnen — von der man überzeugt ist, daß sie geleitet wird durch eine *inclinatio naturalis ad veritatem* — zur Natur und ihren Gesetzmäßigkeiten.

Diese Einstellung war im Lauf des 13. Jahrhunderts langsam herangereift in der Auseinandersetzung mit Aristoteles und seinen arabischen Kommentatoren, und Hand in Hand mit ihr. Der aristotelische Empirismus, der mindestens auf dem Gebiet der Kosmologie den Platonismus des 12. Jahrhunderts fast restlos verdrängt und weggeschwemmt hatte, verwandelte sich allmählich in einen — wenn wir so sagen dürfen — individuellen Empirismus. Mit der zunehmenden Erkenntnis, daß Aristoteles manchmal — und für das 14. Jahrhundert dann sogar sehr oft — auch geirrt hat, wird die Überzeugung immer stärker, daß derselbe Autoritätsanspruch, den der Philosophus, groß geschrieben, erheben kann, auch den philosophi, klein geschrieben, zugestanden werden muß und daß die Erkenntnisse, zu denen die letzteren auf eigenen Wegen kommen, geradesoviel grundsätzlichen Wert haben wie die des ersteren.

Natürlich wurde von der aristotelischen Betrachtungsweise alles das beibehalten, an dem man nichts auszusetzen fand und das man sich ohne Bedenken zu eigen machen konnte. Unglücklicherweise fanden sich unter diesem teils stillschweigend, teils ausdrücklich akzeptierten Erbe einige Prinzipien, deren Anerkennung allen Bemühungen der Spätscholastik *a priori* ihre Grenzen setzte, über die keiner hinausgekommen ist. Denn seltsamerweise ist diesen Prinzipien gegenüber niemals auch nur der Versuch einer Kritik gemacht worden, und es ist nie der Verdacht aufgetaucht, daß sie falsch sein könnten, so sehr sonst alles, was Aristoteles behauptet hatte, von den Denkern des 14. Jahrhunderts unter die Lupe genommen wurde, ehe man es gelten ließ. Zwei unter diesen prinzipiellen Voraussetzungen sind die gewichtigsten und verhängnisvollsten gewesen: es ist einmal das Theorem, daß die Qualitäten als solche selbständige, eigengesetzliche Faktoren im Naturgeschehen sind, die als „intensive Größen“ den extensiven und zeitlichen zur Seite treten und wie diese als unmittelbar meßbare und mathematisch erfassbare Quantitäten anzusehen sind. Die ganze aristotelisch-scholastische Kosmologie hat durch die Rolle, die in ihr die

Qualitäten oder, richtiger gesagt, die intensiven Größen spielen, ihr Gepräge erhalten, und auch in der neuen Physik des 14. Jahrhunderts bleibt die Situation mit allen Unzuträglichkeiten und Schwierigkeiten, die sich aus ihr ergeben und von denen uns einige noch begegnen werden, im wesentlichen dieselbe. — Das andere Prinzip ist der Satz „omne quod movetur ab aliquo movetur“: jede Bewegung erfordert einen partikulären, mit ihr verbundenen und sie unmittelbar erzeugenden Bewegter; und jede normale, sukzessiv sich vollziehende Bewegung erfordert überdies einen Widerstand, der sich der *vis motrix* entgegensetzt und von ihr überwunden wird; denn ohne Widerstand würde sich kein *motus*, sondern eine *mutatio*, d. h. eine in instanti erfolgende Ortsveränderung ergeben. Dieses Prinzip gilt für jeden *motus localis*, auch für die später so genannte Inertialbewegung, und mit ihm noch eine Reihe von andern, die sich aus ihm ergeben — wir werden das eine und andere nachher noch streifen — und die allesamt mit der klassischen Physik in Widerspruch stehen.

Es ist also jedenfalls so, daß einige der wichtigsten materialen Grundprinzipien, mit denen die Neuerer des 14. Jahrhunderts ihre Naturphilosophie aufbauen, geeignet sind, ihre Bemühungen von Anfang an mindestens in inhaltlicher Beziehung in falsche Bahnen zu lenken. Tatsächlich macht sich diese Belastung aber auch bei der Reflexion über die formalen Prinzipien der metaphysischen Grundlegung und der Erkenntnismethoden mehr als einmal bemerkbar. Andererseits ist aber zweifellos das Verdienst der scholastischen Philosophen um so größer, wenn sie trotzdem oft genug zu richtigen Einsichten gelangt sind. In welchem Sinn und wieweit das der Fall war, wollen wir nun an einigen Beispielen betrachten. Es ist natürlich in diesem Rahmen nicht möglich, das alles in seinen Einzelheiten darzulegen; wir wollen nur einige der wichtigsten Punkte herausgreifen, an denen das Besondere und Neue in der Physik des 14. Jahrhunderts deutlich wird.

Wir beginnen mit einer rein äußerlichen und formalen Neuerung, die aber trotzdem ihr Gewicht gehabt hat: es ist die Einführung des Literalkalküls (oder der Buchstabenrechnung) und seine Anwendung auf Probleme und Beweise, in denen irgendwie ein quantitatives Moment, mit dem man rechnen kann, zur Diskussion steht. In alle Gebiete der Erkenntnis, auch die abstraktesten, dringt diese neue quasi-mathematische Methode ein und wird sehr bald die vorherrschende; und umgekehrt entsteht aus ihr eine ganz neue Wissenschaft — die *scientia der „Calculaciones“* —, die ihre Fragestellung geradezu an der quantitativen oder pseudo-quantitativen Seite der Phänomene und Vorgänge orientiert. Es ist viel Unsinn bei diesen Rechnereien herausgekommen; denn gerade hier macht sich die eine der irrigen Voraussetzungen bemerkbar, von denen wir gesprochen haben: die scholasti-

schen Denker waren überzeugt, daß alles, was in der Welt als „intensive Größe“ physischer oder geistiger Art, im weitesten Sinn genommen, anzusehen ist, genauso gut meßbar ist wie ausgedehnte räumliche Größen und daß mit diesen intensiven Quantitäten genauso gerechnet werden kann wie mit den andern. Es war in der Tat ein extremes und überspanntes quantitatives Ideal, das dieser Naturphilosophie vorschwebte, und zwar nicht als zu erreichendes Ziel, sondern als von einer höheren Intelligenz bereits realisierte Wirklichkeit — *omnia in mensura et numero et pondere disposuisti* —, die man voraussetzen und mit der man in seinen Spekulationen beliebig schalten und walten kann. Immerhin, trotz der zu weit gehenden Anwendung des Prinzips bleibt ein doppeltes Ergebnis: einmal die gar nicht so seltenen Fälle, wo die Spätscholastik ihre *Calculaciones* auf Beziehungen angewandt hat, die wirklich mathematisch-rechnerisch zu erfassen sind und unter denen die Kinematik den wichtigsten Platz einnimmt; namentlich die Oxforder sind hier mit ihren Rechnereien zu einigen völlig richtigen physikalischen Einzelergebnissen gelangt. Und es bleibt als zweites die Methode als solche. Daß man die quantitative Seite der physischen Realitäten für sich und in abstracto betrachten kann, hat natürlich nicht erst das 14. Jahrhundert entdeckt; aber das Neue, das mit ihm kommt, ist die systematische Durchführung auf breitester Basis, die Ausarbeitung und Ausgestaltung einer eigentlichen Methode, und zwar einer Methode, die dann weiterhin lebendig geblieben ist bis zu Galilei und Descartes.

Analoges läßt sich von der Methode der graphischen Darstellung sagen, die an den Namen Nicolaus Oresmes geknüpft ist und die dann in der Wissenschaft von den Formlätituden jahrhundertlang weitergelebt hat. Durch diese Methode werden Intensitäten von Qualitäten und Geschwindigkeiten (aufgefaßt als Intensitäten der Bewegung) in ihrer Abhängigkeit von Raum und Zeit — wenn etwa die Intensität des Lichts auf einer Fläche in den verschiedenen Punkten verschieden stark ist oder wenn sie sich in ein und demselben Punkt mit der Zeit ändert — in einer Art von Diagrammen dargestellt, die mit richtigen Koordinatensystemen konstruiert werden. Wieder ist es nicht erst das 14. Jahrhundert gewesen, das die Möglichkeit entdeckt hat, quantitative Proportionen zwischen beliebigen Größen durch sie repräsentierende Linien graphisch zu veranschaulichen, aber wieder kommt es erst jetzt zu der Ausbildung einer wirklichen Methode und zu ihrer systematischen Anwendung. Aber wieder gilt dasselbe wie für die *Calculaciones*: es wurde ein zu weit gehender Gebrauch von dem neuen „modus imaginandi“ gemacht. Denn wieder hielt man natürlich alle intensiven Größen, d. h. alle physischen und geistigen Qualitäten welcher Art auch immer, für unmittelbar meßbar, und es erschien als ganz selbstverständlich, daß etwa der Grad einer Wärme oder einer albedo

— aber auch der einer *caritas* oder einer *virtus* — genauso wie eine räumliche Strecke oder ein Zeitmaß in seiner exakten Quantität durch eine Linie dargestellt werden kann. Immerhin ist, genau wie beim Literalkalkül, die Methode auch auf Größen angewandt worden, die die Scholastik schon mit vollem Recht als meßbar ansehen konnte — vor allem wieder auf dem Gebiet der Kinematik —, und hat hier wenn auch vielleicht nicht neue Entdeckungen — denn die waren fast alle schon vorher von den Oxforder *Calculatores* gemacht worden —, so doch die Möglichkeit einer anschaulichen Demonstration für schon gewonnene Erkenntnisse über gewisse quantitative Beziehungen gebracht. Und auch diese Methode hat in den folgenden Jahrhunderten weitergelebt und ist noch zu den Zeiten Galileis und Descartes' lebendig.

Die beiden Methoden gaben der Naturphilosophie des 14. Jahrhunderts ein neues Gesicht gegenüber der des 13. Die Probleme, die sich die Hochscholastik gestellt, und die Argumente, mit denen sie sie durchdiskutiert hatte, waren durchweg an Aristoteles orientiert gewesen. Mit den neuen Methoden dagegen wird jedem einzelnen die Möglichkeit gegeben, Fragen an die Natur zu stellen und sie auf eigenen Wegen zu beantworten. Die ungeheure Wirkung vor allem der *Calculaciones* — die einen größeren Anwendungsbereich hatten als die mehr auf Spezialprobleme beschränkte graphische Darstellung Oresmes<sup>14</sup> — erklärt sich letzten Endes zweifellos daraus: man fühlte sich befreit von den Fesseln der aristotelischen Fragestellungen und Beweismethoden, und man genoß gewissermaßen die neue Selbständig-

<sup>14</sup> In dieser letzteren klingt dagegen vielleicht noch in anderer Weise ein neuer Weg an. Nicht der der analytischen Geometrie: was Oresme beabsichtigt, ist ja, trotz zweifelloser Ähnlichkeiten im graphischen Vorgehen, etwas völlig anderes. Wenn etwa seine *longitudo* eine räumliche Ausdehnung darstellt und die senkrecht dazu aufgetragenen *latitudines* die Intensitäten irgendeiner Qualität, die das betrachtete Subiectum in jedem einzelnen Punkt aufweist, so will er nicht etwa die Abhängigkeit der Intensität von der räumlichen Lage der einzelnen Punkte mit der sich ergebenden *Kurve* darstellen, sondern er will mit der *Figur*, die auf diese Weise entsteht, eine nach seiner Ansicht tatsächlich existierende (wenn auch nicht sichtbare) körperliche Figur der Qualitäten abbilden, und zwar in exakter Weise abbilden, derart, daß die Proportionen gewahrt bleiben. Damit taucht wohl zum erstenmal der Gedanke auf, ein wirklichkeitstretues Abbild eines Stücks Natur geometrisch-exakt zu konstruieren: es ist derselbe Gedanke, der den theoretischen Bemühungen des 15. Jahrhunderts um eine „wissenschaftliche“ *perspectiva artificialis* zugrunde liegt. Aber wir wollen die Entscheidung, ob hier Beziehungen bestehen können — die Oresmesche Methode war ja zur Zeit eines Leon Battista Alberti und Piero della Francesca allgemein bekannt und sehr verbreitet —, den Kunsthistorikern überlassen. — Auf die andere Frage, wieweit in einer Äußerung, die Oresme in einem der letzten Kapitel seines Traktats tut, eine Entdeckung der graphischen Integration zu sehen ist, wollen wir nicht noch einmal eingehen (vgl. dazu Bd. III, 338 ff., und Bd. V, 373 ff.). Nur das sei noch bemerkt, daß wir unsere Bedenken nicht damit begründet haben — wie Dijksterhuis (a. a. O. 223 f.) unsere Ausführungen versteht —, daß Oresme den entscheidenden Schritt vom modernen Standpunkt aus gesehen „nicht hätte tun dürfen“, sondern damit, daß er ihn von seinem eigenen Standpunkt aus nicht tun konnte.

keit. Tatsächlich hat diese ganze, sich in uferloser Fülle ausbreitende Literatur des späteren 14., des 15. und noch des 16. Jahrhunderts, die voll ist von *Calculations* aller Art und, wo es irgend anging, auch von Oresmeschen Figuren, keinen sachlichen Fortschritt über das hinaus gebracht, was schon ein Heytesbury und Suisset in den dreißiger Jahren des 14. Jahrhunderts gefunden hatten, und offensichtlich hatten die Späteren auch gar nicht die Absicht, mit ihren Rechnereien irgendwelche allgemeineren Zusammenhänge zu erkennen, sondern ganz im Gegenteil: es ging für sie lediglich darum, spezielle, möglichst komplizierte Probleme aufzustellen und sie dann nach allen Regeln der Kunst durchzurechnen. Es ist die neue Methode als solche, in der man die große Errungenschaft und gewissermaßen den Sieg über den Aristotelismus sieht: was interessiert, ist der *modus sciendi*, nicht die *scientia*.

Ein weiterer Punkt, in dem sich im 14. Jahrhundert Wesentliches geändert hat, ist das Verhältnis zum Unendlichkeitsproblem. So sind unsere Philosophen auf dem Gebiet der später so genannten Infinitesimalrechnung zu einigen Erkenntnissen gelangt, die von grundsätzlicher und grundlegender Bedeutung sind. Auch das ist einer der neuen *modi sciendi* gegenüber der Natur: das Unendliche und das Infinitesimale rücken herein in den Bereich des Begreifbaren. Weniger wichtig sind in diesem Zusammenhang die (an sich auch interessanten und ergebnisreichen) Diskussionen über die Möglichkeit eines aktuell Unendlichen, einer *aeternitas ab ante* usw.; das sind metaphysische Fragen, deren Erörterung möglicherweise für gewisse philosophische Spekulationen der Folgezeit den Boden bereitet haben — denn wenn man einmal die *Möglichkeit* einer aktuell unendlichen räumlichen Ausgedehtheit und einer aktuell unendlichen vergangenen oder auch künftigen Zeit anerkennt, dann ist schließlich nur noch ein Schritt erforderlich, um auch ihre Realität zu postulieren —, aber für die konkrete Naturerkenntnis haben sie nicht soviel Gewicht. Für diese sind zwei andere Momente sehr viel bedeutsamer: einerseits das Hereinziehen unendlicher und infinitesimaler Größen in das Naturbild als solches und andererseits die entstehende Überzeugung, daß man mit ihnen rechnen kann wie mit gewöhnlichen endlichen Größen. Ein wichtiger Schritt auf der ersten dieser beiden Linien ist z. B. die Ersetzung des *instans*, d. h. des dauerlosen, zeitlich unausgedehnten Augenblicks, durch das Zeitdifferential; die Bewegung etwa, die sich ohne Widerstand vollzieht, erfolgt nicht mehr wie für Aristoteles und die Hochscholastik *in instanti*, sondern in einer unendlich kleinen Zeitspanne oder, anders ausgedrückt, mit unendlich großer Geschwindigkeit. Ebenso wird der ausdehnungslose Punkt zur unendlich kleinen räumlichen Größe in den vielen Problemen, die auf das Hindernis stoßen, daß — wie die Scholastik richtig erkannt hatte — auch unend-

lich viele Punkte zusammengenommen niemals eine noch so kleine endliche magnitudo ergeben würden; und so weiter. Auf der andern Seite führen die im 14. Jahrhundert sehr beliebten Diskussionen über die Möglichkeit einer creatio ab aeterno, über die Struktur des Kontinuums u. a. m. mindestens eine Reihe von Denkern zu der Überzeugung, daß ein infinitum größer sein kann als ein anderes — daß etwa, angenommen, die Welt bestünde von Ewigkeit her, seit ihrer Erschaffung mehr Monate als Jahre vergangen sind, obwohl die Anzahl beider unendlich ist — und daß umgekehrt ein indivisibile, d. h. ein Differential, kleiner sein kann als ein anderes. Man erkennt also, kurz gesagt, daß unendlich große und unendlich kleine quanta genau so arithmetischen Gesetzen unterworfen sind wie die endlichen<sup>15</sup>. Das ist natürlich ein großer Schritt über die aristotelische Philosophie hinaus, die nur ein infinitum in fieri kannte und für die ganz selbstverständlich alle infinita gleich waren. Aber wieder sind unsere Denker bei der Entdeckung des neuen modus sciendi stehengeblieben, ohne ihn zur Gewinnung neuer positiver Erkenntnisse anzuwenden, d. h. — wenn wir uns so ausdrücken dürfen —, sie haben die Differential- und Integralrechnung noch nicht erfunden. Obwohl hier und da bei gewissen Problemen die Einsicht auftaucht, daß etwa der Quotient zweier unendlicher Größen endlich ist und ebenso das Produkt aus Unendlich und unendlich Klein usw., ist es nicht zur Aufstellung von allgemeinen Regeln oder gar eines Kalküls gekommen<sup>16</sup>. Aber unsere Philosophen haben jedenfalls das Unendliche und unendlich Kleine grundsätzlich hereingezogen in den Bereich des mathematisch Erfasßbaren, und das ist sicher einer der Keime gewesen, die sich in der Folgezeit weiterentwickelt haben.

Am stärksten die Methode der künftigen großen Naturwissenschaft vorweggenommen hat ganz entschieden Thomas Bradwardine mit einer Entdeckung, die er in seinem 1328 veröffentlichten Tractatus proportionum bekanntmachte<sup>17</sup> und die mit unglaublicher Schnelligkeit und Einmütigkeit von allen Seiten anerkannt und akzeptiert wurde. Es ist die Entdeckung der mathematischen Funktion als Mittel der exakten Beschreibung von physikalischen Abhängigkeits-

<sup>15</sup> Was man allerdings noch nicht erkannt hat, obwohl diese Einsicht manchmal schon zum Greifen nahe lag, ist jener Unterschied zwischen unendlichen Mengen, den man später als Mächtigkeit bezeichnet hat: die Scholastiker sind überzeugt, daß die Reihe der ganzen Zahlen nach demselben infinitum geht wie die Anzahl der Punkte im Kontinuum oder, modern ausgedrückt, daß die Kontinuen abzählbare Mengen sind.

<sup>16</sup> Dagegen ist das 14. Jahrhundert schon zu einer Reihe von wichtigen Entdeckungen gelangt, die auf der Linie der späteren Mengenlehre liegen. Es sei nur das Äquivalenzprinzip genannt, das z. B. Albert von Sachsen schon ganz klar ausgesprochen hat, oder das Prinzip des später so genannten Dedekindschen Schnitts (vgl. Bd. I, Kap. 7).

<sup>17</sup> Näheres darüber Bd. I, Kap. 4, und Bd. IV, 373 ff.

beziehungen. Die konkrete Formel, die Bradwardine aufstellt und mit und an der er jene grundsätzliche Entdeckung macht, ist ihrer inhaltlichen Aussage nach allerdings völlig falsch, aber das nimmt dem Wert der Entdeckung als solcher nichts. Es handelte sich für ihn darum, die aristotelischen Grundgesetze der Dynamik in einer allgemein gültigen mathematischen Regel auszudrücken, ohne daß er die inhaltliche Richtigkeit dieser Prinzipien überhaupt zur Diskussion stellt; sein Ergebnis ist darum in materialer Beziehung notwendig falsch, aber in formaler völlig richtig. Wie alle seine Zeitgenossen hat Bradwardine mit seiner Kritik an Aristoteles haltgemacht vor dem Satz „omne quod movetur . . .“ und vor den Folgerungen, die er einschließt. Jede Bewegung entsteht aus dem Wirken einer vis motrix gegen einen Widerstand; wenn beide gleich sind (oder wenn der Widerstand überwiegt), kommt keine Bewegung zustande; nur wenn die Kraft den Widerstand zu überwinden vermag, bewegt sich der Körper, und zwar mit einer Geschwindigkeit, die abhängt von dem Maß, in dem die vis motrix der resistentia überlegen ist. Soweit gehen die Voraussetzungen, an denen nicht zu rütteln ist. Opinabel sind lediglich die mathematischen Beziehungen: die Überlegenheit oder der *excessus* der Kraft über den Widerstand kann entweder geometrisch oder arithmetisch aufgefaßt, d. h., er kann entweder als *proportio* (Quotient) ausgedrückt werden oder als Differenz; und weiterhin kann die Abhängigkeit der Geschwindigkeit von diesem Quotienten oder dieser Differenz verschiedene Gestalt haben. Für Aristoteles und Averroes war der *excessus* der vis motrix über die resistentia als Quotient zu denken und die Geschwindigkeit — vorausgesetzt, daß die Kraft größer ist als der Widerstand — proportional diesem Quotienten<sup>18</sup>. Für den Fall eines Gleichgewichts der Kräfte, d. h. für den Fall  $p = r$ , wenn  $p$  die vis motrix (potentia activa) und  $r$  die resistentia bedeutet, ist die Geschwindigkeit ( $v$ ) gleich null. Das ist auch die herrschende Auffassung in der Hochscholastik, obwohl, wenigstens theoretisch, gelegentlich andere Möglichkeiten in Betracht gezogen wurden. Aber diese aristotelisch-averroistische Regel schließt eine Schwierigkeit ein: wenn die Geschwindigkeit proportional dem Quotienten aus Kraft und Widerstand gesetzt wird —  $v = p/r$ <sup>19</sup> —, dann müßte sich, wenn der Fall des Gleichgewichts  $p = r$  eintritt, der Wert  $v = 1$  ergeben, und nicht  $v = 0$ , wie die physikalischen Voraussetzungen forderten und wie es ja auch der Erfahrung entspricht. Bis in die zwanziger Jahre des 14. Jahrhunderts hinein hatte niemand hieran Anstoß genommen. Man hatte ohne wei-

<sup>18</sup> Aristoteles hatte noch Fall für Fall betrachtet und auch den Begriff der Geschwindigkeit in diesem Zusammenhang noch nicht eingeführt — er spricht von dem Weg, den ein mobile in einer gewissen Zeit zurücklegt usw.; erst Averroes gibt der Regel die Formulierung, die in der Hochscholastik die traditionelle wurde.

<sup>19</sup> Wir setzen zur Vereinfachung die Proportionalitätskonstante = 1.

teres die aristotelisch-averroistische Proportionalität akzeptiert und sich weiter keine Gedanken darüber gemacht, daß auf diese Weise der Übergang von der Ruhelage zur Bewegung mit einem ziemlichen Sprung erfolgen müßte; denn die Geschwindigkeit würde ja, wenn die Kraft auch nur um einen unmerklichen Betrag den Widerstand übersteigt, sofort einen Wert annehmen, der größer ist als eins. Andererseits besagte eines der Grundprinzipien der scholastischen Kosmologie, daß die Natur keine Sprünge macht und daß sich jede Veränderung kontinuierlich und — modern ausgedrückt — stetig vollzieht, unter Durchlaufung aller Zwischenstufen. Die Hochscholastik hatte diese Absurdität, die sich aus ihrer dynamischen Grundregel ergab, stillschweigend hingenommen; offenbar sah sie den aus  $p = r$  folgenden Ruhezustand und den Bewegungsvorgang ( $p > r$ ) als zwei voneinander unabhängige Situationen an, die gesondert betrachtet werden können. An diesem Punkt nun setzt Bradwardine ein und stellt das Postulat auf, daß die Abhängigkeitsbeziehung zwischen der Geschwindigkeit einerseits, dem Quotienten aus Kraft und Widerstand andererseits für alle Werte des Quotienten — d. h. für alle Werte der unabhängigen Veränderlichen — die gleiche sein muß. Die aristotelische Annahme, daß diese Beziehung die einfache Proportionalität sei, ist darum falsch und muß durch eine andere ersetzt werden. Damit ist die Forderung gestellt, und zwar zum erstenmal in der Geschichte des physikalischen Denkens, Naturvorgänge, die sich stetig vollziehen, durch eine entsprechende mathematische Funktion zu beschreiben<sup>20</sup>. Die konkrete Regel, die Bradwardine dann schließlich herausrechnet, ist eine höchst komplizierte; in einer modernen Gleichung ausgedrückt, würde sie lauten:  $n \cdot v = (p/r)^n$ , wo  $n$  ein beliebiger Parameter ist, oder in expliziter Form:  $v = c \cdot \log. (p/r)$ <sup>21</sup>. Damit ist in der Tat eine Formel gefunden, die der gestellten Forderung entspricht: die Geschwindigkeit ändert sich stetig mit der Änderung des Quotienten  $p/r$ , der Wert von  $v$  bleibt positiv, solange die Kraft größer ist als der Widerstand, und — was die Hauptsache ist — im Fall  $p = r$  ergibt sich nicht mehr  $v = 1$ , sondern  $v = 0$ . Die Abhängigkeit der Geschwindigkeit von Kraft und Widerstand ist damit durch eine Funktion ausgedrückt, die tatsächlich für alle Werte gilt und der gegenüber es keine Ausnahmen gibt. Inhaltlich, als Ausdruck eines Naturgesetzes, ist die Bradwardinesche Formel natürlich, wie wir schon sagten, genauso

<sup>20</sup> Wenn Werner Heisenberg (Die Plancksche Entdeckung und die philosophischen Grundfragen der Atomlehre, Jahrbuch der Max-Planck-Gesellschaft 1958, 26) das eigentlich Wesentliche der Newtonschen Mechanik, auf dem der außerordentliche Einfluß seiner „Principia“ auf das Denken der folgenden Jahrhunderte beruhte, in der Tatsache sieht, daß „zum erstenmal Naturerscheinungen in ihrem zeitlichen Ablauf mathematisch beschrieben werden konnten“, so können wir das fast wörtlich auch auf Bradwardines Entdeckung anwenden.

<sup>21</sup>  $c$  ist eine beliebige Konstante.



falsch wie die physikalischen Voraussetzungen, von denen aus sie berechnet worden ist. Aber in formaler Beziehung stellt sie eine große und geradezu revolutionäre Leistung dar. Bradwardine ist sich dessen auch voll bewußt: *Ignorantiae nebulis demonstrationum flatibus effugatis, superest ut lumine scientiae splendeat veritas*: so kündigt er nach Darlegung und Ablehnung einiger anderer Lösungen seine neue Entdeckung an. Und man kann ohne Übertreibung sagen, daß das, was er mit ihr gefunden hat, dasselbe methodische Prinzip ist, das später das wichtigste und universalste Hilfsmittel der modernen Physik geworden ist.

Der Bedeutung der Entdeckung entsprach die Wirkung, die sie gehabt hat: die rasche und weite Ausbreitung, die sie findet, und die allgemeine Zustimmung, mit der sie angenommen wird. Offenbar war mit ihr ein Problem gelöst, das viele sich gestellt hatten, und eine Lücke ausgefüllt, die als solche empfunden worden war. Die Bradwardinesche Formel wurde schon bald nach Veröffentlichung seines Traktats von allen Seiten und auf allen Wissensgebieten angewandt, vor allem natürlich in der *Calculations*-Literatur im engeren Sinn, die einen großen Teil ihrer Probleme geradezu auf diese neue Entdeckung ausrichtete; aber auch in der Philosophie und Theologie, insbesondere in den Aristoteles- und Sentenzenkommentaren, trifft man bis ins 16. Jahrhundert hinein in den verschiedensten Zusammenhängen immer wieder auf die Bradwardinesche Funktion, die allmählich ein geläufiges Mittel zur Beschreibung von Abhängigkeitsbeziehungen wird, in denen irgendwie — und die Möglichkeiten sind zahlreich — eine Größe von der *proportio*, oder dem Quotienten, zweier anderer abhängt, auch wenn inhaltlich kaum mehr eine Parallele zu dem Problem besteht, an dem und für das Bradwardine selbst seine Entdeckung gemacht hatte. Wieder ist es die Methode als solche, die vor allem gewirkt hat und die lebendig geblieben ist.

Das Festhalten an dem aristotelischen Prinzip „*omne quod movetur ab aliquo movetur*“ hat nicht nur die Bradwardinesche Reform der Dynamik inhaltlich in falsche Bahnen gelenkt, es hat auch und vor allem eine neue Auffassung der Bewegung als solcher paralysiert, die einen wichtigen neuen Gesichtspunkt brachte und mit der, ohne jenes Hindernis, das Trägheitsgesetz hätte entdeckt werden können oder, genauer gesagt, aus der sich das Trägheitsgesetz als logische Konsequenz ergeben hätte, wenn nicht die Folgerung zugunsten jener aristotelischen Regel umgebogen worden wäre. Diese neue Deutung des *motus localis* — der nun auch zum erstenmal grundsätzlich geschieden wird von den andern „Bewegungen“ der aristotelischen Philosophie, d. h. von den quantitativen und qualitativen Änderungen — kommt mit Buridan: in Ablehnung der traditionellen Auffassung und der Ockhams will er in der lokalen Bewegung einen selbständigen *fluxus*

sehen, der dem bewegten Körper als ein qualitätsartiges Akzidens inhäriert<sup>22</sup> und dessen genauere Beschreibung und Analyse ihn in gewissem Sinn als ein Analogon zum „Zustand“ (status) erscheinen läßt, als den die klassische Physik die Bewegung ansieht. Aber Buridan hat nicht gewagt, eine an sich naheliegende Konsequenz aus dieser Wesensbestimmung des motus localis zu ziehen: Wenn die Bewegung ein selbständiges und „absolutes“ Akzidens des bewegten Körpers ist, das in Analogie zu den Qualitäten zu denken ist und wie diese eine Intensität hat (die Geschwindigkeit) und intensio und remissio (Beschleunigung und Verlangsamung) erfahren kann, und das sogar genau wie die Sinnesqualitäten durch Gottes Allmacht ohne subiectum, d. h. ohne mobile, bestehen könnte — das alles hat Buridan vorausgesetzt —, so wäre es nur folgerichtig gewesen, wenn er wie für die Qualitäten auch für den motus localis angenommen hätte, daß er, einmal erzeugt, von seiner Ursache unabhängig ist und von selbst weiterbesteht, bis er von äußeren Kräften zerstört wird. Es wäre die Entdeckung des Inertialprinzips gewesen.

Tatsächlich hat ein anderer, etwas späterer Philosoph des 14. Jahrhunderts, der sich auch sonst über manche der traditionellen Hemmungen hinwegsetzte, diesen Schritt getan: Blasius von Parma<sup>23</sup>, allerdings ohne den Gedanken zu vertiefen. Immerhin hat er ihn klar und deutlich ausgesprochen und kann damit durchaus als erster Entdecker des Trägheitsgesetzes angesehen werden<sup>24</sup>.

Aber für Buridan schob sich vor diesen Schluß eben jenes aristotelische Prinzip „omne quod movetur . . .“, über das auch er nicht hinweggekommen ist und das ihm nicht nur den Weg zu dieser Entdeckung versperrt hat, sondern ihn überdies vor die Aufgabe stellte, das abso-

<sup>22</sup> Ockham steht, wie wir oben schon andeuteten, auf dem traditionellen Standpunkt, der die Bewegung mit der „forma fluens“ gleichsetzt, d. h. mit den termini motus — also den motus localis im besonderen mit dem „ubi fluens“ —, und zieht nur die letzten Konsequenzen aus ihm. Aber mit einem Bewegungsbegriff, in dem auch noch das letzte *fluere* unterdrückt ist und der im motus localis nur noch das mobile, die termini motus und die Tatsache festhält, daß das erstere sich nicht zugleich in zweien der letzteren befindet, konnte man kein naturphilosophisches System aufbauen, wie Buridan und seine Nachfolger es wollten. Den Oxfordern, deren Interesse mehr auf die rechnerisch-mathematische Seite der Probleme gerichtet war, genügte er, und sie haben an ihm festgehalten, während die Pariser Schule ihn durchweg ablehnt. An sich war die Auffassung der lokalen Bewegung, die Buridan an die Stelle der Ockhamschen setzt, auch nichts Neues: sie findet sich in aller Ausführlichkeit schon bei Avicenna, war aber dann als philosophische Theorie fast immer abgelehnt worden. Dagegen entsprach sie der *opinio communis omnibus*, als die sie auch Ockham erwähnt, d. h. der Ansicht des *vulgus*, des Manns von der Straße. Erst Buridan macht — oder, richtiger gesagt: macht wieder — einen wissenschaftlichen Begriff aus ihr, der zu einer der Grundlagen seiner neuen Physik wird.

<sup>23</sup> Vgl. Bd. I, 19 ff., und Bd. V, 140 ff.

<sup>24</sup> Wenn man nicht als einen allerersten Entdecker Petrus Johannis Olivi ansehen will, der von ganz anderer Seite her zu einem prinzipiell ähnlichen Resultat gekommen ist (siehe unsern in Anm. 7 zitierten Aufsatz, ferner Bd. IV, 355 ff., und Bd. V, Kap. 6).

lute Akzidens, als das er die Bewegung definiert hat, in Beziehung zu einem motor zu setzen derart, daß jeder Momentanzustand ausschließlich abhängt von der ihn verursachenden vis motrix und in keiner Weise von dem unmittelbar vorausgehenden Zustand. Es ist das eine Vorstellung, für die wir in der modernen Physik ein ungefähres Analogon in der Erklärung der elektrischen Wirkungen haben, etwa, um ein triviales Beispiel zu wählen, im Vorgang der elektrischen Beleuchtung: In jedem Moment hängt die erzeugte Helligkeit unmittelbar ab vom elektrischen Strom, ihre Intensität folgt der verursachenden „Kraft“, und sie erlischt im selben Moment, in dem die Kraft aufhört zu wirken, d. h. in dem der Strom ausgeschaltet wird. Und es ist nicht so, daß das erzeugte Licht sich von selbst erhält und nur durch äußere Ursachen zerstört wird, sondern es kann nur bestehen, solange die Ursache besteht. Daß Buridan sich die Bewegung tatsächlich in dieser Weise vorstellt, hat er selber in aller Klarheit dargelegt, und zwar bei der Erörterung der Frage, wie die intensio und remissio des motus localis, d. h. wie Beschleunigung und Verlangsamung zu erklären sind. Die Scholastik hatte eine ganze Reihe von Theorien aufgestellt, die die intensive Änderung der Qualitäten ontologisch deuten sollten, und unter denen die Additions- und die Sukzessionstheorie die wichtigsten sind: die erstere nimmt an, daß eine intensive Steigerung durch Addition neuer Grade zu den schon vorhandenen erfolgt, die letztere, daß die Intensitäten sich ablösen, d. h. daß bei einem Intensionsprozeß — und das Entsprechende gilt natürlich immer für die remissio — in jedem Augenblick die jeweilige Intensität zerstört und im nächsten Augenblick eine stärkere (oder schwächere) völlig neu erzeugt wird. Es wird also eine Sukzession der Formen angenommen derart, daß der jeweilige Momentanzustand nicht aus dem vorhergehenden entsteht, sondern nur auf ihn folgt und ihn ablöst. Buridans Stellungnahme ist nun sehr bezeichnend. Für die permanenten Qualitäten vertritt er die Additionstheorie: wenn etwa eine Wärme eine intensio erfährt, dann bleibt nach seiner Ansicht in jedem Moment der Wärme grad des vorhergehenden Augenblicks erhalten, und es kommen neue Wärme grade dazu, die sich zum ersten addieren und mit ihm verschmelzen. Aber für den motus localis entscheidet er sich für die Sukzessionstheorie: die einzelnen Momentangeschwindigkeiten folgen nur aufeinander, aber nicht auseinander. Es besteht keine direkte Kontinuität zwischen den verschiedenen Momentanzuständen eines motus localis, sondern nur die Abhängigkeit der jeweiligen Momentangeschwindigkeit von ihrer Ursache, d. h. von der vis motrix, und die Kontinuität des Gesamtvorgangs beruht lediglich auf dem kontinuierlichen Sein dieser Kraft, die natürlich ihrerseits eine permanente Qualität ist. Auf diese Weise war die Auffassung der Bewegung als selbständiges Akzidens in Einklang gebracht mit dem Satz „omne quod

movetur . . .“; es war aber auch eine neue, zukunftsreiche Betrachtungsweise in die traditionellen Bahnen zurückgelenkt<sup>25</sup>.

An sich hat ja das Prinzip, daß jede Bewegung eine bewegende Kraft voraussetzt, für die Entstehung der klassischen Physik und für die Aufstellung des Trägheitsprinzips kein Hindernis bedeutet: viele der Philosophen und Physiker des 17. Jahrhunderts — alle, so können wir wohl sagen, die nicht Cartesianer waren — haben grundsätzlich die Bewegung als Folge und nicht als Ursache von Kräften aufgefaßt und haben alle Bewegungen in letzter Analyse zurückgeführt auf die *vires insitae* oder die *impetus*, die bei der Erschaffung der Welt den letzten Körperpartikelchen mitgeteilt worden sind und aus denen zunächst die Atombewegungen und weiterhin alle andern *motus locales* folgen. Aber wenn man glaubt, daraus schließen zu können, daß die Impetustheorie Buridans doch irgendwie schon eine erste Ahnung des Trägheitsprinzips enthalten muß<sup>26</sup>, so ist dabei der wesentliche Punkt übersehen worden, der den entscheidenden Unterschied ausmacht; man kann ihn in scholastischer Terminologie so formulieren: Das 17. Jahrhundert führt die *motus separati* letzten Endes auf *vires infatigabiles* zurück, auf universell-kosmische, unzerstörbare, unerschöpfliche und unvergängliche Kräfte, während Buridan für jede einzelne derartige Bewegung einen endlichen, beschränkten, vergänglichen *Impetus* annimmt, der als partikuläre, *ad hoc* dem *proiectum* mitgeteilte Ursache die Bewegung hervorruft und der — das ist die Hauptsache — eine *vis fatigabilis* ist, die sich verbraucht, indem sie ihr *mobile* bewegt. Buridan hätte, wie wir eben gesehen haben, von seinem neuen Bewegungsbegriff aus zu einer Formulierung des Erhaltungsprinzips kommen können, die etwa der cartesischen entsprochen hätte, wenn er in konsequenter Weise im *motus localis* einen Zustand des *motum* gesehen hätte, der sich wie eine permanente Qualität von selber erhält. Aber eben diesen Schritt hat er nicht getan und konnte ihn von seinem Standpunkt aus nicht tun. Grundsätzlich ebensogut hätte Buridan von seiner *Impetustheorie* aus zu einer Entdeckung des Trägheitsprinzips gelangen können, das etwa dem eines Galilei, Leibniz, Newton entsprochen hätte: wenn er nämlich den irdischen, von Menschenhand dem *proiectum* mitgeteilten *Impetus* als eine *vis infatigabilis* aufgefaßt hätte in derselben Art, wie er sich die *Impetus* denkt, die Gott bei Erschaffung der Welt den Himmelskörpern mitgeteilt hat. Es wäre diesmal nicht die Bewegung als solche gewesen, die als selbständiger Zustand ohne Einwirkung von außen weitergedauert hätte, sondern ein unvergänglicher und unzerstörbarer *Impetus* hätte in unbegrenzter Dauer eine gleichförmige Bewegung erzeugt. Aber auch diesen

<sup>25</sup> Näheres in Bd. V, Kap. 3.

<sup>26</sup> J. Abelé, a. a. O. (siehe Anm. 5).

Schritt hat Buridan nicht getan und konnte ihn nicht tun. Für die *motus caelestes* hat er die entsprechende Annahme gemacht und hat für sie in der Tat ein genaues Analogon zum Trägheitsprinzip der klassischen Physik postuliert<sup>27</sup>, aber nur für sie und nicht für die irdischen Bewegungen. Denn die die Himmel bewegenden *Impetus* wirken als *organa et instrumenta* des ersten Bewegers und sind darum *vires infatigabiles*, d. h. sie wirken aus einer unendlichen Energiefülle heraus und setzen sie in unendlicher Dauer in Bewegung um, während der irdische *Impetus* in jedem Fall eine endliche Energiemenge repräsentiert, die nur so lange wirkt, bis sie verbraucht ist. Durch diesen Unterschied von *vires fatigabiles* und *infatigabiles* ist der ganze Abstand bedingt, der Buridans (irdischen) *Impetus* von den *vires insitae* trennt, aus denen das 17. Jahrhundert die Bewegung der letzten Körperpartikel herleitete.

Das Lehrstück von der *fatigabilitas* der Kräfte, das bisher wenig beachtet worden ist, das aber tatsächlich eine ziemliche Rolle in der scholastischen Mechanik gespielt hat, schließt eine wichtige Erkenntnis grundsätzlicher Art ein<sup>28</sup>. Der Begriff der *vis motrix*, d. h. der besonders gearteten aktiven Qualität, deren Wirken nicht wie das anderer *virtutes* darin besteht, daß sie sich ihr *passum* assimiliert, sondern daß sie es bewegt, ist einer der dunkelsten in der scholastischen Naturphilosophie und hat eigentlich niemals eine wirklich systematische Deutung gefunden. Das „aliquid“ in dem Satz „*omne quod movetur ab aliquo movetur*“ ist für den Aristotelismus zunächst einfach eine animalische Kraft mit all den mathematisch nicht faßbaren Momenten, die sie einschließt. Und das bleibt im Grund auch in der neuen Physik des 14. Jahrhunderts so. *Sortes* kann mit seiner *virtus motiva* entweder direkt ein mit ihm in Kontakt stehendes *mobile* bewegen, oder er kann einem *proiectum separatum* einen *Impetus*, einen Ableger seiner eigenen *vis motiva*, mitteilen. Sehen wir für den Moment von dieser zweiten Möglichkeit ab. Im normalen Fall des *motus coniunctus* verbraucht *Sortes* seine Kraft, sie „ermüdet“ — *fatigatur* — und erlischt nach einiger Zeit; aber sie wird regeneriert, wenn *Sortes* sich ausruht usw. Das Phänomen der *fatigatio* hat dann die Denker des 14. Jahrhunderts dazu geführt, zwei Komponenten in den *vires motrices* zu unterscheiden, und wenn auch diese Unterscheidung zunächst noch etwas unklar ist und sich gelegentlich auch in Widersprüche verwickelt, so haben sie damit doch zweifellos etwas Richtiges und Wichtiges erkannt: sie haben, kurz gesagt, den Unterschied von Energie und Kraft entdeckt, haben gesehen, daß sich beim Prozeß des Bewegens etwas im Beweger gewissermaßen materialiter verbraucht, während

<sup>27</sup> Vgl. den in Anm. 7 zitierten Aufsatz und Bd. V, 370 ff.

<sup>28</sup> Zu den Einzelheiten siehe Bd. IV, Kap. 4; vgl. auch Bd. V, Kap. 4.

ein anderes mehr formales Moment diesen Verbrauch, oder diesen Umsatz von Energie in Bewegung, verursacht und regelt. Von hier aus ergibt sich dann die Scheidung in *vires fatigabiles* und *infatigabiles*, d. h. in Bewegungspotenzen, die — wenn wir so sagen dürfen — über eine endliche oder eine unendliche Energiemenge verfügen und die dementsprechend nur für eine beschränkte Zeit oder in unendlicher Dauer bewegen können. Zu den ersteren gehören alle animalischen Bewegungskräfte und alle *Impetus*, die von ihnen herrühren, die letzteren sind die Himmelsbeweger (und wiederum die *Impetus*, die von ihnen herrühren, nämlich *gravitas* und *levitas* — aber das soll uns hier nicht interessieren).

Die Unterscheidung einer Energie- und einer Kraftkomponente im traditionellen Begriff der *virtus motiva* bedeutet gegenüber dem Aristotelismus einen völlig neuen Gesichtspunkt, von dem aus es zu weiteren Präzisierungen und vielleicht auch zu neuen Erkenntnissen hätte kommen können. Aber wieder haben die Denker des 14. Jahrhunderts diese Möglichkeiten nicht verfolgt und haben hier wie in ihrer Wesensbestimmung der Bewegung und ihrer *Impetustheorie* nur die Wege gezeigt, die zu einer neuen *scientia* hätten führen können, ohne sie selbst zu gehen oder mindestens ohne sie zu Ende zu gehen.

In den Gebieten, aus denen wir bisher unsere Beispiele genommen haben — mathematische Beschreibung der Naturvorgänge und mechanische Grundlegung —, haben die „Ergebnisse“, zu denen die Philosophen des 14. Jahrhunderts gelangt sind, alle einen etwas relativen Charakter, da die neuen Ansätze immer wieder vor denselben traditionellen Überzeugungen zum Stillstand kommen, die die Spätscholastik noch nicht zu überwinden vermochte. Aber es gibt auch Problemzusammenhänge, in denen diese Schranken keine Rolle spielen, und in ihnen lassen sich nun in der Tat eine Reihe von unbedingt „richtigen“ Resultaten feststellen. So hat sich insbesondere eine philosophische Neubesinnung über Kausalität und Kausalprinzip, Notwendigkeit und Kontingenz, Finalität und Naturgesetz vollzogen, die zu ganz überraschenden und fast modern wirkenden Erkenntnissen geführt hat.

Das Prinzip, daß jede Ursache, die mit einem geeigneten *passum* in hinreichenden Kontakt gebracht wird, mit Notwendigkeit wirkt und daß umgekehrt jeder Effekt von einer transeunt-kausal wirkenden Ursache — die nicht unbedingt die *causa immediata* sein muß, sondern unter Umständen erst hinter einem langen Kausalnexus steht, aber immer vorhanden ist — gleichfalls mit Notwendigkeit hervorgebracht worden ist, war schon ein alter Grundsatz, der im allgemeinen in der besonders präzisen Formulierung zitiert wurde, die ihm Avicenna gegeben hatte. Aber neben und vor diese *necessitas* hatte sich in der Hochscholastik eine andere geschoben, mit dem Erfolg, daß die Be-

griffe in eine ziemliche Verwirrung gerieten, aus der dann erst die Philosophen des 14. Jahrhunderts einen Ausweg gefunden haben. Es ist die aristotelische *necessitas* des „ut semper“, der sich die *contingentia* des „ut frequenter“ und der Zufall („ut raro“) zur Seite stellen, die diese Unklarheit zur Folge gehabt hat. Eine Ursache wirkt mit *dieser* Notwendigkeit dann und nur dann, wenn die Wirkung immer eintritt, wie z. B. das tägliche Aufgehen der Sonne; sie wirkt dagegen mit bloßer Kontingenz, wenn sie ihren Effekt in den meisten Fällen, aber nicht immer hervorbringt, und schließlich liegt ein Zufall vor, wenn die Wirkung sich nur in einer Minderzahl von Fällen beobachten läßt. Ein beliebtes Beispiel für ein „ut frequenter“ ist der Mensch, der mit fünf Fingern geboren wird, während sechs Finger ein „ut raro“ darstellen. Die fünf Finger sind also kein Effekt, der „ut semper“, mit wirklicher, absoluter „Notwendigkeit“ eintritt, obwohl auf der andern Seite als selbstverständlich angenommen wird, daß sie von ihrer Ursache mit der Naturnotwendigkeit des avicennistischen Prinzips hervorgebracht worden sind. Für den modernen Leser der einschlägigen Texte sind diese Begriffe der *necessitas* und *contingentia* im Sinn des *ut semper* und *ut frequenter* leicht zu charakterisieren und ontologisch einzuordnen: es handelt sich hier offensichtlich nicht um die Notwendigkeit oder Kontingenz, mit der die *causa efficiens* als solche wirkt, sondern um die Wahrscheinlichkeit, mit der das Eintreten des Effekts erwartet werden kann. Das *ut semper* entspricht einer Wahrscheinlichkeit von hundert Prozent, das *ut frequenter* einer von mehr als fünfzig und das *ut raro* schließlich einer, die unter fünfzig Prozent bleibt. Diese *necessitas* ist also, modern ausgedrückt, einfach die statistische Notwendigkeit, während die andere, die im Kausalprinzip für das Wirken der Ursache als solches postuliert wird, eine dynamische ist. Die Situation hatte sich dadurch kompliziert, daß die statistische Notwendigkeit gleichfalls auf die Ursachen zurückbezogen wurde und daß man infolgedessen nach den Besonderheiten der *causae efficientes* fragte, die mit dieser Notwendigkeit wirken, im Gegensatz zu den andern, die nur als kontingent anzusehen sind. Da es nun aber „kontingente“ Ursachen auch in anderem, metaphysischen Sinn gibt, nämlich die freien Willensentscheidungen, deren Kontingenz natürlich mit der des *ut frequenter* nichts zu tun hat, so hatte sich tatsächlich ein beträchtliches Durcheinander ergeben, und es ist wirklich ein nicht zu unterschätzendes Verdienst der Denker des 14. Jahrhunderts, daß sie hier Klarheit geschaffen haben. Wir können nicht auf die Einzelheiten eingehen<sup>29</sup>; das Ergebnis ist, kurz gesagt, daß die universale Gültigkeit des Kausalprinzips bedingungs- und ausnahmslos postuliert wird: jede Ursache wirkt mit absoluter Notwendigkeit; und umgekehrt ist

<sup>29</sup> Siehe Bd. I, Kap. 8.

diese Notwendigkeit die einzige, die als solche bezeichnet werden kann. Auch Vorgänge, die nur ut frequenter eintreten, folgen mit dieser *necessitas absoluta* aus ihrer Ursache; denn — und das ist nun die grundsätzlich wichtige Erkenntnis — wenn ein *agens* in seinem Wirken teilweise verhindert wird oder wenn seine Wirkungen von andern durchkreuzt werden, so ist die Gesamtheit der positiven und negativen Ursachen, zusammengenommen, als die *causa efficiens* des hervorgebrachten Effekts anzusehen, der seinerseits natürlich aus der so verstandenen Ursache wirklich mit absoluter Notwendigkeit folgt. Für die Naturphilosophen des 14. Jahrhunderts hat es keinen Sinn mehr, von „*causae impedibiles*“ zu sprechen und ihnen nur ein kontingentes Wirken zuzuschreiben, wie es in der Hochscholastik üblich war; denn die *impedimenta* sind genauso Teilursachen wie das partiell verhinderte *agens principale*. In erster Linie ist das alles eine Klärung der Terminologie, mehr als eine metaphysische Umwertung der Begriffe Notwendigkeit und Kontingenz, aber diese Klärung bedeutet zugleich die Aufstellung eines methodischen Leitprinzips, das der ganzen Kosmologie Buridans und seiner näheren und weiteren Schüler ihr Gepräge gegeben hat.

Etwa gleichzeitig mit den Reflexionen über Notwendigkeit und Kontingenz, aber unabhängig von ihnen, d. h. in andern Problemzusammenhängen, sind dieselben Denker zu der Forderung einer wichtigen methodischen Abstraktion gekommen, die ganz auf der gleichen Linie liegt. Es handelt sich um die Ausschaltung der Finalursachen aus dem physikalischen Weltbild. Nicht etwa, daß Buridan und seine Nachfolger die Aktion von *causae finales* im Weltgeschehen hätten leugnen wollen: dieser Gedanke lag ihnen völlig fern. Aber sie kamen zu der Einsicht, daß — modern ausgedrückt — die Physik von ihnen abstrahieren kann und daß es aus methodologischen Gründen zweckmäßig ist, das zu tun. Es war ein Grundprinzip, das schon Aristoteles aufgestellt hatte und das immer wieder auch in der Hochscholastik unterstrichen worden war, daß jede *causa finalis* eine korrespondierende *causa efficiens* fordert oder voraussetzt: eine Zweckursache wirkt niemals direkt, *a fronte*, sondern immer nur in indirekter Weise, mittels einer *a tergo* wirkenden *causa efficiens*. In dieser Beziehung haben die Naturphilosophen des 14. Jahrhunderts nichts Neues entdeckt und auch nichts über Bord geworfen. Aber wieder haben sie eine Klärung der etwas verworrenen Begriffe herbeigeführt, die für die weitere Naturerkenntnis bedeutsam werden sollte. Soviel wir sehen, war es Buridan, der den entscheidenden Schritt tat und der erkannte, daß zur Erklärung der Naturvorgänge das Kausalprinzip ausreicht und daß von den den jeweiligen *causae efficientes* entsprechenden *causae finales* abgesehen werden kann; denn — das ist der springende Punkt — gegebene Ursachen wirken unter denselben Um-



ständen immer in derselben Weise, und diese Wirkweisen ihrerseits folgen bestimmten unveränderlichen Regeln. Daraus ergibt sich ohne weiteres, daß jeder in der Natur vorliegende Kausalnexus in seinem Ablauf in eindeutiger Weise vom Ausgangspunkt her bestimmt ist und daß die Beziehung auf ein finis und die Erklärung von einem Ziel oder Zweck aus überflüssig wird. Mit andern Worten: Buridan setzt an die Stelle der Finalursache das Naturgesetz als physikalisches Erklärungsprinzip<sup>30</sup>.

Mit dieser Einsicht ist eine weitere, nicht minder wichtige verbunden, nämlich die Anerkennung der Induktion als wissenschaftliche Erkenntnismethode. Auch das ist ein bedeutsamer Schritt über die Hochscholastik hinaus. Daß Aristoteles zu gewissen *principia* seines kosmologischen Systems letzten Endes nur auf induktivem Weg gekommen war, wußten allerdings schon Albertus Magnus und Roger Bacon; aber erst im 14. Jahrhundert wird an die Seite und manchmal auch an die Stelle der aristotelischen Induktion die eigene, selbständig durchgeführte gestellt und derselbe Gültigkeitsanspruch für sie und damit für die Methode als solche erhoben.

Die Situation hatte sich mit Nicolaus von Autrecourt zugespitzt<sup>31</sup>, der als erkennbar nur gelten lassen wollte, was durch das Prinzip des Widerspruchs gesichert ist, d. h. nur, was absolut evident ist, in dem Sinn, das sein kontradiktorisches Gegenteil einen Widerspruch einschließt. Damit wurde insbesondere allen Aussagen über Substanzen einerseits, Kausalbeziehungen andererseits der objektive Erkenntnisgehalt abgesprochen. Ob Autrecourt den Positivismus der reinen Erfahrung im Stile Humes, der sich daraus ergibt — „sum certus evidenter de obiectis quinque sensuum et de actibus meis“ —, wirklich vertreten wollte oder ob er auch hier, ähnlich wie in andern Zusammenhängen, lediglich die Absicht hatte, gegen alle und gegen alles zu polemisieren, ist schwer zu sagen; sicher ist jedenfalls, daß Buridan diese Einstellung als Angriff gegen die Methode auffaßte, mit der er selbst, wenigstens grundsätzlich, die Naturphilosophie aufbauen wollte und dementsprechend reagierte. Denn in seiner Auseinandersetzung mit Autrecourt geht es ihm nicht etwa darum, gegen diesen zu beweisen, daß Substanzen und Kausalbeziehungen mit voller Evidenz erkannt werden können — in diesem Punkt hat er ihm zweifellos sogar recht gegeben —, sondern er wendet sich gegen das methodologische Postulat Autrecourts, daß das einzige Evidenzkriterium das Prinzip des Widerspruchs sei, und gegen seine These „quod certitudo evidētiaē non habet gradus“. Die wissenschaftliche Gewißheit hat für

<sup>30</sup> Siehe zu dieser Entwicklung Bd. IV, Kap. 5.

<sup>31</sup> Zu Buridans Auffassung der Induktion und seiner Polemik gegen Autrecourt siehe Bd. IV, 384 ff.

Buridan sehr wohl ihre Gradabstufungen<sup>32</sup>, und es wäre nach seiner Ansicht sinnlos, eine mathematische Exaktheit etwa auch in den *scientiae naturales et morales* fordern zu wollen. In diesen Wissenschaften genügt eine hinreichend gesicherte Erfahrung, und das heißt: es genügt die induktive Methode, die „*inductio in multis singularibus, per quam intellectus non videns instantiam nec rationem instandi cogitur ex eius naturali inclinatione ad veritatem concedere propositionem universalem*“<sup>33</sup>.

Und zwar ist die „*inductio experimentalis*“ gemeint, wie Buridan ausdrücklich unterstreicht. Was er darunter versteht, ist nicht nur eine Induktion, die von der Beobachtung des täglichen Lebens ausgeht, sondern er denkt auch an regelrechte Experimente. Das wird an einigen Beispielen erläutert, die *implicite* zugleich eine weitere Forderung stellen, nämlich die, nicht einfach die aristotelischen und die sonst von der Tradition überlieferten „*experientiae*“ wiederzugeben und sich auf sie zu stützen, sondern eigene Beobachtungen zu machen und eigene Experimente anzustellen, um von ihnen aus auf induktivem Weg zu hinreichend gesicherten und in wissenschaftlichem Sinn „*evidenten*“ Erkenntnissen zu gelangen.

Damit ist ein methodisches Prinzip ausgesprochen, das schon beinahe das Programm der modernen Naturwissenschaft vorwegnimmt. Freilich bleibt es auch in diesem Fall im wesentlichen bei einer Entdeckung der Methode als solcher, ohne daß es — von der einen oder andern Ausnahme abgesehen — zu einer wirklichen Anwendung kommt. Immer wieder genügt den Philosophen des 14. Jahrhunderts die Erkenntnis des *modus sciendi*, und die *scientia* selbst wird nicht gesucht.

Die Folge — oder vielleicht auch der Grund — dieser Einstellung ist eine eigenartige Lücke in der „neuen Physik“ des 14. Jahrhunderts: es wurde noch nicht gemessen. Nicht nur haben unsere Philosophen darauf verzichtet, Mittel und Wege für indirekte Messungen auch nur in den einfachsten Fällen zu suchen; sie haben auch da, wo es ihnen ohne weiteres möglich gewesen wäre, keine Messungen ausgeführt: ihre Experimente und Induktionen begnügen sich mit ungefähren quantitativen Feststellungen, und ihre *Calculaciones* rechnen entweder mit willkürlichen, *a priori* festgesetzten Größen oder bleiben in der abstrakten Sphäre des Literalkalküls. Dieser Haltung gegenüber kann man sich natürlich fragen, ob sie aus einem Nicht-wollen oder einem

<sup>32</sup> Aus dieser Überzeugung erklärt sich dann auch, in einem andern Zusammenhang, seine Einstellung und die seiner Schüler zum Problem der *duplex veritas*: der höchsten und unwiderleglichen Evidenz, die garantiert ist durch göttliche Offenbarung, steht in der „philosophischen Wahrheit“ eine letzten Endes auf induktivem Weg gewonnene und darum immer nur relative Gewißheit gegenüber, die mehr den Charakter einer *probabilitas* als den einer *veritas* hat (vgl. Bd. IV, Kap. 1).

<sup>33</sup> Et qui — so geht die Stelle weiter, mit einer deutlichen Spitze gegen Autrecourt — *non vult tales declarationes concedere in scientia naturali et morali, non est dignus habere in eis magnam partem.*

Nicht-können fließt: ob der bewußte Verzicht auf eine wirklich exakte Naturwissenschaft und das Sich-begnügen mit der rein philosophischen Reflexion über die Methoden der Grund ist, warum man jedes Messen unterläßt, oder ob umgekehrt die Unfähigkeit, exakte quantitative Feststellungen zu machen, jene Haltung zur Folge hat. Wir glauben, daß das erstere der Fall ist; denn die scholastischen Philosophen haben nicht nur praktisch keine Messungen durchgeführt und keine Theorie des Messens aufgestellt, sie haben darüber hinaus aus prinzipiellen Überlegungen ein wirklich exaktes Messen für unmöglich erklärt<sup>34</sup>. Der Grund für diese Entscheidung ist in letzter Analyse weltanschaulicher Natur. Unsere Denker waren, wie wir schon sagten, davon überzeugt, daß alles in der Welt, selbst die abstraktesten „intensiven“ Größen, seine ganz bestimmten, quantitativ ausdrückbaren Maße hat: *omnia in mensura et numero et pondere disposuisti*. Aber dieses selbe Prinzip, das jede noch so weitgehende *calculatio* rechtfertigt, verbietet das Messen: Für Gott ist die ganze Welt in allen ihren Einzelheiten gezählt und gemessen, aber nicht für den Menschen; ihm ist nicht die Möglichkeit gegeben, diese Maße exakt zu erkennen und sozusagen nachzuprüfen. Das gilt nicht nur für die intensiven Größen, die ja in der Tat, so wie die Scholastik sie aufgefaßt hat, nicht meßbar sind, es gilt auch für die einfachste Form der Messung, die Bestimmung von Längenmaßen. Tatsächlich sind die scholastischen Philosophen auch hier auf eine reale Schwierigkeit gestoßen; denn es gibt ja zur Erfassung und Vergleichung von ausgedehnten Größen keine natürliche Maßeinheit. Daß man andererseits im praktischen Leben schon durchaus mit konventionellen *mensurae* gearbeitet und sich mit der damit erreichbaren mehr oder weniger großen Exaktheit begnügt hat, ist für diese grundsätzlichen Erwägungen natürlich bedeutungslos. Es entspricht ganz der geistigen Einstellung der spätscholastischen Naturphilosophie, daß sie es ablehnte, theoretisch als Ausgangspunkt einer Erkenntnismethode willkürliche und approximative Festsetzungen anzuerkennen, oder daß sie umgekehrt von einer Methode, die nur auf solchen Grundlagen aufbauen kann, nichts wissen wollte.

Der letzte Schritt, der von der rein philosophischen Naturbetrachtung zur exakten Naturwissenschaft geführt hätte, wurde darum nicht getan. Aber in dem Rahmen, auf den sie sich beschränkten, d. h. in der Reflexion über die Grundlagen und die Methoden der Naturerkenntnis, sind die Philosophen des 14. Jahrhunderts — so kann man ohne Übertreibung sagen — zu beachtlichen Ergebnissen gekommen, und zu Ergebnissen, die, wie uns scheint, sehr viel bedeutsamer sind als die vereinzelt, von Fall zu Fall mehr oder weniger diskutierbaren Vorwagnahmen konkreter physikalischer Erkenntnisse.

<sup>34</sup> Siehe dazu Bd. IV, 397 ff., und Bd. V, 24 f.