Wissenschaftstheorie I

.

Überblick und Anfänge

.

U. Mortensen

Ausarbeitung einer im WS 2005/2006 am FB Psychologie und Sportwissenschaften, Institut III, Westfälische Wilhelms Universität Münster gehaltenen Vorlesung.

Letzte Korrektur: 15. 06. 2017

Inhaltsverzeichnis

1 Wissenschaftstheorie - Philosophie der Wissenschaft **5**

1.1 Was Philosophie der Wissenschaft *nicht* ist 5

1.2 Was Philosophie der Wissenschaft *ist* 5

1.3 Hauptthemen der WT 6

1.4 Die Ziele der Wissenschaft 7

1.5 Die Kriterien für Wissenschaft 8

2 Die Anfänge **11**

2.1 Milet und die Folgen 11

2.1.1 Thales von Milet, 624-546 v.Chr. 13

2.1.2 Anaximander von Milet, 610-546 v. Chr. 16

2.1.3 Anaximenes, 585-525 v. Chr. 20

2.1.4 Zenon von Elea, 490 - 430 v. Chr. 21

2.1.5 Demokritos, 460 - 550 v. Chr. 32

2.2 Aristoteles, 384 - 322 v. Chr. 35

2.2.1 Die Metaphysik (Ontologie) 36

2.2.2 Die Naturphilosophie 39

2.2.3 Die aristotelische Seelenlehre 42

2.2.4 Theorie der Logik und der Erkenntnis 43

2.2.5 Anmerkungen und Kommentare 43

2.3 Weitere Entwicklungen: 50

2.3.1 Eratosthenes, 276 - 195 v. Chr. 50

2.3.2 Claudius Ptolemaios 53

2.3.3 Alchemie I 54

2.4 Der Untergang Roms und die Folgen 55

2.4.1 Politische und ökonomische Aspekte 55

2.4.2 Der Niedergang der Wissenschaft im Altertum 56

2.4.3 Der Islam und die Wissenschaft 58

2.5 Das mittelalterliche Europa 59

2.5.1 Roger Bacon (1214-1294) 60

2.5.2 Alchemie II 60

2.5.3 William of Ockham (1295 - 1349) 62

2.5.4 Johannes Buridan(us), $\sim$ 1300 - 1358/59 63

2.5.5 Nikolaus von Oresme (um 1320 - 1382). 63

2.5.6 Nikolaus von Kues (1401 - 1464) 64

3 Zusammenfassende Bemerkungen **65**

Literatur **67**

Index **69**

Vorbemerkung: Dieses Skriptum ist die Ausarbeitung einer Vorlesung *Einführung in die Wisenschaftstheorie*, die von mir im WS 03/04 und im WS 04/05 am FB Psychologie gehalten wurde. Wie im ersten Kapitel dieses Skriptums erläutert wird, ist Wissenschaftstheorie nicht Geschichte der Wissenschaft. Gleichwohl sind die Skripten Wissenschaftstheorie I und II primär durch wissenschaftsgeschichtliche und philosophiegeschichtliche Betrachtungen charakterisiert. Die Idee war, einen Hintergrund für die in der gegenwärtigen wissenschaftstheoretischen Debatte diskutierten Themen zu schaffen. So ist es von Interesse, dass der Beginn wissenschaftlichen Denkens 800 bis 700 v. Chr. in Milet in Ionien durch das Zusammentreffen bestimmter Bedingungen erklärt werden kann, und dass der Zusammenbruch gesellschaftlicher Voraussetzungen (Untergang Roms) eine Abkehr von nüchternem wissenschaftlichen Denken (die Erde ist eine frei im Raume schwebende Kugel) und eine Hinwendung zu religiösem und jenseitig orientiertem Denken (die Erde hat die Form eines Tabernakels) implizieren kann; auch heute wird ja wissenschaftlichem Denken immer wieder mit Skepsis begegnet (man suche mit Google nach der Flat Earth Society). Weiter soll illustriert werden, dass wissenschaftliche Entwicklungen an die Existenz geeigneter begrifflicher Strukturen gebunden zu sein scheinen: die Auflösung der Zenonschen Paradoxien (es gibt keine Bewegung) gelingt erst, wenn auf den von Leibniz eingeführten Funktionsbegriff zurückgegriffen werden kann. Das Denken in Wesenheiten (Aristoteles) scheint die Entwicklung der Wissenschaft zu behindern: obwohl Priestley und Cavendish wichtige Experimente zum Verbrennungsprozess durchführen, gelingt es ihnen nicht, den qualitativen Phlogistonbegriff zu überwinden und sich den scharfsinnigen Interpretationen Lavoisiers, der ihre Experimente intelligent variiert, anzuschließen. Religiöse Vorstellungen können die wissenschaftliche Analyse bremsen: demnach müssen Planetenbahnen kreisförmig sein, da einerseits nur der Kreis eine vollkommene Figur ist und andererseits die Planetenbahnen von Gott entworfen wurden; da Gott, Maria und Jesus ein Triade bilden, muß auch alles, was im Universum existiert, triadisch angeordnet sein. Der Reformator Servetus, der wegen seiner unitaristischen Auffassungen die Theorie eines einzigen Blutkreislaufs vorlegte, wurde deswegen von Calvin in Genf verbrannt. Die Metaphysikfeindlichkeit insbesondere der Neopositivisten (Wiener Kreis) und die Diskussion um die Unvermeidbarkeit bestimmter metaphysischer Annahmen (vergl. Wisseschaftstheorie III) läßt sich am besten vor einem wissenschaftsgeschichtlichen Hintergrund illustrieren. Darüber hinaus wird deutlich, dass wissenschaftliche Entwicklungen durch Fokussierung auf das anscheinend Kleine zustande kommen, und weniger durch Inspiration auf der Basis allumfassender Philosophien.

1 Wissenschaftstheorie - Philosophie der Wissenschaft

Die Betrachtungen in diesem Abschnitt sind kursorisch und dienen nur einer ersten Orientierung (vergl. Klemke et al. (1980)). Eine Reihe der hier auftauchenden Begriffe, z.B. Kausalität, wird umgangssprachlich gebraucht, obwohl ihre Bedeutung in der Wissenschaftstheorie immer noch diskutiert wird. In der Vorlesung wird zumindest auf die Diskussion einiger dieser Begriffe etwas näher eingegangen.

In diesem Ersten Teil des Skriptums werden insbesondere die Anfänge wissenschaftlichen Denkens in Europa behandelt; auf die frühen wissenschaftlichen Entwicklungen etwa in China wird aus Platzgründen nicht eingegangen, zumal es nicht das Ziel ist, die Geschichte dieser Entwicklungen zu skizzieren, sondern Denkweisen zu illustrieren, die an deren Beginn stehen. Die jeweiligen Ansätze sind zum Teil stark durchsetzt von religiösen und mythischen Vorstellungen, und diese wiederum können das wissenschaftliche Denken sogar blockieren, vergl. die Abschnitte 2.4 und 2.5.

1.1 Was Philosophie der Wissenschaft *nicht* ist

Zur Abkürzung wird in den folgenden Abschnitten einfach WT statt Wissenschaftstheorie geschrieben. Eine erste Eingrenzung der Ziele der WT wird durch Negationen vorgenommen:

1. WT ist nicht die Geschichte der Wissenschaften.

2. WT ist nicht Kosmologie oder Naturphilosophie, in der Betrachtungen über den Ursprung, die Natur und den Zweck des Universums angestellt werden.

3. WT ist nicht die Psychologie oder die Soziologie der Wissenschaft, in der die Wissenschaft als eine bestimmte Aktivität von Menschen studiert wird; ebenso die Motivationen der Wissenschaftler(innen), etc.

   Es gibt allerdings Arbeiten, die einerseits zur WT gezählt werden, andererseits das Verhalten aktuell forschender Wissenschaftler beschreiben, z.B. T. S. Kuhns *Structure of Scientific Revolutions*, auf die insbesondere in Wissenschaftstheorie III eingegangen wird. Hintergrund der Arbeit Kuhns sind aber die Schwierigkeiten, die mit dem Begriff der Theorie bei empirischen Forschungen verbunden sind; diese Schwierigkeiten spiegeln sich im Verhalten der Forschenden wieder, z.B. bei der Behandlung empirischer Hypothesen.

1.2 Was Philosophie der Wissenschaft *ist*

WT ist der Versuch, die Bedeutung, die Methode und die logische Struktur der Wissenschaft durch die logische Analyse der Ziele, Methoden, Kriterien, Konzepte, Gesetze und Theorien der Wissenschaft zu verstehen.

Zum Beispiel: Wissenschaftler machen Gebrauch von Begriffen wie Kausalität, Gesetz, Theorie, Erklärung, etc. In der WT werden deshalb typischerweise Fragen der folgenden Art gestellt:

1. Was heißt es, wenn man sagt, ein Ereignis sei die Ursache für ein anderes?
2. Was ist ein Naturgesetz? Wie ist es mit anderen verbunden?
3. Wodurch unterscheiden sich Beschreibung und Erklärung?
4. In welchem Sinne sind Erklärung und Vorhersage aufeinander bezogen?
5. Was definiert eine wissenschaftliche Theorie?
6. Wiss. beruht auf Empirie; - aber wie ist diese definiert? Es gibt Einheiten, über die Theorien formuliert werden, die aber nicht beobachtet werden können; z.B. Positronen, Elektronen, etc. In der Psychologie werden gelegentlich "Größen", "Einheiten" oder "Konstrukte" wie etwa das Es, das Ich oder das Überich (Freud) diskutiert, - können diese Einheiten direkt beobachtet werden, oder sind diese Einheiten reine Spekulation? Wenn ja, welchen Sinn haben sie?
7. Welche Restriktionen gibt es bei der Einführung solcher Einheiten? Kann man Begriffe wie "Vitalkraft", "elan vital" etc einfach einführen, obwohl sie nicht direkt beobachtet werden können?

1.3 Hauptthemen der WT

1. **Formale und empirische Wissenschaften:** Logik und Mathematik sind sicherlich formale Wissenschaften, - die Frage ist, in welchem Sinne sie Wissenschaften sind. Woran erkennt man eine logische oder mathematische Wahrheit? Wenn logische oder mathematische Aussagen "wahr" sind, was bedeutet dann Wahrheit? In welcher Beziehung stehen Mathematik und empirische Wissenschaft? Was bedeutet es, dass eine empirische Aussage "wahr" ist?
2. **Wissenschaftliche Beschreibung:** Wann ist eine Aussage nur beschreibend, und wann ist sie erklärend? Gibt es einen Unterschied zwischen erklärenden und verstehenden Wissenschaften? Gibt es wissenschaftliche Erklärungen im Unterschied zu anderen, eben nicht-wissenschaftlichen Erklärungen?
3. **Vorhersagen:** Was ist die Beziehung zwischen Erklärung und Vorhersage? Wie kann man Erklärungen und Vorhersagen testen?
4. **Kausalität und Gesetz:** Sind Aussagen, die die Form von Gesetzen haben, notwendig Aussagen über kausale Zusammenhänge? Gibt es Aussagen über Zusammenhänge von Phänomenen, bei denen die Zusammenhänge nicht kausal gedeutet werden? (Offenbar ja, wie die Korrelationsrechnung lehrt, aber Korrelationen sind statistische Größen. Gibt es stochastische Gesetzmäßigkeiten?)
5. **Determinismus versus Probabilismus oder der Satz vom zureichenden Grund:** Dieser auf Aristoteles zurückgehende Satz (andere Philosophen vor Aristoteles haben ihn wahrscheinlich ebenfalls aufgestellt, aber als "Satz vom zureichenden Grund" geht er auf Aristoteles zurück) motiviert die meisten Naturwissenschaftler: Phänomene müssen eine Ursache haben. Dieser Satz wird oft zusammen mit der zumindest impliziten Annahme gemacht,

dass alle beobachtbaren Ereignisse letztlich deterministisch aufeinander bezogen sind, d.h. der Zufall wird nur als eine Art Abkürzung für "es sind nicht alle Ursachen bekannt" gebraucht. Man kann aber auch die Frage nach dem "echten" Zufall stellen, so dass **probabilistische** Gesetzmäßigkeiten nicht notwendig nur einen Mangel an Information, sondern eine genuine Eigenschaft der in dieser Art von Gesetz verknüpften Ereignisse oder Objekte.

6. **Sozialwissenschaften, Psychologie:** Hat der Begriff des Gesetzes in diesen Wissenschaften die gleiche Bedeutung wie etwa in der Physik? Kann die Wissenschaft überhaupt eine Wissenschaft sein, die nach der Erkenntnis von Gesetzen sucht?

7. **Geschichte:** In welchem Sinne ist das Studium der Geschichte das Studium einer Wissenschaft? Offenbar kann man Hypothesen über das Auftreten bestimmter Klassen von Ereignissen (z.B. Revolutionen) nicht in Laborexperimenten überprüfen.

8. **Wissenschaft und Metaphysik:** Es wird oft gesagt, Wissenschaft sei keine Metaphysik, oder sollte zumindest keine sein. Wenn man Metaphysik in Bezug auf bestimmte Objekte definiert (Gott, die Seele, etc), so mag die Behauptung richtig sein. Es zeigt sich aber, dass der Begriff der Metaphysik viel weiter ist und Wissenschaft ohne bestimmte metaphysische Aussagen kaum getrieben werden könnte. Welchen Status haben dann metaphysische Aussagen?

9. **Wissenschaft und Nichtwissenschaft:** Eine gelegentlich schwierige Frage ist die nach der Unterscheidung zwischen der Wissenschaftlichkeit und der Unwissenschaftlichkeit eines erklärenden Ansatzes. So gibt es Wissenschaftstheoretiker, die der Ansicht sind, die Psychoanalyse oder die Homöopathie seien keine Wissenschaft. Die Diskussion dieser Behauptungen ist oft schärfer als die, die Astrologie sei eine (oder keine) Wissenschaft. Anhänger der Psychoanalyse oder der Homöopathie sehen den Wert dieser Lehren gerade darin, dass sie **keine** Wissenschaft seien, weil Wissenschaft zu eng sei, um den Wert dieser Lehren erfassen zu können.

1.4 Die Ziele der Wissenschaft

Gelegentlich wird die Diskussion der Frage, worin die Ziele der Wissenschaft bestehen, geführt. Es seien einige Standardantworten gegeben:

1. *Angewandte Wissenschaft:* Hier ist man an der Kontrolle und Planung bestimmter Abläufe interessiert, aber auch am technologischen Fortschritt. Es geht um die Anwendung der Naturgesetze auf praktische Fragen.

2. *Reine Wissenschaft:* Bei der reinen Wissenschaft ist man an Ergebnissen um der Ergebnisse willen interessiert. Man hat die folgenden Interpretationen:

   (a) *Psychologische Interpretation:* Die Motivation, Wissenschaft zu betreiben, sei durch das Streben nach Wissen und Wahrheit gegeben.

Wissenschaftler haben demnach Freude daran, "allgemeine" Gesetzmäßigkeiten zu finden, - und untereinander zu wetteifern, Prestige zu gewinnen, etc. Sie empfinden Freude, wenn sie eine tiefere Wahrheit gefunden haben - oder gefunden zu haben glauben.

(b) *Logische Interpretation:* Dieser Interpretation zufolge sind die Ziele der reinen W. die Beschreibung, die Erklärung, und eventuell die Vorhersage von Prozessen.

- *Beschreibung:* Sie bezieht sich auf Beobachtungen in bestimmten Kontexten, auf die Formulierung von Aussagen, die sich auf Fakten in der Welt beziehen.
- *Erklärung:* Erklärungen sind Antworten auf die Frage, warum bestimmte Fakten bestehen, und/oder wie bestimmte beobachtete Prozesse ablaufen. Zu diesem Zweck kann man zB versuchen. Faktenaussagen in Theorien einzubetten.
- *Vorhersagen:* Vorhersagen sind eng mit Erklärungen verwandt. Sie sind Aussagen über Ereignisse, die noch nicht eingetreten sind; diese Aussagen werden aus Theorien und/oder Beobachtungen abgeleitet. Weiter definiert man Kriterien, nach denen entschieden werden kann, ob eine Vorhersage korrekt ist oder nicht, womit man einen Test für eine Theorie erhält.
- *Post-/Retrodiction:* Hiermit ist die Rekonstruktion vergangener Ereignisse gemeint.

1.5 Die Kriterien für Wissenschaft

Wie oben schon angedeutet, ist eine wichtige Frage der WT, wodurch sich wissenschaftliches von nichtwissenschaftlichem Wissen unterscheidet. Newtons Gravitationstheorie gilt ohne Zweifel als Wissenschaft, während die Astrologie nicht als Wissenschaft anerkannt wird. Wie lässt sich das Kriterium charakterisieren, nach dem diese Unterscheidungen getroffen werden? Einige Punkte, die für dieses Kriterium von Bedeutung sind, werden im Folgenden aufgelistet:

1. **Intersubjektive Testbarkeit:** "Private" Intuitionen bzw Anschauungen müssen vernachlässigt werden bzw sollen keine Rolle spielen.

   Wissenschaftliche Aussagen sind Behauptungen über Sachverhalte ("knowledge claims"). Man muß entscheiden können, ob es "Evidenz"[1] für oder gegen diese "Claims" gibt. Dabei kommt es darauf an, dass die Aussagen *im Prinzip* testbar sind. "Es gibt Berge auf der Rückseite des Mondes" war im Prinzip testbar, auch wenn man bis zu einem gewissen Zeitpunkt noch nicht zum Mond fliegen konnte.

   Intersubjektiv: wird gelegentlich mit *objektiv* gleichgesetzt. Wann also ist eine Aussage objektiv? Dazu werden die folgenden Kriterien aufgelistet:

   (a) Die wissenschaftliche Aussage basiert nicht auf Illusionen, Halluzinationen oder Täuschungen.

[1] Hier ist der englische Ausdruck "evidence" gemeint, womit im Wesentlichen empirische Daten gemeint sind. In der deutschsprachigen Philosophie hat der Ausdruck "Evidenz" noch eine weitergehende Bedeutung, die in Wissenschaftstheorie III diskutiert wird.

(b) Eine Aussage reflektiert nicht einfach einen "state of mind", sondern bezieht sich auf etwas "da draußen" in der wirklichen Welt.

(c) Die Aussage enthält keinen Bias (sie ist "sine ira et studio"), d.h. sie ist durch keinen etwa durch ein Vorurteil erzeugten systematischen Fehler verzerrt.

(d) Es besteht die Möglichkeit der Verifikation durch andere und schließt demnach den persönlichen Glauben der Person, die die Aussage macht, aus.

2. **Reliabilität/Validität:** Die Aussagen der Wissenschaft sollten sollten reliabel, d.h. zuverlässig sein. Damit ist gemeint, dass unter identischen, zumindest sehr ähnlichen Bedingungen das gleiche beobachtet wird. Die Aussagen sollten auch valide, d.h. gültig sein. Damit ist gemeint, dass sie mit der Wirklichkeit übereinstimmen. Hier muß angemerkt werden, dass die Forderungen nach Reliabilität und Validität intuitiv plausibel sind, aber deswegen noch nicht aus dem Begriff der Wissenschaftlichkeit folgen, es sei denn, sie werden weiter spezifiziert. Denn es kann zur Wissenschaftlichkeit gehören, die Zufälligkeit von Ereignissen zu behaupten; dann werden nicht bestimmte Ereignisse, sondern es wird die Zufälligkeit von Ereignissen "vorausgesagt". Der Begriff der Validität erweist sich als noch schwieriger, da er auf die Wahrheit wissenschaftlicher Aussagen zielt. Es zeigt sich aber, dass auch Aussagen, die aus falschen Theorien folgen, zumindest für einen Bereich der empirischen Forschung mit der Wirklichkeit decken bzw. zu decken scheinen. Die Frage nach der Übereinstimmung von Theorien mit der Wirklichkeit bildet demnach einen zentralen Bereich der Wissenschaftstheorie ein.

3. **Definitheit und Genauigkeit:** Vage Begriffe sind nicht gut für eine Wissenschaft.

   Die verwendeten Begriffe sollten nicht mehrdeutig sein. Ein Beispiel für eine vage, mehrdeutige Aussage ist die, dass Rauchen die Wahrscheinlichkeit erhöht, an Krebs zu erkranken. Die Aussage ist vage insofern, als nichts darüber ausgesagt wird, ob die Aussage für alle Krebsarten gilt, wie hoch die Wahrscheinlichkeit in Abhängigkeit von der Menge geraucher Einheiten ist in Abhängigkeit vom Alter, in dem mit dem Rauchen begonnen wurde, etc.

4. **Kohärenz, systematischer Aufbau:** Widersprüche sollten vermieden werden.

   In diesem Zusammenhang wird oft der **hypothetico-deduktive Ansatz** genannt. Dieser ist wie folgt definiert:

   (a) Man betrachtet ein Problem aus einem Phänomenbereich.

   (b) Man stellt eine Hypothese auf, oder eine ganze Theorie, um dieses Problem zu lösen bzw das Phänomen zu erklären.

   (c) Dann leitet man aus der Theorie Aussagen über beobachtbare Phänomene ab, mit denen die Aussage getestet werden kann.

   (d) Schließlich vergleicht man die tatsächlich beobachteten Phänomene mit den Vorhersagen.

Es ist also wesentlich für eine Wissenschaft, dass nicht nur eine Menge von Aussagen über Fakten gemacht werden, sondern dass darüber hinaus ein systematischer Zusammenhang zwischen den Fakten gesucht wird, der unter Umständen die Vorhersage bisher noch nicht beobachteter Fakten oder Ereignisse erlaubt. Man mag überdies fragen, ob die Herstellung dieses Zusammenhanges die Herstellung von Wahrheit ist. Es zeigt sich, dass diese Frage auf verschiedene Wahrheitstheorien führt, - es ist offenbar nicht eindeutig geklärt, was denn überhaupt unter Wahrheit verstanden werden soll.

Abbildung 1: Raffael: Die Schule von Athen (*Stanza della Segnatura* des Vatican)

2 Die Anfänge

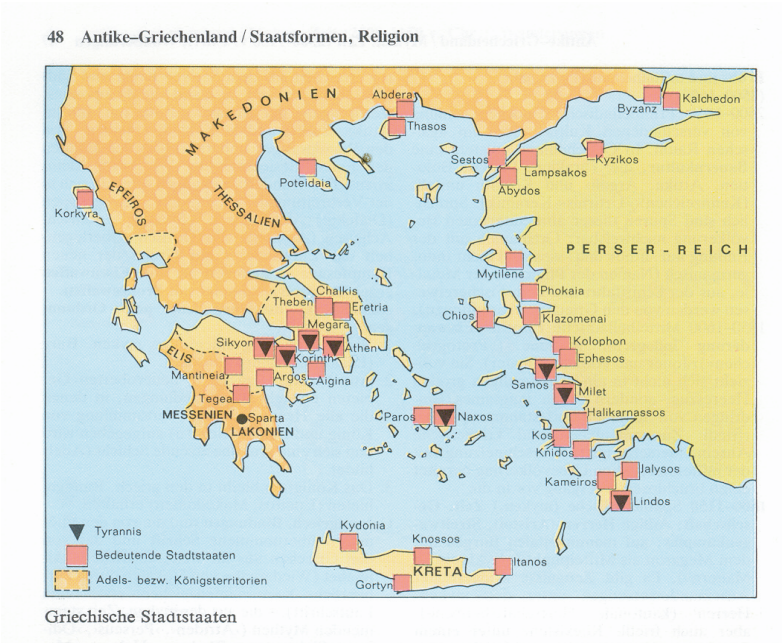
2.1 Milet und die Folgen

Die Ursprünge der Wissenschaft liegen in Ionien, einem Gebiet an der Westküste der heutigen Türkei, einschließlich der vorgelagerten Inseln (vergl. Abbildung 2). Das Gebiet reicht von Smyrna im Norden, über Ephesos bis Milet im Süden. Seit 800 v. Chr. existierte die "Dodekapolis", ein Bund von 12 Städten. Die Ionier lebten ursprünglich auf dem Peloponnes, wurden aber von dort vertrieben. Sie ließen sich u.a. in Milet nieder, ermordeten oder vertrieben die Männer und behielten die Frauen. Die Ionier hatten Haus und Hof auf dem Peloponnes verloren, ebenso ihre Heimatgötter und Kulte. Sie gaben ihre ursprünglichen Vorstellungen über das Leben der Toten unter der Erde auf und gingen zur Verbrennung der Leichen über, wodurch neue religiöse Vorstellungen nötig wurden, denen zufolge das Feuer die Seele vom Körper trennt. Nun "fliegt sie dahin wie ein flatterndes Traumbild". Es entwickelte sich eine neue "ionische Rationalität"[2], ein neuer Realismus und ein Wille zum Diesseits.

Homer, um 770 v. Chr. in der Gegend des heutigen Smyrna geboren, lernt Griechenland durch weite Reisen kennen. Um 730 v.Chr. schreibt er die Ilias, später vermutlich die Odyssee. Er schafft ein neues, humanisiertes Bild der Götter, die Seele existiert für ihn zwar noch, spielt aber nur noch eine geringe Rolle, er stellt

[2]Die folgenden Ausführungen sind an Heusers (1992) Darstellung angelehnt, zum Teil auch an Mason (1991)

Abbildung 2: Das alte Griechenland (dtv-Atlas Weltgeschichte, München 2000, p. 48)



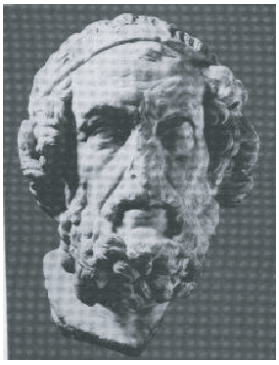
fest: "Nach dem Tod ist alles aus". Seine Lebenserfahrung und sein Nachdenken haben ihn das Ziel (telos) des Menschen wie folgt definieren lassen:

1. Der tüchtige Mann soll darnach streben, immer der Erste zu sein, egal, um was es gerade geht. 365 v. Chr. zündet Herostrat den Artemistempel in Ephesos (eines der 7 Weltwunder) an, nur um allgemeine Bekanntheit zu erlangen, - seit dem heißen Menschen, die sich durch Untaten zu verewigen suchen, Herostraten; man spricht auch von Herostratentum.

2. Man soll Wein trinken, gut essen, und dem Sänger lauschen.

Bei Homer entwickelt sich zum ersten Male der Ansatz, die Natur als aus sich selbst heraus zu erklären. Die Natur gehorcht demnach nicht einem erratischen Götterwillen, sondern ist autonom und kann *deshalb* vom Menschen erkannt werden. Erkennbar ist nämlich nur das "durch sich selbst Bestehende", das nicht jederzeit durch unberechenbare Eingriffe von außen (Götter) willkürlich gestört werden kann. Der Mensch kann die Natur nur beherrschen, so weit das überhaupt möglich ist, wenn er ihre Gesetze kennt. Voraussetzung dafür ist, dass der Mensch erst einmal auf den Gedanken kommt, die Natur sei gesetzlich geordnet, er muß dazu den durch animistische Vorstellungen und Geisterglauben erzeugten gedanklichen Widerstand überwinden. Es gibt bei Homer nicht mehr die Vorstellung, dass die Welt durch eine "Stimme" aus dem Nichts geschaffen wurde (eine in Polynesien, Ägypten bis Südamerika verbreitete Idee), sondern die Welt hat ihren Ursprung im *Okeanos*, und auch die Götter haben dort ihren Ursprung. Der Okeanos selbst ist

Abbildung 3: Homer



kein Gott, sondern nur das Urelement. Dem Altphilologen Ulrich von Wilamowitz-Moellendorf zufolge[3] konnte eine Wissenschaft von der Natur nur dort entstehen, wo man *nicht* an die Erschaffung der Welt durch Götter glaubte, sondern eben von der Autonomie der Natur ausging. Nach Heuser ist diese *Ionische Kehre* die radikalste Wendung der menschlichen Geschichte[4]. Homer geht auf kleine Details bei der Beschreibung der Natur ein (der Speer wirft einen *langen* Schatten, etc), - und der Sinn für derartige "mikroskopische" Details könnte als eine notwendige Voraussetzung für naturwissenschaftliche Durchbrüche angesehen werden: Das Zeitalter der Elektrizität begann, als der Anatomieprofessor Galvani bemerkte, dass Froschschenkel, die mit einem kupfernen Haken an einem Eisengitter aufgehängt waren, krampfartig zuckten, wenn der Wind sie gegen die Eisenstäbe schlug. Homer spricht von der Natur, ohne dabei von sich selbst zu sprechen. Nach Einstein ist diese Abstraktion von sich selbst notwendig für die Erkenntnis der Natur. Bei Homer sind kluge Menschen wie Penelopeia, der Gattin des Odysseus, *apistos*, d.h. sie sind ungläubig. *Pistis* ist der Glaube, das Fürwahrhalten. Der Dichter Epicharmos (500 v. Chr.) spricht: "Nüchtern sei und übe Mißtrauen (apistein), dies sind des Geistes Gelenke". 1637 kommt Descartes zu einem analogen Schluß: die Hauptregel einer jeden Philosophie sei, radikal misstrauisch zu sein. Sir Karl Poppers These, es komme darauf an, zu falsifizieren und nicht zu verifizieren, hat also eine lange Vorgeschichte.

2.1.1 Thales von Milet, 624-546 v.Chr.

Milet war zwischen dem 8-ten und dem 6-ten Jahrhundert eine sogenannte blühende, d.h. eine ökonomisch und intellektuell lebendige Stadt: von Milet aus führten Wege nach Ephesos und Smyrna sowie ins Lyderreich (ein mehr im Inneren der heutigen Türkei gelegenes Reich), es gab ein verarbeitendes Handwerk (Leder), Wein, Öl, Seefahrt und Handel sowohl im gesamten Mittelmeer wie im Schwarzen Meer. Das Geld ist im 7-ten Jahrhundert in Lydien aufgekommen und wurde schnell von den Miletern adaptiert. Dadurch entstand neben der Aristokratie eine

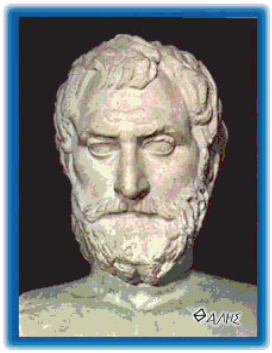
[3] zitiert nach Heuser (1992)

[4] Dies ist vermutlich eine subjektive Einschätzung. Der Wissenschaft skeptisch Gegenüberstehende kommen sicher zu einer anderen Einschätzung über die radikalste Wendung.

wohlhabende bürgerliche Klasse, aber es entstand auch Verarmung, denn den Gesetzen entsprechend konnte es passieren, dass Menschen in die Sklaverei gerieten. Es entstehen die Tyrannenherschaften (*tyrannos*, ein aus dem Lydischen abgeleiteter Ausdruck, heißt Alleinherrscher): Nach Aristoteles entsteht die Tyrannis - mit dem Tyrannen als Funktionsträger - aus dem Kampf des Volkes und der Menge gegen die Unterdrückung durch die Vornehmen. Im 7-ten Jahrhundert ist es in Milet der Tyrann Thrasybulos, der die Stadt zur Hochblüte führte. (Heuser: man überragt seine Konkurrenten um Haupteslänge, wenn man sie einen Kopf kürzer macht). Nach seinem Tod gab es von 590 bis 540 grimmige Bürgerkriege. Sie wurden überwunden einerseits durch das Gesetz (*nomos*), und andererseits durch die Gleichheit aller vor dem Gesetz (*isonomia*).

Thales entstammte einer vornehmen Familie (sonst hätte er keine Gelegenheit gehabt, als Philosoph zu leben) und galt den Griechen als der Größte unter den sieben Weisen, - von denen es insgesamt 17 gab, aber Thales steht auf *allen* Listen mit jeweils 7 Weisen. Dabei sind Weise Leute, die einerseits etwas wissen und andererseits etwas können; demnach kann auch ein Zimmermann ein *sophos* sein. Thales unternahm, wie alle gebildeten Griechen, eine Bildungsreise nach Ägypten

Abbildung 4: Thales (624-546 v. Chr.)



und kam vermutlich bis nach Babylon, wo er mit den astronomischen Beobachtungen der Babylonischen Priester bekannt wurde. Auf ihn geht der Satz: *Gnosi saton*, also: Erkenne dich selbst! zurück. Thales vertrat die Theorie, der Ursprung aller Dinge (d.h. die *arché*) sei das Wasser, aber seinen Ruhm erlangte er durch seine Kenntnisse der Astronomie und der Geometrie: er scheint der erste gewesen zu sein, der - auf der Basis babylonischer Daten? - eine Sonnenfinsternis vorhersagte, und zwar für den 28. Mai 585 v. Chr.. Diese Vorhersage hat ihm großen Ruhm eingetragen, noch 1000 Jahre später rühmt der hl Augustinus ihn wegen dieser Leistung. Seine Vorhersage hatte Folgen, denn mit ihr war erwiesen, dass derartige Ereignisse nicht willkürliche Machinationen von Göttern waren, sondern auf bestimmte Periodizitäten zurückgingen, die wiederum empirischen Daten zu entnehmen waren. Die Natur unterliegt ihren eigenen Gesetzen, die auch nicht von Zeus geändert werden können. Aussagen müssen begründet, nicht durch Magier verkündet werden. In Ionien gab es keine Priesterkaste, man rang um die *isonomia*. Die Chaldäer (Babylon) wussten über den Mond wie über andere Gestirne, dass sie Götter seien, weshalb man die Astrologie rechtfertigen konnte. Der Mond bekam

sein Licht von Mardug-Bel, dem Herrn der Götter. Nahm der Mond zu, konnte der Herrscher auf einen Sieg über die Feinde hoffen. Thales hatte eine andere Interpretation: nach Thales wird der Mond von der Sonne beleuchtet, und Wachsen und Verschwinden des Mondes *folgten aus seiner Bewegung*. Die Sterne bestünden einfach aus Erde, die allerdings glühe, - eine Vermutung, auf die er anhand niederstürzender Meteore gekommen sein mag. Ansichten dieser Art zu vertreten war nicht ganz ungefährlich: Anaxagoras wurde noch im 5-ten Jahrhundert vom Gericht in Athen der Gottlosigkeit beschuldigt, weil er behauptete, die Sonne sei ein glühender Stein, größer als der Peloponnes. In Milet allerdings war Thales nicht gefährdet. Weiter fand Thales heraus, dass der Sonnendurchmesser zum Sonnenkreis dasselbe Verhältnis hat wie der Monddurchmesser zum Mondkreis: 1:720, was annähernd richtig ist. Für Thales war dieses Verhältnis ein Hinweis auf die mathematischen Harmonien im Kosmos.

Die (alt-)griechische Theorie des Erdbebens besagt, dass durch bestimmte Aktivitäten des Meeresgottes Poseidon entstehen. Wenn Poseidon mit dem Dreizack gegen die Erde stößt, entsteht ein Erdbeben. Thales sieht dies anders. Seiner Ansicht nach haben Erdbeben nichts mit den Göttern zu tun, sondern sind das Ergebnis einer Bewegung, in die das Tragewasser geraten ist, - die Frage ist dann, wodurch das Tragewasser in Bewegung gerät. Diese Theorie ist zwar auch falsch, hat aber den Vorzug, ein Naturphänomen nicht auf die willkürliche Handlung eines Gottes, sondern auf die Natur selbst zurückzuführen. Damit wird die Theorie angreifbar, d.h. sie wird *falsifizierbar*, denn sie wird überprüfbar anhand natürlicher Phänomene. Das Handeln der Götter kann dagegen nicht widerlegt werden. Darüber hinaus strebte Thales weiter nach *Wissen um des Wissens willen*, - irgendwann wird das Wissen dann auch nützlich, aber man forscht nicht wegen eines bestimmten Zieles oder einer Anwendung. In Ägypten beobachtete er die "Nilschwelle", eine jährliche Überschwemmung der Felder durch den Nil. Das war ein wichtiges Ereignis, weil die Fruchtbarkeit der Felder von der Überschwemmung abhing. Den ägyptischen Ansichten zufolge steckte *Chnum* dahinter, ein göttlicher Widder mit sehr langen, geraden Hörnern. Thales wartete mit einer anderen Erklärung auf: es seien die *Etesien*, dh die Nordostwinde, die im Sommer wehen und dabei das Wasser vor sich hertreiben. Dies ist eine *Erklärung aus der Natur heraus*. Der Punkt ist hier, dass ein periodisches Phänomen durch ein anderes erklärt wird. Damit wurde die Theorie des Thales auch überprüfbar, d.h. sie wird *falsifizierbar*. Tatsächlich hat Herodot ihn später kritisiert: die Etesientheorie müsse falsch sein, da die Etesien manchmal ausbleiben, die Nilschwelle aber dennoch kommt, außerdem müßte die Etesientheorie dann auch auf andere Flüsse zutreffen, was aber nicht beobachtet wird. Ein Schüler des Thales, Anaximander von Milet (s. unten), entwarf eine Alternativtheorie, derzufolge die Nilschwelle eine Folge der Schneeschmelze sei. Diese Theorie ist ebenfalls falsch, die Nilschwellen werden durch mit den Monsunwindern einhergehenden Regenfälle in Äthiopien erzeugt. Die Diskussion zwischen Thales und Anaximander kann als frühes Beispiel für den offenen wissenschaftlichen Streit angesehen werden.

Jedenfalls machten die Überschwemmungen die Felder der Bauern unkenntlich, weshalb sie neu vermessen werden mussten. Herodot zufolge wurde deshalb die Geometrie als Hilfswissenschaft des Finanzamts erfunden (denn ohne vermessene Felder konnte der König keine Steuern eintreiben). Thales habe die Geometrie als erster von Ägypten nach Griechenland gebracht, weshalb er als Vater der griechischen Geometrie gilt. Er hat wohl auch die babylonische Mathematik gekannt.

Allerdings bestand diese Mathematik nur aus einer Handvoll von Faustregeln zur Lösung von Aufgaben aus Handel und Gewerbe. Nach einem ägyptischen Papyrus aus dieser Zeit ist die Mathematik (dh diese Regeln) eine *Anleitung, Kenntnis aller dunklen Dinge zu erlangen.* Man konnte lineare und quadratische Gleichungen lösen und die Kreisfläche näherungsweise berechnen: mal war $F = 3r^2$, mal $F = 3.16r^2$. Nur: es gab keine Beweise. Thales war der erste, der richtige Beweise vorlegte. Zum Beispiel: Der Durchmesser eines Kreises halbiert die Fläche eines Kreises. Das ist einerseits evident, andererseits ist es keine triviale Übung, diese Aussage *zu beweisen.* Die Einsicht in die Notwendigkeit eines Beweises ergibt sich aus der Erkenntnis, dass die Anschaulichkeit trügerisch sein kann, die Logik aber die Fallstricke der Anschaulichkeit vermeiden helfen kann. Damit hat Thales die Geometrie als beweisende Wissenschaft begründet: Resultate müssen logisch, nicht durch Verweis auf "evidente Einsichten" hergeleitet werden. In einem gleichschenkligen Dreieck sind die Basiswinkel gleich, unabhängig von der Länge der Seiten, - und dieser Sachverhalt *wird allgemein bewiesen*, nicht einfach von Fall zu Fall empirisch nachgerechnet. Da man die Figuren mit Schilf in den Sand malte, waren sie nicht ideal, man musste also abstrahieren. Dieser Sachverhalt war der Hintergrund der platonschen Ideenlehre, in der die mathematischen Ideen zu einem transzendenten Seinsbereich werden, denn der Kreis im Sand ist nur ein unvollkommenes Abbild des wahren, nur als Idee existierenden Kreises. Thales revolutionierte die Nautik: er findet dass Kapitäne sich nicht an den Großen Bären und an die Plejaden halten sollten, sondern an den Polarstern. Dazu verfasste er eine in Versen geschriebene Nautische Astronomie, in der er zeigte, wie man die Entfernung eines Schiffes von der Küste bestimmen kann. Die Höhen der ägyptischen Pyramiden vermaß er, indem er die Länge ihres Schattens zu genau dem Zeitpunkt vermaß, in dem der Schatten eines Menschen die gleiche Länge wie der Mensch selbst hat; kennt man nun die Länge des Menschen, so lässt sich die Höhe der Pyramide berechnen. Es verwundert nicht, dass Thales als "Mann der Erfindungen" galt.

2.1.2 Anaximander von Milet, 610-546 v. Chr.

Anaximander war 15 Jahre jünger als Thales, starb aber im gleichen Jahr wie dieser. Wahrscheinlich haben die beiden viel gestritten. Vermutlich stritt Anaxi-

Abbildung 5: Anaximander (611-547)

mander mit Thales über die Wassertheorie. Anaximander argumentierte, dass kein *empirisches* Element der Urstoff sein kann. Denn empirisch ist klar, dass die Luft kalt, das Wasser feucht, und das Feuer heiß ist,- die empirisch gegebenen Elemente sind also verschieden. Ein Urstoff aber muß unendlich sein, denn wäre aber eines der eben genannten Elemente unendlich, so wären die jeweils anderen dadurch schon vernichtet, es wäre ja wegen der Unendlichkeit des einen Elements kein Platz mehr für sie da[5] Wäre also Wasser der Urstoff, so gäbe es eben nur Wasser, und keine Welt. Denn kaum entstünde etwas Nichtwässriges, würde das Wasser es schon verschlucken:

Thales: ja schon, aber durch Verdunsten entsteht Luft, durch Gefrieren Festes,[6]

Anaximander: Aber Verdunsten und Gefrieren wirken von Außen auf das Wasser ein, - also kann das Wasser allein nicht der Urstoff sein!

Thales: Gut, aber dein Argument richtet sich gegen jeden empirischen Stoff..

Anaximander: Nicht nur gegen einen empirischen Stoff. Mein Urstoff ist einfach das Unendliche (*apeiron*). Oder das Unbegrenzte. Oder das Unbestimmte. Und der Urgrund ist die *arché*. Habe ich in meinem Buch *Über die Natur* ausgeführt. Zum ersten Male *nicht* in Versen, wie es die Dichter tun, denn: "Vieles lügen die Dichter", wie Solon sagte. Die arché ist das apeiron, und das kann man nicht sehen oder schmecken oder greifen. Aus dem apeiron sind sämtliche Himmel und die Welten darin entstanden. Und hier steht auch der Kernsatz:

> Woraus aber das Werden ist den seienden Dingen, in das hinein geschieht auch ihr Vergehen gemäß ihrer Schuldigkeit. Denn sie zahlen einander gerechte Strafe und Buße für ihre Ungerechtigkeit nach dem Richtspruch der Zeit.

Nach **Thales** wird **Anaximander** mit dieser Rede zum Heidegger von Milet (Heuser). Aber:

Anaximander: Dieser Satz wird aber als der erste metaphysische Satz des Abendlandes gefeiert!

Thales: Aber dieses ist ja gerade das, was mir Sorge bereitet. Statt Physik treibst Du Metaphysik. Dunkel, sehr dunkel!

Anaximander: Aber das ist doch gerade das Schöne daran!

Thales: Nach Goethe hat "Das Falsche den Vorteil, dass man immer darüber schwätzen kann". Warum muß denn Dein Urstoff unendlich sein?

Anaximander: Damit das Werden nie aufhört.

[5] Hier hat man es mit einem etwas leichtfertigen Umgang mit dem Begriff des Unendlichen zu tun. Erst im 19-ten Jahrhundert die Konsequenzen solcher Leichtfertigkeiten aufgeklärt.

[6] Dialog nach Heuser.

Thales: Aber Aristoteles würde sagen, dass der endlose Werdeprozess auch ein unendliches Recycling eines endlichen Urtoffes sein könnte.

Anaximander: Aristoteles lässtan keinem Philosophen ein gutes Haar.

Thales: Was hat dein apeiron denn noch für Eigenschaften, außer, dass es unendlich ist?

Anaximander: Es ist umfaßt alles, es steuert alles, es ist unsterblich, und unvergänglich.

Thales: Grandios! Aber wie bringt denn dieser abstrakte Urbrei die konkrete Welt hervor? Wie wird aus dem Einen das Viele?

Anaximander: Infolge der Ausscheidung der Gegensätze aus dem apeiron unter der Wirkung der ewigen Bewegung. Die Gegensätze sind warm und kalt, trocken und feucht usw.

Thales: Aber wie soll denn ein eintöniger Urbrei Gegensätze ausscheiden? Und die kämpfen dann miteinander?

Anaximander: Sicher, andernfalls würde ja nichts entstehen.

Thales: Dein apeiron erinnert mich an Nestroys Holofernes, der sagt: "Ich bin der Glanzpunkt der Natur. Ich möcht' mich einmal mit mir selber zusammenhetzen, nur um zu sehen, wer der Stärkere ist, ich oder ich." Du musst klar machen, wie dein apeiron, wie also das Homogene irgendwelche Gegensätze entstehen läßt, sonst ist dein apeiron nur ein groß geratener Holofernes.

Anaximander: Dialektik, Thales, Dialektik!

Thales: - ?

Anaximander: Hegel würde mich verstehen ...

Thales: Pass' auf, dass es dir nicht so geht wie Hegel. Der hat auf dem Totenbett gesagt:"Nur einer hat mich verstanden, und der hat mich falsch vestanden."

Anaximander: Das ist nur eine Anekdote!

Thales: Aber eine gute! Man braucht das apeiron nicht, aber man braucht die Gegensätze, um die Einzeldinge zu erzeugen. Wenn ich dagegen zu meinem Wasser noch, wie Empedokles, Feuer, Luft und Erde hinzufüge, könnte ich einiges erklären.

Anaximander: Aber es fehlte dir noch die ewige Bewegung!

Thales: ok, nehmen wir sie mit auf.

Anaximander: aber dann fehlt dir noch mein Weltgesetz! Woraus aber das Werden ist den Seienden Dingen...

Thales: Es bleibt ein dunkler Satz etc etc

Wer trägt die Erde? Die Inder sagen, auf einer Schildkröte, die wiederum ruht auf einem Elefanten, der ruht auf einem Lotos. Thales ließ sie auf dem Wasser schwimmen und dachte dann nicht weiter. Nach Anaximander liegt hier ein Problem: jede Tragetheorie braucht einen Träger, der wieder einen Träger braucht, etc. Anaximander hatte die völlig neue Idee, dass der infinite Regress, der in jeder Tragetheorie steckt, eben diese Theorie *falsifiziert*[7]; wenn also die Erde nicht getragen wird, muß sie frei im Raum schweben, und zwar mitten in der Welt! In dieser mittleren Position hat sie keinen Grund, sich nach rechts oder links, nach oben oder unten zu bewegen. Also bleibt sie ruhig an ihrem Ort.

Diesem Gedanken liegt das (implizit postulierte) Symmetrieprinzip zugrunde, das in der heutigen Physik eine grundlegende Rolle spielt. Das Bemerkenswerte an Anaximanders Schluss ist, dass er jeder sinnlichen Erfahrung widerspricht!

Anaximander folgert dann anhand des Symmetrieprinzips weiter: die Erde sei eine rotationssymmetrische Säulentrommel, deren Durchmesser dreimal so groß wie ihre Höhe sei. Um sie als Mittelpunkt kreisen drei kreisrunde Räder ohne Speichen, deren Felgen mit Feuer gefüllt sind: erst das Fixsternrad, dann das Mondrad, und dann, in größerer Entfernung, das Sonnenrad. In den Felgen sind Löcher, und die daraus hervorbrechenden Feuer nehmen wir als Sterne wahr. Der Durchmesser des Sonnenrades ist das 27-fache, der des Mondrades das 18-fache des Erddurchmessers. Die Drei ist die regierende Zahl: 3:1 ist das Verhältnis von Durchmesser zur Höhe der Erdsäule, drei Räder drehen sich um die Erde, und deren Durchmesser wird in Erddurchmessern gerechnet: $1 \times 3 \times 3$, $2 \times 3 \times 3$, $3 \times 3 \times 3$. Vermutlich gehen diese Annahmen auf die babylonische Zahlenmystik zurück.

Anaximander hat sich nicht nur mit Theorien zur Struktur des Universums begnügt, sondern machte sich ebenfalls Gedanken über die Herkunft der Lebewesen. Die haben sich, so spekuliert er, aus einem Ur-Wasserwesen "mit stachliger Rinde" Schritt für Schritt entwickelt. Auch der Mensch sei aus einem Fisch entstanden; zu Beginn seines Lebens ähnelt er einem Fisch. Der Säugling kann sich nicht selbst am Leben erhalten, "daher würde der Mensch auch, wenn er von Anfang an so gewesen wäre, wie er jetzt ist, niemals am Leben geblieben sein." Anaximander stellte eine der ersten Evolutionstheorien auf. Erst im 19-ten Jahrhundert wurde dieser Ansatz wieder aufgegriffen.

Anaximander kam auf die Idee der Entwicklung, weil er Meeresmuscheln auf trockenen Bergen gefunden hatte. Er hat viel aus kleinen Dingen gefolgert, - wie die heutigen Wissenschaftler auch (Think trivial! Mathews). Newton betrachtete fallende Äpfel (vermutlich eine vereinfachende Legende, vergl. Wissenschaftstheorie II, wo auch entsprechende pomologische Spekulationen referiert werden), Lavoisier experimentierte am Herdfeuer und fand den Sauerstoff, Darwin fielen die Unterschiede zwischen Finken auf benachbarten Galapagos-Inseln auf. Es gibt zwar keine Wissenschaft ohne theoretische Spekulation, aber man darf Spekulationen nicht zu

[7] Ist es logisch zwingend, dass eine Theorie, die einen infiniten Regress impliziert, ihr Gegenteil verifiziert?

weit treiben, wie es zB Hegel tat, als er befand:[8]

> "Das Quadrat ist das Gesetz der Natur, das Dreieck das des Geistes".

Wie schon bei Thales ist der Kern des Anaximanderschen Ansatzes, dass die Natur aus sich selbst heraus zu erklären sei, ohne Rückgriff auf Götter, Geister und Dämonen.

2.1.3 Anaximenes, 585-525 v. Chr.

Anaximenes wiederum war ein Schüler des Anaximander. Wie alle guten Schüler empfand er, dass er sich von seinem Meister abzusetzen habe. Also entschloss er sich, nicht nur die Wassertheorie des Thales abzulehnen, sondern auch die *apeiron*-Theorie des Anaximander. Anaximenes postulierte, die Luft sei die Basis allen Seins. Auch sei die Erde kein Zylinder, sondern eine flache Scheibe, die nicht frei im Raum schwebe, sondern auf Luft gebettet sei. Außerdem könne die Sonne nicht mehr, wie bei Anaximander, frei unter der Erde durchgehen. Nach Anaximenes ging sie nachts längs des Scheibenrandes von Westen nach Osten zurück. Die Annahme konnte er machen, weil es im Norden Berge gab, hinter denen die Sonne sich des nachts "verstecken" konnte.

Anaximenes stimmte mit seinen Vorgängern Thales und Anaximander in dem Ansatz, die Welt aus Einem zu erklären, überein. Dieser Ansatz ist aber nicht unproblematisch, denn er impliziert die Frage, wie sich aus dem Einen das Vielfache gewinnen läßt. Anaximenes geht dabei von dem Ansatz aus, dass das Homogene sich nicht *qualitativ* verändern kann, denn der Begriff des qualitativ Verschiedenen widerspricht dem des qualitativ Homogenen. Daraus folgert er, dass *quantitative* Veränderungen die Basis des Vielfachen sein müssen. Anaximenes nimmt dementsprechend an, dass sich der Urstoff gelegentlich an bestimmten Stellen verdichten, an anderen verdünnen kann, und so entstehen die verschiedenen Dinge der Sinnenwelt:

> *Die Dinge der Welt sind immer aus dem gleichen Urstoff, nur in verschiedenen Dichtegraden.*

Die geniale Idee hier ist, *qualitative* Unterschiede auf *quantitative* zurückzuführen. Diese Rückführung ist ein wichtiger Schritt auf dem Weg zur Mathematisierung der Physik. Die Frage ist nur, warum gerade die Luft der Urstoff sein soll. Anaximenes hat sich aus *empirischen* Gründen für sie entschieden. Denn aus der Luft kommt der Blitz, und damit das Feuer, also entsteht das Feuer durch Verdünnung, denn Feuer ist der dünnste Stoff. Durch Verdichtung wird die Luft zu Wind, zu Wolken, zu Regen, also zu Wasser, und schließlich, indem man immer mehr verdichtet, zu Erde und Stein. Außerdem ist die Luft in ständiger Bewegung, und dadurch wird ihre Veränderung möglich. Weiter: der Mensch bleibt durch seinen Atem am Leben, und dieser Lufthauch ist die *Psyche*, - also die Seele:

> **Satz des Anaximenes:** *Wie unsere Psyche, die Luft ist, uns beherrschend zusammenhält, so umfaßt auch den ganzen Kosmos Hauch und Luft (pneuma und aer).*

[8] zitiert nach Heuser. H.: Lehrbuch der Analysis, Teil 2, Stuttgart, Leipzig, Wiesbaden, 2002, p. 67

Der Mensch ist demnach ein Mikrokosmos, der im Prinzip genau so gebaut ist wie der Makrokosmos. Ein Studium des Menschen wird damit auch zu einem Studium der Welt. Diese Ideen haben den Arzt Paracelsus, sowie Mystiker (Böhme) und Dichter (Novalis) stark beinflußt. Anaximenes Denken führt einerseits in die mathematische Physik, andererseits in die introspektive Mystik.

Anaximenes hat sich insbesondere um die Klärung nach der Natur des Hagels und des Schnees, des Elmsfeuers und des Regenbogens bemüht. Letzlich sind es nicht die großen Gedanken um die *arché* und das *apeiron* gewesen, die die Wissenschaft vorangetrieben haben, sondern die Lösungsvorschläge für die angeblich kleinen Fragestellungen.

Der große Vorteil von Milet war es, dass Thales, Anaximander und Anaximenes nebeneiander in Milet lebten und dachten. So fand ein Wettstreit der Ideen statt, der die Philosophie - damals mit der Physik identisch - vorantrieb. Im Mittelalter wurde Aristoteles zur Autorität, und Galilei musste sehr viel Kraft darauf verwenden, an dieser Autorität vorbeizukommen. In den milesischen Theorien haben jedenfalls die Götter keine Funktion, - und *erst dadurch* wird Wissenschaft möglich. Das von den milesischen Philosophen zugrundegelegte Axiom ist, dass die Natur aus sich selbst heraus besteht und aus sich selbst heraus verstanden werden kann. Nach Heuser ist dies der größte geistige Umbruch, den es in der Geschichte der Menschheit gegeben hat, größer als der Umbruch, den Buddha in Indien herbeiführte, Zarathustra in Persien und Jeremias in Israel. Es ging um Welterkenntnis anstatt um Gotterkenntnis.

Dieser Ansatz hat sich nicht allgemein durchgesetzt. Anaximander wurde in Athen wegen Gottlosigkeit der Prozess gemacht; er konnte sich nur durch die Flucht retten. Um 400 nach Chr tadelt Augustinus die Physiker Thales und Anaximander dafür, dass sie in ihrer Physik dem Geist Gottes keinen Raum gelassen hätten. Aber auch Plutarch (ca 100 nach Chr) soll nicht unerwähnt bleiben:

> "Es ist ja das entsetzte Staunen über die Himmelserscheinungen, welches den Aberglauben bei all denen hervorruft, die über die Ursachen dieser Dinge im Dunklen tappen und in ihrer Unwissenheit vor dem Göttlichen zittern und beben. Einzig die Naturwissenschaft kann uns davon frei machen, auf ihrem Boden erwächst an Stelle einer ängstlichen, fiebrigen Dämonenfurcht eine auf heitere Hoffnung gegründete, unbeirrbare Frömmigkeit."

2.1.4 Zenon von Elea, 490 - 430 v. Chr.

Zenon von Elea war ein Schüler des Parmenides und wollte, wie Platon in seinem Dialog *Parmenides* schreibt, dessen Lehre, dass es weder Raum noch Zeit und also auch keine Bewegung gibt, *logisch* beweisen: er wollte zeigen, dass die Annahme einer Bewegung zu einem Widerspruch führt. Zenon gilt als der Begründer der Dialektik und in diesem Zusammenhang als Erfinder des indirekten Beweises; Dialektik heißt dabei zunächst nicht mehr als sorgfältige logische Analyse, die in einem Dialog erarbeitet wird: einer der Dialogpartner trägt eine These vor, die vom Partner angegriffen wird und die der erste verteidigen soll. Eine Möglichkeit dabei ist, die Implikationen eines bestimmten Standpunktes – hier z.B. der Ansicht, dass es Bewegung gibt – hergeleitet werden, die offenbar absurd sind und damit den Stand-

Abbildung 6: (a) Parmenides, (b) Zenon

(a) (b)

punkt widerlegen. Der Ansatz ist *rationalistisch*, d.h. es wird davon ausgegangen, dass die Welt durch Nachdenken und nicht durch empiristisches Herumstochern in den Gegebenheiten der Sinne zu erklären sei. Die Paradoxien des Zenons gehen in der heute bekannten Form auf Aristoteles zurück, der sie zu widerlegen suchte. Wie Huggett (2010) ausführt, existiert eine extensive Literatur über das Ziel, dass Zenon mit seinen Argumenten verfolgte: einige Autoren sind der Ansicht, er wollte bestimmte Argumente der Pythagoräer widerlegen, die Mehrheit scheint aber der Ansicht zu sein, dass er die gemeinhin geltenden Annahmen über Bewegung und Mannigfaltigkeit in Frage stellen wollte.

Die folgende Auflistung wurde von Salmon (2001) übernommen:

1. **Achilles und die Schildkröte ("Achilles-Paradoxie"):** Achilles und eine Schildkröte veranstalten einen Wettlauf. Bekanntlich ist Achilles ein sehr schneller Läufer, und so wird es als fair betrachtet, dass die Schildkröte einen Vorsprung erhält. Achilles startet in der Position A, die Schildkröte in der Position S_0, und beide starten zur gleichen Zeit. Die Analyse zeigt nun, dass Achilles die Schildkröte nicht einholen kann. Denn Achilles muß, um die Schildkröte einholen zu können, sicherlich die Distanz $S - A$ überwinden. In der Zeit, die er für diese Distanz benötigt, legt aber die Schildkröte eine Distanz Δx zurück und hat die Position $S_1 = S_0 + \Delta x$ erreicht. Nachdem Achilles die Position S_0 erreicht hat, muß er die Distanz $S_1 - S_0 = \Delta x$ überwinden. Hat er aber S_1 erreicht, so ist die Schildkröte bei $S_2 = S_1 + \Delta x'$. So geht es immer weiter: immer, wenn Achilles die jeweils letzte Position S_j erreicht hat, ist die Schildkröte ihm um ein kleines Stück voraus, und Achilles kann die Schildkröte nie erreichen und also schon gar nicht überholen.

2. **Die Dichotomie:** Es gibt zwei Formen dieses Arguments. Zeno argumentiert, dass Achilles, will er überhaupt S_0 erreichen, ersteinmal die Hälfte der Strecke $d(A, S_0)$ zurücklegen muß (mit $d(A, S_0)$ wird die Distanz zwischen A und S_0 bezeichnet). Anschließend muß er die Hälfte des restlichen Weges zurücklegen, so dass er, sollte er dies schaffen, $3/4$ der Distanz $d(A, S_0)$ zurückgelegt hat. Anschließend muß er wiederum die Hälfte des jetzt verbleibenden Rests zurücklegen; sollte er dies auch schaffen, hat er jetzt $3/4 + 1/8$ der Strecke zurückgelegt, etc. So zeigt sich, dass er jeweils die Hälfte des noch

verbleibenden Rests der Strecke überwinden muß, und Zeno folgert, dass er auf diese Weise die Position S_0 nie erreicht.

Während in der Achilles-Paradoxie das Ziel – die Schildkröte – beweglich ist, ist es (S_0) hier stationär.

In der zweiten Form der Dichotomie-Paradoxie wird gezeigt, dass Achilles und die Schildkröte ihre Positionen nie verlassen können. Denn um die Distanz $d(A, S_0)$ zu überwinden, muß Achilles die Strecke $d(A, S_0)/2$ überwinden. Um diese zu überqueren, muß er die Hälfte dieser Hälfte hinter sich bringen, also eine Distanz der Länge $d(A, S_0)/4$. Und so geht es weiter: um die Distanz $d(A, S_0)/4$ zu überqueren, muß er sicherlich eine Distanz der Länge $d(A, S_0)/8$ überwinden, etc. Die Folge der Distanzen, die er überwinden muß, hat die Form

$$0, \cdots, \frac{1}{2^n}, \cdots \frac{1}{128}, \frac{1}{64}, \frac{1}{32}, \frac{1}{16}, \frac{1}{8}, \frac{1}{4}, \frac{1}{2}.$$

Achilles befindet sich zu Beginn im Punkt 0, und um ihn zu verlassen, muß er in den ersten benachbarten Punkt gelangen, der aber durch $1/2^n \to 0$ für $n \to \infty$ definiert sei. Damit gibt bei dieser Folge, so Zeno, *kein erstes Element*. Also kann Achilles gar nicht starten. Ein analoges Argument gilt für die Schildkröte.

3. **Der Pfeil:** Zeno zeigt hier, dass ein Pfeil, der durch die Luft fliegt, sich tatsächlich gar nicht bewegt. Denn zu einem gegebenen Zeitpunkt ist der Pfeil an einem bestimmten Ort im Raum, und dort nimmt er genau den Teil des Raumes ein, den seine Form und sein Volumen erfordern. Zu diesem Zeitpunkt kann sich der Pfeil nicht bewegen, denn Bewegung hieße, dass der Zeitpunkt teilbar wäre, wo doch der Begriff des Zeitpunkts schon bedeutet, dass er nicht weiter teilbar ist. Bewegte sich der Pfeil, so wäre er überdies an einer Position zum einen Teil des Zeitpunkts, und an einer anderen Position zum anderen Teil des Zeitpunkts. Darüber hinaus müßte der Pfeil im Falle einer Bewegung einen Raumteil einnehmen, der größer als er selber ist, denn andernfalls hätte er keinen Raum, um sich zu bewegen.

   Diese Paradoxie ist weniger eingängig als die Achilles- und die Dichotomie-Paradoxie. Russell (2001) (in Salmon, 2001) bemerkt dazu: "The more the difficulty is mediated, the more real it becomes".

4. **Das Stadium:** Gegeben seien drei Objekte A, B unde C, die wie in der linken Tabelle von (1) abgeordnet seien.

$$\begin{array}{cccccc} & \text{Erste Position} & & & & \text{Zweite Position} \\ & A_1 & A_2 & A_3 & & A_1 \quad A_2 \quad A_3 \\ B_1 & B_2 & B_3 & & & B_1 \quad B_2 \quad B_3 \\ & & C_1 & C_2 & C_3 & C_1 \quad C_2 \quad C_3 \end{array} \tag{1}$$

   Die Reihe A_1, A_2, A_3 bleibe stationär, und die B- und C-Reihen werden so gegeneinander bewegt, dass sich die Konfiguration der rechten Tabelle ergibt. C_1 wird dabei an 2-mal so vielen Bs vorbeibewegt wie an As, damit C_1 mit der Position A_1 übereinstimmt. Nach Aristoteles hat Zeno nun gefolgert, dass die "doppelte Hälfte gleich der Hälfte" sei (Russell: "double the time is equal to half").

Dieses Argument erscheint im ersten Augenblick als einigermaßen konfus. Russell und Owen haben allerdings darauf hingewiesen, dass hier die Annahme gemacht wird, dass es sowohl Raum- wie auch Zeitatome geben kann, deren Ausdehnung ungleich Null ist. Gilt diese Annahme, so besteht die Bewegung darin, verschiedene Raumatome zu verschiedenen Zeitatomen einzunehmen. Die A_i sollen sich nun nicht bewegen, während sich die B_i mit der Rate eines Raumatoms pro Zeitatom nach rechts bewegen, und die C_i bewegen sich mit der gleichen Rate nach links bewegen. C_1 liegt zunächst rechts von B_2, dann links von B_2, – aber es gibt – wegen der diskreten Struktur der Zeit – keinen Moment, in dem C_1 mit B_2 gleichauf liegt. Also existiert keine Zeit, zu der C_1 und B_2 einander passieren, d.h. sie passieren sich nie.

5. **Die Mannigfaltigkeit (Pluralität):** Diese Paradoxie wird von Simplicius, einem Kommentator der Werke Aristoteles' aus dem sechsten Jahrhundert, berichtet. Demnach führt die Annahme einer Vielheit von Dingen auf Widersprüche. Simplicius zufolge ging Zeno zunächst davon aus, dass es eine Vielheit von Gegenständen oder Objekten gäbe. Dann müsse es eine definitive Anzahl von Objekten geben. Diese Anzahl müsse aber endlich sein, denn wäre die Anzahl unendlich, so wäre sie unspezifisch. Eine (endliche) Menge von Objekten ist nun irgendwie im Raum angeordnet. Der Einfachheit halber werde angenommen, dass sie längs einer Geraden angeordnet seien. Zwischen irgendzwei Objekten muß nun, so Zenon, ein drittes sein, und zwischen diesen drei Objekten müssen wieder je ein Objekt, also insgesamt zwei, liegen. Dies geht so weiter, – ohne Ende. Damit gibt es aber unendlich viele Objekte, im Widerspruch zur Annahme, dass es nur endlich viele gebe. Daraus folgert Zenon, dass die anfängliche Annahme, dass es überhaupt verschiedene Objekte gebe, falsch sein muß.

   Die Frage ist zunächst, warum es überhaupt Objekte zwischen den Objekten geben muß. Die einfachste Interpretation ist, dass es etwas geben muß, dass zwei benachbarte Objekte trennt. Im einfachsten Fall ist dieses trennende Objekt einfach die Luft. Am Ende gibt es hinreichend kleine Teile, die man Punkt-Teile nennen könnte (Huggett, 2004), die trennend wirken, aber beliebig dicht liegen können.

   Der Kerngedanke ist, dass ausgedehnte Objekte aus Teilen bestehen müssen, – also existiert eine Pluralität von Teilen. Diese Teile müssen selber wieder Teile haben. Dieser Prozess der Aufteilung kann unendlich oft wiederholt werden, also muß es unendlich viele Teile, also Objekte, geben. Wie Salmon ausführt, hilft die Annahme einer atomischen Struktur der Materie hier nicht weiter, da es nicht notwendig sei, dass sie (die Atome) separierbar seien, es käme nur darauf an, dass sie konzeptuell unterscheidbar sind. Das führt zu dem Schluß, dass die "letzten" Teile keine Ausdehnung haben können, denn dann wären sie ja weiter teilbar. Aber ein ausgedehntes Objekt kann nicht aus Teilen bestehen, die keine Ausdehnung haben, denn eine Summe von Nullausdehnungen ist wieder Null. Also müssen alle Teile eine Ausdehnung haben. Summiert man aber eine unendliche Anzahl von ausgedehnten Objekten (Teilen), so ergibt sich eine unendliche Ausdehnung des gesamten Obekts, im Widerspruch zur Annahme einer endlichen Ausdehnung. So kommt es zur Zenonschen Aussage, dass ausgedehnte Objekte "so klein sind, dass sie keine Ausdehnung haben, und so groß sind, dass sie unendlich ausgedehnt sind."

Bevor die übliche Auflösung insbesondere der beiden ersten Paradoxien auf Seite 28 gegeben wird sollen einige philosophische Reaktionen auf die Paradoxien vorgestellt werden.

Die Zenonschen Paradoxien werden seit ca. 2500 Jahren diskutiert, wobei die Auseinandersetzung mit ihnen in den letzten hundert Jahren besonders intensiv war (Salmon, 1970/2001). Einige Autoren stellen schlicht fest, dass Zenon elementare logische Fehler begangen habe, während Russel (1943, Kap. 13) befand, Zenons Argumente seien "immeasurably subtle and profound"[9]. Immanuel Kant hat sich in seiner *Kritik der reinen Vernunft* über die möglicherweise unendliche Aufteilung physikalischer Gegebenheiten Gedanken gemacht, ohne Zenon zu zitieren, aber offenbar hat er sie in Zenons Geist angestellt. Es ist interessant, kurz auf seine Ausführungen[10] einzugehen, da sie nicht formal im Sinne der Mathematik durchgeführt werden; man sieht, was bei einem solchen Ansatz geschieht.

Kant beginnt seine Argumentation wie folgt:

> "Wenn ich ein Ganzes, das in der Anschauung gegeben ist, teile, so gehe ich von einem Bedingten zu den Bedingungen seiner Möglichkeit. Die Teilung der Teile (subdivisio oder decompositio) ist ein Regressus in der Reihe der Bedingungen. Die absolute Totalität dieser Reihe würde nur alsdann gegeben sein, wenn der Regressus bis zu einfachen Teilen gegeben sein könnte. Sind aber alle Teile in einer kontinuierlich fortgehenden Dekomposition immer wiederum teilbar, so geht die Teilung, d.i. der Regressus, von dem Bedingten zu seinen Bedingungen in infinitum; weil die Bedingungen (die Teile) in dem Bedingten selbst enthalten sind, und, da dieses in einer zwischen seinen Grenzen eingeschlossenen Anschauung ganz gegeben ist,insgesamt auch mitgegeben ist.
>
> ⋮
>
> ... ist es doch keineswegs erlaubt, von einem solchen Ganzen, das ins Unendliche teilbar ist, zu sagen: es bestehe aus unendlich viel Teilen. Denn obgleich alle Teile in der Anschauung des Ganzen enthalten sind, so ist doch darin nicht die ganze Teilung enthalten, welche nur in der fortgehenden Dekomposition, oder in dem Regressus selbst besteht, der die Reihe allererst wirklich macht. Da dieser Regressus nun unendlich ist, so sind zwar alle Glieder (Teile), zu denen er gelangt, in dem gegebenen Ganzen als Aggregate enthalten, aber nicht die ganze Reihe der Teilung, welche sukzessivunendlich und niemals ganz ist, folglich keine unendliche Menge, und keine Zusammenstellung derselben in einem Ganzen darstellen kann."

Offenbar kämpft Kant hier mit der gedanklichen Möglichkeit einer unendlichen Teilbarkeit ("der Regressus, von dem Bedingten zu seinen Bedingungen in infinitum"). Der Begriff des Unendlichen scheint unklar zu sein: von einem Ganzen, das ins Unendliche teilbar ist, könne man nicht sagen, dass es aus unendlich vielen Teilen besteht, die Teilung besteht nur in der "fortgehenden Dekomposition ... die "die Reihe allererst wirklich macht". Die Reihe ist "sukzessivunendlich und niemals ganz", und deswegen sei sie keine unendliche Menge.

Kant schreitet fort zu einer Diskussion der Substanz, die in einem Gegenstand zu finden ist. Die Frage ist, was mit ihr bei einer (gedanklichen) Teilung geschieht.

[9] zitiert nach Salmon 1970/2001, p. 7

[10] Transzendentale Elementarlehre, Zweite Abteilung, Abschnitt 9, II. *Auflösung der kosmologischen Idee von der Totalität der Zusammensetzung eines gegebenen Ganzen in der Anschauung.*

Zunächst stellt Kant fest, "dass die Dekomposition [des Raumes] niemals alle Zusammensetzung wegschaffen könne, indem alsdann sogar aller Raum, der sonst nichts Selbstständiges hat, aufhören würde (welches unmöglich ist); allein dass, wenn alle Zusammensetzung der Materie in Gedanken aufgehoben würde, gar nichts übrig bleiben solle, scheint sich nicht mit dem Begriff einer Substanz vereinigen zu lassen, die eigentlich das Subjekt aller Zusammensetzung sein sollte, ..." Es müsse am Ende ein *quantum discretum* geben, denn "anzunehmen, dass in jedem gegliederten (organisierten) Ganzen ein jeder Teil wiederum gegliedert sei,und dass man auf solche Art, bei Zerlegung der Teile ins Unendliche, immer neue Kunstteile antreffe, mit einem Worte, dass das Ganze ins Unendliche gegliedert sei, will sich gar nicht denken lassen." Weiter geht's:

> Die unendliche Teilung bezeichnet nur die Erscheinung als quantum continuum und ist von der Erfüllung des Raumes unzertrennlich; weil eben in derselben der Grund der unendlichen Teilbarkeit liegt. Sobald aber etwas als quantum discretum angenommen wird: so ist die Menge der Einheiten darin bestimmt; daher auch jederzeit einer Zahl gleich. Wie weit aber die Organisierung in einem gegliederten Körper gehen möge, kann nur die Erfahrung ausmachen, und wenn sie gleich mit Gewißheit zu keinem unorganischen Teile gelangte, so müssen solche doch wenigstens in der möglichen Erfahrung liegen. Aber wie weit sich die transzendentale[11] Teilung einer Erscheinung überhaupt erstrecke, ist gar keine Sache der Erfahrung, sondern ein Prinzipium der Vernunft, den empirischen Regressus, in der Dekomposition des Ausgedehnten, der Natur dieser Erscheinung gemäß, niemals für schlechthin vollendet zu halten."

Man sieht, wie ein Versuch, die Frage der Zusammensetzung von Körpern aus Teilen qualitativ, d.h. ohne exakte Definition der Begriffe und ohne Formalisierung, enden kann. Die Argumentation besteht in einem Apell an intuitive Vorstellungen von dem, was "unendlich klein" bedeuten könnte, und aus apodiktischen Feststellungen der Art, dass sich eine unendliche Teilung letztlich nicht denken ließe und dass der "empirische Regressus ... niemals schlechthin vollendet" sei.

Salmon (2001) führt aus, dass bestimmte metaphysische Ansätze der Philosophie des 19-ten und des frühen 20-ten Jahrhunderts durchaus Ähnlichkeit mit dem vermuteten Hintergrund der Zenonschen Paradoxien, nämlich der Philosophie des Parmenides haben. Gemeint ist insbesondere der Idealismus, wie er von Hegel entwickelt wurde, und Philosophien, die sich aus der Hegelschen Philosophie herleiten. Inbesondere lassen sich die Zenonschen Paradoxien als Stütze der Ansicht, dass die Realität intrinsisch widersprüchlich ist, auffassen; dementsprechend wird in der von Hegel entwickelten dialektischen Logik das logische Prinzip des Widerspruchs (gemeint ist das Prinzip des *tertium non datur*) nicht anerkannt: die Widersprüche seien in der Welt, nicht in der Logik. Der englische Philosoph F.H. Bradley[12] habe festgestellt: "Time, like space, has most evidently proved not to be real, but a contradictory appearance." (Salmon (2001), p. 16). Andere Philosophen, wie et-

[11] Die Bedingung der Möglichkeit betreffend.

[12] Francis Herbert Bradley (1846 – 1924), britischer Philosoph, Vertreter der *British Idealism*, die sich an Kant und Hegel orientierten.

wa William James[13], A. N. Whitehead[14] und H. Bergson[15] nahmen zwar nicht an, dass Zenon in der Tat die Unmöglichkeit jeglicher Bewegung nachgewiesen habe, schlossen aber, dass die mathematische Charakterisierung des Kontinuums nicht geeignet sei, zeitliche Prozesse zu beschreiben. Whitehead nimmt zwar ein raum-zeitliches Kontinuum an, postuliert aber (in seinem Hauptwerk *Process and Reality*), dass dieses Kontinuum "in chunks", also als Ganzheiten real werde, die erst im Rückblick in unendlich viele Teile aufgeteilt werden könnten. Dieses Realwerden besteht aus "Akten des Werdens" (acts of becoming). Ein Akt des Werdens, der während einer Sekunde ablaufe, könne in zwei solche Akte aufgeteilt werden, in den der ersten halben Sekunde und in den der zweiten, wobei der Akt der zweiten Hälfte den der ersten Hälfte voraussetze. Damit wird eine Assoziation zur Kausalität im Prozess des Werdens hergestellt. Die wahre Problematik sieht Whitehead in der Struktur dieser Akte, die Problematik der Bewegung, die Zenon aufwerfe, sei eher ein irrelevantes Detail.

Für Bergson (1911) folgt aus den Zenonschen Paradoxa, dass der menschliche Intellekt gar nicht imstande sei, Bewegung und Veränderung überhaupt zu verstehen. Unser Wissen darüber sei "kinematographisch" zu erklären: die jeweiligen Zustände der Natur würden zunächst – wie die einzelnen Bilder eines Films – statisch beschrieben, um dann von uns in der Wahrnehmung zu einer Bewegung zusammengesfasst zu werden. Die Einsicht in die wahre Struktur der Prozesse könne nicht mathematisch erfasst werden, nur durch "metaphysische Intuition" gebe es einen Zugang, und dies sei die wahre Bedeutung der Zenonschen Paradoxien. Grünbaum (1950) hat die Ansichten Bergsons und Whiteheads kritisch diskutiert; es würde den Rahmen dieses Abschnitts sprengen, im Detail darauf einzugehen. Hier soll kurz auf die mathematische Struktur des den Paradoxien unterliegenden Problems eingegangen werden; wie Russell (1914/2001) (in Salmon (2001), p. 55) ausführt, kommt es darauf an, eine geeignete Theorie der unendlichen Zahlen (tenable theory of infinite numbers) zu entwickeln. Die Schwierigkeiten mit dem Unendlichen bestünden, so Grünbaum, aus zwei Komponenten: die eine sei Augenwischerei, die andere bestünde in der Notwendigkeit, Neues zu denken, was nicht notwendig einfach sei. Die Augenwischerkomponente ergebe sich aus der Etymologie des Worts 'unendlich' und der Konfusion des mathematischen Begriffs des Unendlichen mit dem, was Philosophen 'impertinenterweise' als das 'wahre' Unendliche bezeichneten. Etymologisch nämlich bedeute 'unendlich' so viel wie 'ohne Ende', und tatsächlich hätten einige unendliche Reihen kein Ende, andere dagegen schon. Die Folge der Augenblicke zwischen einem Zeitpunkt t_1 und einem zweiten Zeitpunkt t_2 sei ebenfalls unendlich, habe aber eben zwei Enden, – den Anfangs- und den Endpunkt, etc. Russell findet es bemerkenswert, dass Philosophen ihren "wahren" Begriff des Unendlichen als von dem der Mathematiker verschieden sehen und der Ansicht seien, es sei dieser "wahre" Begriff, den die Mathematiker in ihren Bemühungen, den Begriff formal zu fassen, vergeblich zu erreichen versuchten. Russell bemerkt, dass dieser angeblich wahre Begriff des Unendlichen völlig irrelevant für den mathematischen Begriff des Unendlichen sei – "to which it is only a fanciful and verbal analogy". Russell will sich gar nicht weiter auf diesen 'wahren"

[13] William James (1842 – 1910), Professor für Psychologie und Philosophie an der Harvard University.

[14] Alfred North Whitehead (1861 – 1947), britischer Philosoph und Mathematiker, publizierte u. a. zusammen mit B. Russell die *Prinipia Mathematica*, in der der Versuch unternommen wird, mathematische Aussagen auf die symbolische Logik zurückzuführen.

[15] Henri Bergson (1859 – 1941), französischer Philosoph.

Begriff einlassen, sondern zeigen, dass es nur der angeblich "falsche" Begriff der Mathematiker sei, der hier Klarheit schaffe.

In der Tat mußten zunächst bestimmte mathematische Entwicklungen stattfinden, bevor Zenons Problem sinnvoll diskutiert werden konnte. Kants verzweifelt anmutende Bemühungen, mit der Teilbarkeit zurechtzukommen, scheinen hierin zu wurzeln. Denn zu der Zeit, zu der Kant seinen Text verfasste, lagen die Resultate von Cauchy[16] über Kriterien, die erfüllt sein müssen, damit Folgen von Zahlen gegen einen Grenzwert konvergieren noch nicht vor (man findet sie in jedem Lehrbuch zur Infinitseimalrechnung). Im Kontext mit den Zenonschen Paradoxien sind die Teilsummen $S_1 = x_1$, $S_2 = x_1 + x_2$, $S_3 = x_1 + x_2 + x_3$ etc sind Beispiele für solche Folgen, wobei x_1, x_2, x_3 etc Teilabschnitte sind, die Achilles zurücklegen muß, um die Schildkröte einzuholen. Das übliche Argument, das zur Widerlegung etwa der Achilles-Paradoxie vorgebracht wird, beruht dann auch auf dem Hinweis, dass die Folge $S_1, S_2, S_3, \ldots$ gegen einen endlichen Wert konvergiere, und damit auch die Zeit T, die Achilles brauche, um die Schildkröte einzuholen, endlich sei, – in jedem Zeitpunkt $t > T$ sei Achilles der Schildkröte dann voran. Das Argument soll zur Illustration explizit gemacht werden: es sei A der Startpunkt des Achilles, und S der der Schildkröte. v_a sei die Geschwindigkeit, mit der Achilles laufe, und v_s sei die Geschwindigkeit, mit der die Schildkröte sich bewege. Für $v_s \geq v_a$ ist ist klar, dass Achilles die Schildkröte nicht einholen kann. Der interessante Fall ergibt sich für $v_s < v_a$: Achilles läuft mit größerer Geschwindigkeit als die Schildkröte, was man vom schnellsten Läufer der Antike erwarten kann, und intuitiv scheint klar zu sein, dass er die Schildkröte irgendwann einholen und überholen kann. Zenon argumentiert nun, dass Achilles die Kröte bestenfalls einholen, aber nie überholen kann.

Es sei $x_1 = S - A$, und Achilles benötige für dieses Intervall die Zeit $t_1 = x_1/v_a$. In dieser Zeit lege die Schildkröte die Strecke $y_1 = v_s t_1$ zurück. Für die Strecke $x_2 = y_1$ benötige Achilles dann die Zeit $t_2 = x_2/v_a = y_1/v_a$, und in dieser Zeit legt die Schildkröte die Strecke $y_2 = v_s t_2$ zurück, etc. Für die t_i, $i = 1, 2, 3, \ldots$ erhält man also die Folge der Ausdrücke

$$
\begin{aligned}
t_1 &= \frac{1}{v_a} x_1 = \frac{1}{v_s} y_1 \\
t_2 &= \frac{1}{v_a} x_2 = \frac{1}{v_a} y_1 = \frac{1}{v_s} y_2 \\
&\vdots \\
t_i &= \frac{1}{v_a} x_i = \frac{1}{v_a} y_{i-1} = \frac{1}{v_s} y_i \qquad (2) \\
t_{i+1} &= \frac{1}{v_a} x_{i+1} = \frac{1}{v_a} y_i = \frac{1}{v_s} y_{i+1} \qquad (3) \\
&\vdots
\end{aligned}
$$

Aus (2) folgt die Beziehung $y_i = v_s t_i$, und aus (3) ergibt sich $y_i = v_a t_{i+1}$, so dass

[16] Augustin Louis Cauchy (1789 – 1857), französischer Mathematiker, der bedeutende Beiträge zur Begründung der Differential- und Integralrechnung, der Funktionentheorie, der Theorie der Differentialgleichungen etc leistete.

$v_s t_i = v_a t_{i+1}$ folgt und man

$$t_{i+1} = qt_i, \quad q = \frac{v_s}{v_a},\ i = 1, 2, \ldots \tag{4}$$

folgern kann, also $t_2 = qt_1$, $t_3 = qt_2 = q^2 t_1$, allgemein $t_{i+1} = q^i t_1$. Die Gesamtzeit T_n nach dem n-ten Schritt ist dann[17]

$$T_n = \sum_{i=1}^{n} t_i = t_1 \sum_{i=1}^{n} q^{i-1} = t_1(q^0 + q^1 + q^2 + \cdots + q^{n-1}) = t_1 \frac{1-q^n}{1-q} \tag{5}$$

und zum Zeitpunkt

$$T = \lim_{n\to\infty} T_n = \frac{t_1}{1-q}. \tag{6}$$

hat Achilles die Schildkröte eingeholt. Nach der obigen Gleichung für t_1 hat man

$$T = \frac{x_1}{v_a(1-q)} = \frac{x_1}{v_a - v_s} \tag{7}$$

Zum Zeitpunkt $T + \varepsilon$, $\varepsilon > 0$ beliebig klein, hat Achilles die Schildkröte überholt. Damit scheint Zenon widerlegt zu sein.

Aber dieses Ergebnis trügt, denn nun greift die Dichotomie-Paradoxie. Denn nach (7) hängt T von x_1 ab, der im ersten Schritt von Achilles zurückgelegten Strecke. Die kann er aber nur hinter sich bringen, wenn er vorher die Strecke $x_2 = qx_1$ zurückgelegt hat, mit $0 < q < 1$, etwa $q = 1/2$. Um x_2 hinter sich zu bringen, muß er wiederum $x_3 = qx_2 = q^2 x_1$ bewältigen, und diese Leistung setzt voraus, dass er $x_4 = qx_3 = q^3 x_1$ durchmisst, etc. Allgemein muß er $x_{n+1} = q^n x_1$ meistern. Offenbar ist aber

$$\lim_{n\to\infty} x_{n+1} = \lim_{n\to\infty} q^n x_1 = 0, \tag{8}$$

wegen $q < 1$. Dieses Ergebnis bedeutet aber, dass Achilles seinen Startpunkt nie verläßt. Denn sobald er auch nur die kleinste Strecke $\xi > 0$ durchmessen will, läuft er in die Beziehung (8), wobei x_1 durch ξ zu ersetzten ist, denn *jede* Strecke $\xi > 0$ kann in beliebig viele Teilstrecken zerlegt werden, die durchlaufen werden müssen, damit ξ durchlaufen wird. In Wahrheit, so folgert Zenon, kommen weder Achilles noch die Schildkröte je vom Fleck.

Eine Möglichkeit, der Paradoxie zu entgehen, besteht darin, zu postulieren, dass der Fall $n \to \infty$ nicht gilt, sondern bei einem endlichen Wert n_0 stoppt, so dass Strecken x_1 jeweils eine Summe von Minimalstrecken der Länge $x_0 = q^{n_0-1} x_1$ aufgefasst werden müssen, wobei der Wert von n_0 von der Länge der Strecke x_1 abhängt. Achilles bleibt dann für die Dauer $t_0 = x_0/v_a$ innerhalb des Intervalls x_0. Dieser Ansatz wirft die Frage nach einer möglichen Quantelung von Raum und Zeit auf, ist zunächst aber nicht zufriedenstellend, denn man muß nun erklären, wie die Bewegung innerhalb von x_0 vonstatten geht, d.h. man steht am Anfang der Betrachtungen. Eine weitere Möglichkeit wäre dann, zu postulieren, dass sich Achilles innnerhalb von x_0 gar nicht bewegt, nur ist dann die Frage, wie er von einem Intervall der Länge x_0 ins nächste Intervall gelangt, man müßte an einen instantanen Übergang, d.h. an einen Übergang ohne Zeitdauer denken.

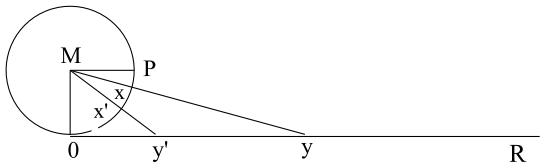
[17] $S_n = \sum_{i=1}^{n} q^{i-1} = 1 + q + q^2 + \cdots + q^n = 1 + q(1 + q + q^2 + \cdots + q^{n-1}) = 1 + q(S_n - q^n)$, woraus $S_n = (1-q^n)/(1-q)$ folgt.

Der Punkt ist natürlich, dass man all diesen Schwierigkeiten nicht entkommen kann, so lange man die Möglichkeit vernachlässigt, dass Zeit und Raum Koninua sind. Die bis jetzt betrachteten Zeit- und Raumintervalle sind *abzählbare* Größen, weil sie eben mit den natürlichen Zahlen $n = 1, 2, 3, \ldots$ durchnummeriert werden können. Aber zwischen zwei Zahlen x_n und x_{n+1} liegen stets *überabzählbar* viele Zahlen, außer den ebenfalls durchnummerierbaren (also abzählbaren) rationalen Zahlen p/q, $p, q \in \mathbb{N}$, $\mathbb{N}$ die Menge der natürlichen Zahlen liegen stets noch überabzählbar viele irrationale Zahlen, das sind nicht als *ratio*, also als Quotient darstellbare Zahlen, die bei den Grenzwerten (6) und (8) gar nicht berücksichtigt werden.

Jedenfalls repräsentiert ein Intervall auf der Zahlengeraden ein Kontinuum. Der Begriff des Kontinuums ist erst von Georg Cantor (1845 – 1918) geklärt worden. Zwischen irgendzwei Punkten liegen stets unendlich viele Rationalzahlen. Zwischen irgendzwei Rationalzahlen liegen aber nocheinmal überabzählbar viele Irrationalzahlen. Die Menge der rationalen Zahlen vereinigt mit der Menge der irrationalen Zahlen ist die Menge der reellen Zahlen. Jede Zahl repräsentiert einen Punkt mit der Ausdehnung Null. Achilles muß also nicht nur eine abzählbar unendliche, sondern eine überabzählbar unendliche Menge von Punkten überwinden. Hält man an der Vorstellung fest, dass Achilles sich von Punkt zu Punkt voranarbeiten muß, so geht man von der stillschweigend gemachten Annahme aus, dass die Länge der Strecke durch die *Anzahl* der Punkte, die diese Strecke definieren, gegeben ist.

Diese Annahme ist aber nicht sinnvoll. Cantor hat gezeigt, dass die *Mächtigkeit* einer Teilmenge der reellen Zahlen stets gleich der Mächtigkeit der Menge $\mathbb{R}$ der reellen Zahlen überhaupt ist. Wird die Mächtigkeit der Menge $\mathbb{N}$ der natürlichen Zahlen mit $\aleph_0$ bezeichnet ($\aleph_0$ bezeichnet dann "einfach-unendlich"), so läßt sich zeigen, dass die Mächtigkeit von $\mathbb{R}$ durch $2^{\aleph_0}$ gegeben ist[18]. So sei ein Kreis mit dem Radius $r < \infty$ gegeben. Der Umfang des Kreises ist dann $U = 2r\pi$. Dann kann man umkehrbar eindeutig die Punkte eines Viertels des Kreisumfangs (den Abschnitt 0P) den Elementen von $\mathbb{R}$ zuordnen; Abbildung 7 illustriert diesen Sachverhalt. Die

Abbildung 7: Zur Gleichmächtigkeit von Teilmengen mit der Gesamtmenge aller reellen Zahlen: jedem Punkt x auf dem Abschnitt 0P des Kreisumfangs entspricht genau eine reelle Zahl auf $\mathbb{R}$.



Mächtigkeit der Menge der Punkte auf dem Kreisabschnitt $0P$ ist dann ebenfalls gleich $2^{\aleph_0}$. Die Länge einer Strecke kann man demnach nicht durch die Anzahl der Punkte auf der Strecke messen – diese Anzahl ist *stets* überabzählbar. Ein Ausweg ist der von dem französischen Mathematiker Henri Léon Lebesgue (1875 – 1941) im Zusammenhang mit einer Neubegründung des Integralbegriffs eingeführte Begriff des Maßes einer Menge. Dem durch zwei Punkte y und y', $y \leq y'$ definierte

[18] א (Aleph) ist der erste Buchstabe des hebräischen Alphabets.

Intervall auf einer Geraden wird das Maß $m(y, y') = y' - y$ zugeordnet, dem Abschnitt (x, x') auf 0P in Abbildung 7 die entsprechende Länge (die sich durch ein Integral ausdrücken läßt). Grünbaum (1955/2001) bemerkt dann auch,

> "Although arithmetic has evolved a definition of the generalization of the "sum" of a *denumerable* infinity of numbers by a consistent generalization of the concept of finitary sum on the basis of the limit concept, this definition is utterly useless and irrelevant when the addition of a *super denumerable* infinity of numbers, is called for." (In Salmon (2001), p. 168)

Nach Salmon (2001) war Grünbaum (1955) der erste, der einen wirklichen Ausweg aus den von Zenon angerichteten Dilemmata bot, in dem er den von Lebesgue entwickelten Maßbegriff auf die Frage der Überwindung von Strecken anwendete. Die Definition des Lebesguesschen Maßes ist hier nur angedeutet worden, weitergehende Diskussion kann hier nicht gegeben werden (vergl. etwa Heuser (2002), p. 587). Für die Zwecke dieses Abschnitts ist es hinreichend, anzumerken, dass einem isolierten Punkt das Maß 0 zugeordnet wird.

Maßtheoretische Argumente können hier nicht entwickelt werden, aber es soll noch auf einige Fragen verwiesen werden, die sich aus den Zenonschen Paradoxien ergeben. Die Hauptfrage richtet sich auf die Beziehung zwischen dem mathematischen Begriff des (Cantorschen) Kontinuums und physikalischen Prozessen; Bergson und Whitehead waren ja der Ansicht, dass das Kontinuum kein Modell z.B. für zeitliche Abläufe sein könne. In der Tat enthält diese Theorie sogenannte primitive Terme, wie etwa den des Punktes, von dem postuliert wird, dass er keine Ausdehnung habe, die keine direkte Entsprechung in der Erfahrung haben. Salmon (2001) formuliert dann auch, die Zenonschen Paradoxien seien solche der *angewandten* Mathematik (vergl. auch Ushenko (1946)). Deshalb ist es wichtig, die Korrespondenz zwischen einem mathematischen "Modell" und seiner physikalischen Entsprechung explizit zu machen. Salmon (2001) spricht in diesem Zusammenhang vom *semantischen Problem*. So ist es in der gesamten Physik üblich, die Zeit durch $\mathbb{R}_+ = \{t | 0 \leq t \in \mathbb{R}\}$ zu repräsentieren ($\mathbb{R}$ ist die Menge der reellen Zahlen, also die Vereinigung von rationalen und irrationalen Zahlen, die das Kontinuum definieren). Damit wird angenommen, dass die Zeit kontinuierlich verläuft, und dies bedeutet, dass zwischen irgendzwei Zeitpunkten $t_1 < t_2$, mögen sie auch noch so nahe beieinander sein, stets überabzählbar viele Zeitpunkte liegen; Landsberg (1947) diskutiert in diesem Zusammenhang u. a. die Beziehung des Unschärfeprinzips zu den Zenonschen Paradoxien. Dies bedeutet, dass es für einen Zeitpunkt keinen unmittelbar vorangehenden Zeitpunkt geben kann, denn welchen vorangehenden Zeitpunkt man auch wählt, ihn trennen überabzählbar viele Zeitpunkte vom Ausgangszeitpunkt, – und überdies hat jeder Zeit*punkt* die Dauer Null. Dies entspricht zumindest nicht unmittelbar dem Erleben der Zeit: das zeitliche Jetzt erscheint als etwas Ausgedehntes. Sowohl Bergson wie auch Whitehead waren dementsprechend der Ansicht, dass zwischen dem Kontinuum und der physikalischen Zeit keine Korrelation hergestellt werden könne. Die Frage sei nämlich, wie es denn sein könne, dass ein Gegenstand – etwa Zenons Pfeil – das Vergehen der Zeit (the lapse of time) überdauern kann. Nicht zuletzt stellen einige Autoren (z.B. Hauser (2002)) die Klarheit des Begriffs des Cantorschen Kontinuums in Frage und rücken damit die Zenonschen Paradoxien wiederum in ein neues Licht.

Salmon (2001, p. 43) merkt an, dass die Zenonschen Paradoxien eine zwiebelhafte Qualtiät haben. In dem Maße, in dem man die äußeren Schichten der eher

oberflächlichen Schwierigkeiten, die die Paradoxien darstellen, wegschält, ergeben sich neue und tiefere Probleme. Seit Aristoteles' Zeit bis heute hat man Fragen diskutiert, die sich aus den Paradoxien relativ zum jeweiligen Stand der mathematischen, logischen und philosophischen Kenntnisse ergaben. Ergeben sich neuen Einsichten auf diesen Gebieten, so liefern die Paradoxien neue Fragestellungen. In der Tat sind viele Fragestellungen, die schon jetzt in Bezug auf die Paradoxien diskutiert werden, hier nicht erwähnt worden. Bei der Diskussion anderer Probleme werden die Paradoxien aber wieder auftauchen.

Aristoteles hat versucht, Zenon anhand des von ihm diskutierten Begriffs des Kontinuums zu widerlegen (vergl. Becker (1954), p. 75). Die Argumentation des Aristoteles ist nicht von allen späteren Philosophen übernommen worden; der im folgenden Abschnitt geschilderte, von Demokritos vorgeschlagene Ausweg hat seinen eigenen Charme.

Abschließend soll noch darauf hingewiesen werden, dass in dieser Diskussion der Begriff der Zeit in einem gewissermaßen naiven Sinn verwendet wurde: Zeit als "etwas", das unabhängig vom Raum und dem, was darin ist, dahinströmt. Wie es scheint, kann man Zeit messen, indem man Uhren zum Einsatz bringt, man kann Zeitintervalle halbieren, vierteln, achteln etc. Durch "scharfes Hinsehen"[19] bemerkt man aber, dass man keinen von physikalischen Vorgängen unabhängigen Zugriff auf "die Zeit" hat, d.h. die Zeit ist ein Konstrukt, das anhand der Veränderung von Zuständen von physikalischen Systemen gebildet wird. Newtons berühmte Formulierung aus seiner *Principia*, derzufolge

> "Absolute, true, and mathematical time, in and of itself and of its own nature, without reference to anything external, flows uiniformly and by another name is called duration. Relative, apparent, and common time is any sensible and externa measure (precise or imprecise) of durqtioin by means of motions; such a measure – for example, an hour, a day, a month, a year – is commonly used instead of true time." (Newton, I. : The Principia (1686/1999), p. 408)

gelten soll, hat vermutlich sehr dazu beigetragen, dass die Zeit als eine geheimnisvolle, eigene "Substanz" (obwohl Newton natürlich nie von der Zeit als einer "Substanz" sprach) aufgefasst wurde. Man kann allerdings die Existenz einer für sich existierenden Zeit grundsätzlich in Frage stellen (Barbour (2008)), – Zeit kann als bloßes Konstrukt gedeutet werden, das sich aus Potentialdifferenzen materieller Zustände und den sich daraus ergebenden Bewegungen ergibt, aber nicht "an sich" existiert. Es wäre interessant, diese Vorstellung in Bezug auf Zenons Paradoxa zu diskutieren. In späteren Kapiteln wird auf den Begriff der Zeit ausführlicher zurückgekommen.

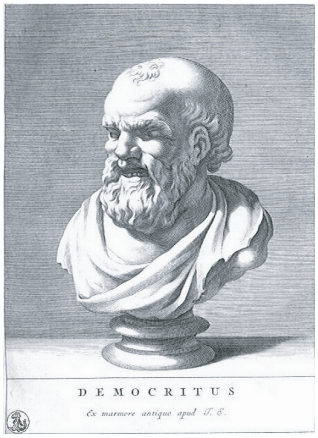
2.1.5 Demokritos, 460 - 550 v. Chr.

und **Leukippos, 480-370 v. Chr.** aus Milet, begründeten die Atomistik, wenn auch Leukipp um 450 wegen politischer Unruhen in Milet nach Elea in Süditalien

[19] Dies ist ein Ausdruck, den Dirk Werner des öfteren in seinem Buch *Funktionalanalysis* (2010) in Beweisen von Sätzen gebraucht, um kleine (Teil-)beweise zu kennzeichnen, die der Leser leicht selbst liefern kann.

auswanderte. Dort wurde Leukipp von Parmenides und Zenon in die von Aristoteles als unsinnig erachtete Lehre, dass es in Wirklichkeit keine Veränderung gibt eingeführt. Leukipp zog weiter nach Abdera, gründete eine Philosophieschule und

Abbildung 8: Demokritos (460 - 550)



gewann Demokritos als Lehrer.

Dort wurde die Lehre von den Atomen entwickelt. Das Atomon ist das Unzerschneidbare, das Unteilbare, nicht wahrnehmbar (sonst wäre es teilbar), und die Atome unterscheiden sich nur durch ihre Gestalt. Sie sind vollständig durch die Geometrie bestimmt: rund, eckig, dünn, dick, spitz, stumpf etc. Sie bestehen aus ein und demselben Stoff (Urstoff = arché). Aber wegen der Annahme der unterschiedlichen Form hat man das Problem gelöst, wie aus dem Einen das Viele wird. Denn die Atome schwirren im Raum umher, stoßen aufeinander, einige prallen voneinander ab, andere verflechten sich miteinander, etc. Die Formen entsprechen den Bindungsenergien der heutigen Chemie; alles wird letztlich durch die Geometrie erklärt. Es folgt eine sehr heutige Sichtweise:

> *Demokritos: Nur der landläufigen Redeweise nach gibt es Farbe, Süßes, Bitteres; in Wahrheit aber gibt es nur Atome und den leeren Raum.*
>
> Nach Cicero sagte Demokritos:
>
> *Die Atome bewegen sich im unendlichen, leeren Raum, in dem es kein Oben und Unten, kein Mitten und kein Ende gibt.... und diese Atombewegung müsse man sich als anfanglos, von Ewigkeit her bestehend vorstellen.*

Diese Aussage steht in scharfem Gegenatz zur Lehre des Parmenides, derzufolge die Welt endlich ist und es nichts Leeres geben kann.

Beweis:

1. Seiendes ist immer materiell. Materiefreies Leeres ist dann das Nichtseiende. Aber das Nichtseiende ist eben nicht seiend, dh es existiert nicht, und damit existiert auch das Leere nicht.

2. Das Sein ist kompakt, unzerschneidbar, unteilbar. Zenons Beweis: Kann man einen Körper einmal teilen, so kann man ihn auch beliebig oft teilen. Ein Körper werde also beliebig oft aufgeteilt. Dann gibt es kein Teilstück mehr, das irgendeine Ausdehnung hätte, denn hätte es eine, so könnte man es weiterteilen. Also sind die Teilstücke nichts, und der Körper wäre aus nichts zusammengesetzt, dh er existierte gar nicht. Aber es existieren Körper. Die müssen aber unteilbar sein, denn sonst $\cdots$. Also ist auch eine einmalige Teilung unmöglich. □

   Die Natur bzw die Welt hat also das Leere nicht: das ist der *horror vacui* der Natur. Erst 1643 machte Pascal Luftdruckmessungen und folgerte, dass das Leere durchaus möglich sei.

   Demokrits Lehre, dass es im Universum weder ein Oben noch ein Unten gebe, war revolutionär, da sie dem alltäglichen Empfinden widersprach (widerspricht), und vor allem Aristoteles war anderer Meinung. Erst Newton ist auf diese Idee zurückgekommen. Die Annahme, dass es keinen Anfang gibt, wurde ebenfalls nicht von Aristoteles geteilt (vergl. Abschnitt 2.2). Denn es schien ihm evident zu sein, dass alles, was geschieht, eine Ursache hat; dies ist der Satz vom zureichenden Grund, aus dem sich für Aristoteles das Postulat des Ersten Bewegers ergibt. Die Frage, was vor dem Ersten Beweger existierte, stellt sich dann (für Aristoteles) nicht mehr: er ist der Anfang, hinter den nicht zurückgegangen werden kann. Demokrit wiederum erklärte sein Postulat nicht, er setzte es. So verfährt man auch in der Naturwissenschaft: man sucht nach einem guten Axiom, aus dem sich möglichst viel ableiten lässt(vergl. die Newtonschen Axiome). Vielleicht ist es dieser Sachverhalt, der Ende des 19-ten und Anfang des 20-ten Jahrhunderts unter Geisteswissenschaftlern die Idee aufkommen ließ, es gebe einen Unterschied zwischen dem für die Naturwissenschaft charakteristischen Erklären und dem für die Geisteswissenschaft typischen Verstehen, das mehr sei als das Erklären, weil es durch den inneren Nachvollzug des zu verstehenden Zusammenhanges zu einem geistigen, ganzheitlichen Erfassen eben dieses Zusammenhanges komme, das eine naturwissenschaftliche Erklärung nicht erzeugen könne; in Wissenschaftstheorie III wird dieser Standpunkt diskutiert.

   Leukippos kannte das Problem des Kontinuums. Er folgerte, dass man die Teilung nicht beliebig oft wiederholen kann, - also musste es unteilbare kleinste Teile, eben die Atome geben. Damit hilft ihm Zenon, der nur Parmenides helfen wollte, genau das Gegenteil von dessen Lehre zu formulieren, nämlich einen unendlichen Raum mit viel Leere und eben vielen separaten Teilchen, die sich darin bewegen.

   Nach Demokrit gibt es unendlich viele Atome in einem unendlichen Raum, in dem unzählige Welten entstehen. Die einen Welten seien noch im Wachsen, andere vergehen; wenn sie aufeinander stoßen, gehen beide zugrunde. Nach Asristoteles wiederum gibt es allerdings oberhalb des Mondes weder Entstehen noch Vergehen. Man glaubte ihm, bis Tycho Brahe eine Nova, also einen neuen Stern beobachtete (1572), und 1577 einen neuen Kometen entdeckte. Stern und Komet waren jenseits der Mondsphäre, und so wuchsen Zweifel an der aristotelischen Theorie.

Kritiker der Lehren des Demokritos und des Leukipps argumentierten, deren Leh-

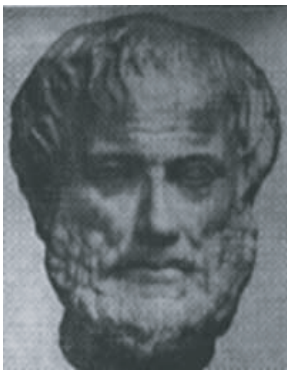
ren könnten nicht sinnvoll sein, weil ihnen zufolge letztlich das Sichtbare auf Zufälligem aufbaut. Diese Kritiker kannten die Grenzwertsätze der Statistik nicht.

2.2 Aristoteles, 384 - 322 v. Chr.

Die Philosophie des Aristoteles hat das mittelalterliche Denken stark beeinflußt und wirkte bis in die Neuzeit nach; deswegen soll kurz auf sie eingegangen werden.

Aristoteles wurde $\sim$ 384 v. Chr. in Stagira, Thrakien geboren und starb 322 v. Chr. in Chalkis auf Euböa. Aristoteles' Vater war Leibarzt des Königs von Makedonien. Im Alter von 18 Jahren kam Aristoteles nach Athen und wurde Schüler Platons; er blieb dort 20 Jahre bis $\sim$ zum Tode Platons (348/7 v. Chr.). Er ging nach Assus, heratete dort die Schwester oder die Nichte des Tyrannen Hermias, mit dem er befreundet war. Es gab dort eine Philosophenkolonie, die als Filiale der Platonschen Akademie in Athen aufgefasst werden kann. Es kam zu kriegerischen Auseinandersetzungen mit den Persern, die Hermias gefangen nahmen und kreuzigten, und so verließ Aristoteles nach drei Jahren Assus. 343 v. Chr. wurde er, 40-jährig, von Philipp II von Mazedonien eingeladen, Lehrer seines zu dieser Zeit 15-jährigen Sohnes Alexander, später Alexander der Große genannt, zu werden. Hegel meinte, dies beweise den Nutzen der Philosophie, allerdings konterte A.

Abbildung 9: Aristoteles (384 - 322)



W. Benn, dass es traurig wäre, wenn Philosophie diesen Effekt hätte, denn Alexander war trunksüchtig, grausam, rachgierig und abergläubisch, eine Mischung von Räuberhauptmann und orientalischem Despoten. Aristoteles blieb Alexanders Lehrer bis 336; in diesem Jahr bestieg Alexander den Thron. Aristoteles kehrte nach Athen zurück und blieb dort von 335 bis 323, betrieb eine Philsophenschule und schrieb seine Bücher. Wegen der kolonnadenartigen Wandelgänge (*peripatos*) hießen Aristoteles und seine Schüler Peripatetiker.

Als Alexander starb gab es in Athen einen Aufstand und Sokrates und Aristoteles wurden der Gottlosigkeit beschuldigt. Sokrates blieb und musste Schierling trinken, Aristoteles ging und starb 323 in Chalkis auf Euböa. Bertrand Russel[20] weist darauf hin, dass Aristoteles "systematisch", dh nicht in Versen schrieb; auch

[20] *History of Western Philosophy*

sein Lehrer Platon hatte immerhin noch auf einen literarisch ansprechenden Stil geachtet. Man vermutet, dass Aristoteles' Stil sich aus der Tatsache ergibt, dass seine Schriften als Vorlesungsunterlagen konzipiert waren bzw. aus solchen hervorgegangen sind[21].

Aristoteles gilt als erster "wissenschaftlicher" Philosoph. Er war der Ansicht, dass man erkennen muß, was richtig ist, um richtig handeln zu können. Dazu bedarf es der Vernunft. Es kommt aber nicht nur auf das richtige Handeln an; am höchsten steht für ihn die theoretische Einsicht. Der Geist ist der vorzüglichste Teil des Menschen. Also ist die Tätigkeit des Geistes, das Erkennen, als seine wesentliche Tugend anzusehen. Die Philosophie liefert die höchste Erkenntnis, da sie sich auf das Erkennen der letzten Prinzipien richtet, die der Wirklichkeit zugrunde liegen. Das reine Erkennen impliziert die reine Glückseligeit (eudaimonia), denn mit dem Philosophieren folgt der Mensch seinem ihm von der Natur gegebenen Zweck.

Gott hat den höchsten Rang unter allem, was ist, und somit hat das auf Gott gerichtete Denken den höchsten Rang. Da Gott die Natur lenkt, stimmen wir genau dann mit Gott überein, wenn wir die Natur verstehen; über das Verständnis der Natur können wir also zur höchsten Glückseligkeit kommen. Natur und Vernunft sind beide göttlich, da sie von dem Einen Göttlichen abhängen und also auch übereinstimmen.

Der Philosoph ist kein Praktiker; seine Tätigkeit besteht im Anschauen des Seienden (s. unten), das unabhängig vom Denken existiert und das nur gefunden bzw. aufgedeckt werden muß. Damit formuliert er eine Philosophie des Objektivismus und unterscheidet sich von Philosophen,die angenehmen, dass die Erkenntnis von subjektiven Faktoren und Denkstrukturen abhängig ist (vergl. Wissenschaftstheorie III, Abschnitt *Wahrheit und Verifikation*). Allerdings ist das philosophische Erkennen nicht passiv, sondern Resultat aktiven (Denk-)Handelns (*energeia*), an dessen Ende die "Schau der Wahrheit" (*theoria*) steht.

2.2.1 Die Metaphysik (Ontologie)

Dieser Teil seiner Philosphie heißt bei Aristoteles "Erste Philosophie". Es geht dabei um "das Sein als solches" und um die Prinzipien, denen das Sein unterworfen ist. In der frühen Neuzeit wurde für diese Art Philosophie der Ausdruck Ontologie - die Lehre vom Sein - eingeführt[22]. Nach Aristoteles betrachten die Wissenschaften immer eine bestimmte Art von Seiendem: die Physik betrachtet materielle Objekte und deren Beziehungen untereinander, die Biologie betrachtet lebendige Seiende, etc. Die Ontologie dagegen abstrahiert von den spezifischen Unterschieden zwischen Seienden.

Der Ausdruck Seiendes hat, wie Aristoteles feststellt, verschiedene, aber zusammenhängende Bedeutungen. Die allen Bedeutungen zugrundeliegende "Basisbedeutung" heißt bei Aristoteles *ousia*, was im Lateinischen mit *substantia* übersetzt wurde. Substanzen werden von den Akzidentien unterschieden:

[21] Was auch von diesem Text zu sagen ist.

[22] In Wissenschaftstheorie III wird ausgeführt, dass Metaphysik nicht nur Ontologie, also Theorien des Seins umfasst, sondern sich auch auf Urteile, dh Aussagen bezieht. In der neueren Wissenschaftstheorie ist weniger die Ontologie von Bedeutung, sondern die Metaphysik von Aussagen, wie zB "Das Kausalprinzip gilt".

- *Substantia:* dasjenige, dem eine Bestimmung zukommt und das selbstständig existiert (zB der Bleistift),
- *Akzidentien:* Bestimmungen, die nur an Substanzen vorkommen, die also nicht selbstständig existieren (der Bleistift hat die Härte 2B).

Die Unterscheidung kontrastiert mit der von Platon, demzufolge man sagen würde, dass der Bleistift an der Idee der Härte 2B teilhat, und die Idee ist selbst substantiell.

Die Wesenheit oder das Wesen eines Gegenstandes sind ebenfalls Substanz, und zwar Substanzen zweiter Art. Das Wesen des Gegenstandes ist dasjenige, was er mit allen Gegenständen einer bestimmten Art gemeinsam hat, und was dem Begriff des Gegenstandes entspricht. Das Wesen des Bleistifts ist seine Bleistiftheit. Schönheit ist die Wesenheit der schönen Dinge, sie kommt den schönen Dingen (Substanzen erster Art) als Substanz zweiter Art zu. Die Substanzen zweiter Art existieren nicht - wie bei Platon - getrennt von den Substanzen erster Art. Denn: wenn die Dinge an der Idee etwa der Schönheit teilhaben (Platon), so muß diese Beziehung *ebenfalls* einer Idee zugeordnet werden, nämlich der Idee der Teilhabe. Aristoteles: der konkrete Mensch und der allgemeine Mensch (die Idee des Menschen) müssen einer höheren Idee des Menschen entsprechen: der "dritte Mensch"[23]. Es kommen dann weitere Beziehungen und damit Ideen hinzu, und diese Kombinatorik geht bis ins Unendliche. Deshalb folgert Aristoteles, dass das Allgemeine *in* den Dingen steckt, nicht aber außerhalb von ihnen liegt. Gleichwohl existiert das Allgemeine unabhängig vom Denken. Das Allgemeine ist das Ziel der "vernünftigen Einsicht".

Das Widerspruchsprinzip: Nach Aristoteles gibt es zwei ontologische Prinzipien, die für das Seiende als solches gelten:

- Der Satz vom ausgeschlossenen Widerspruch
- Der Satz vom ausgeschlossenen Dritten.

Dem Satz vom ausgeschlossenen Widerspruch zufolge kann ein Merkmal einem Gegenstand nicht *zugleich* zukommen und nicht zukommen; das "zugleich" ist hier wichtig, denn als junger Mensch kann einem eine Eigenschaft ("Ungeduld") zukommen, als älterer Mensch nicht. Nach dem Satz vom ausgeschlossenen Dritten "ist es nicht möglich, dass es ein Mittleres zwischen den beiden Gliedern des Widerspruchs gibt". Ontologische Prinzipien und Prinzipien des Urteils werden hier zusammengebracht (in der neueren Philosophie werden sie getrennt).

Die vier Ursachen: Es gibt die Wirk-Ursache (in diesem Sinne wird heute der Begriff Ursache gebraucht), die Stoff-Ursache, die Form- und die Zweck-Ursache. Der Stoff ist das Material, aus dem etwas gemacht wird. Die Form führt den Stoff in den speziellen Gegenstand über, und die Zweck-Ursache ist gewissermaßen der Grund, warum der Gegenstand gemacht wird, bzw. das Ziel, auf das hin der Gegenstand aus dem Stoff gemacht wird. Die Wirk-Ursachen bestehen darin, dass jemand konkrete Handlungen zur Umformung des Stoffes in den Gegenstand unternehmen.

[23] Dies ist der "Einwand des dritten Menschen"

Diese vier Ursachen gelten nicht nur für menschliche Produkte, sondern zB auch für aus einem Keim bis zur vollendeten Form sich entwickelnde Organismen. Diese Entwicklung folgt einer "inneren Zweckmäßigkeit", die von Aristoteles als "Entelechie" bezeichnet wird. Die Entelechie ist das Schema bzw Prinzip, nach dem sich ein Organismus entwickelt, es reflektiert eine innere Zielgerichtetheit. Entelechien wurden noch zu Beginn des 20-ten Jahrhunderts von den Neo-Vitalisten in der Biologie angenommen; der Begriff wurde erst mit der Erkenntnis der Funktion der Gene fallengelassen. Nach Aristoteles ist die gesamte Natur per Entelechie auf Gott bezogen; man könnte von einem teleologischen Grundprinzip in der aristotelischen Ontologie sprechen.

Potentialität und Aktualität Potentialität meint Möglichkeit, Vermögen, *dynamis*. Aktualität bedeutet Wirklichkeit, *energeia*. Ein wichtiges Problem der Philosophie war stets, das Werden verständlich zu machen. Nach Aristoteles besteht das Werden in einem Übergang vom Möglichen zum Wirklichen, von der Potenz zum Akt. Das Begriffspaar ist Aristoteles' Antwort auf die These der Eleaten (Parmenides, Zenon), dass es in Wirklichkeit keine Veränderung und damit auch keine Bewegung gäbe.

Nach Aristoteles gibt es zwar unveränderliche Wesenheiten (die allein man in der Wissenschaft anstreben soll), die aber als Formen aufgefasst werden müssen und damit nicht hinter jeder Erfahrungsmöglichkeit (wie die Ideen Platons) liegen. Die Veränderung ist demnach eine Entwicklung, die auf das Wesen der Dinge gerichtet ist. Der Same enthält potentiell die Pflanze, die ihrerseits die Entfaltung der im Samen befindlichen Anlagen ist.

Der Ansatz des Aristoteles ist problematisch: Entwicklung ist konzipiert als Entwicklung aus etwas Stofflichem, das zunächst keine Form hat, in eine Form. Das Problem ist, dass dieser Ansatz zur Erklärung von Entwicklungsprozessen nicht in strengem Sinne zutreffen kann, denn das Holz, aus dem ein Möbelstück gefertigt wird, hat ja bereits eine Form (= Baum). Aristoteles nimmt also implizit eine Hierarchie von Formen an, wobei eine Form nur eine Möglichkeit ist: ein Baum kann, muß sich aber nicht in ein Möbelstück "entwickeln". Die Frage ist weiter, ob es denn Materie ganz ohne Form geben kann. Nach Aristoteles ist Materie ohne Form ebenfalls nicht wirklich, sie ist ein "relatives Nichts" (Röd (1994), p. 160)), denn eine Form ohne Stoff enthält keine Möglichkeit mehr und ist damit reine, ruhende Wirklichkeit, sie ist das Göttliche. Das Werden als Übergang von Möglichkeit zu Wirklichkeit wird von Aristoteles als ontologisches Prinzip aufgefasst. Allerdings kann sich der Ausdruck "möglich" auch auf ein Urteil bzw. auf eine Hypothese beziehen: aus dem Kleinkind wird möglicherweise ein Genie, etc. Diese Möglichkeit muß nicht im Sein selbst liegen, sie kann sich ebenfalls erst entwickeln. Wenn Entwicklungen Übergänge von einem Zustand oder einer Form in eine andere, möglicherweise "höhere" Form sind, stellt sich die Frage, welchen onotologischen Status Formen haben: existiert eine Menge vorgegebener Formen, oder können sich neue Formen, die noch nicht existieren, ebenfalls entwickeln? Der Ansatz, Entwicklung als Entwicklung in mögliche Formen zu erklären, führt in konzeptuelle Schwierigkeiten, die dem Ziel, zu erklären, worin Entwicklung besteht, direkt entgegenstehen.

Das Göttliche Der Ausdruck Gott bzw. das Göttliche haben bei Aristoteles eine andere Bedeutung als zB im Christentum; es gibt bei Aristoteles keinen persön-

lichen Gott, sondern nur unpersönliches, reines Denken. Die Ontologie hat bei Aristoteles eine stark teleologische Komponente, da Entwicklungen immer auf ein Ziel hin gerichtet sind. Die Entwicklung kann nicht unendlich sein, aktuell möglich ist nur das endliche. Es muß also einen höchsten Abschluss für die Entwicklung geben, und der ist das Göttliche.

Dinge, die sich bewegen, werden von anderen Dingen bewegt, es entsteht eine Reihe von Bewegern. Die Reihe kann nicht unendlich sein, dann würde sie nie enden. Also muß es einen letzten Beweger geben, der selbst nicht bewegt ist. Dieser ist der unbewegte Ursprung aller Dinge, zu deren Wesenheit die Aktualität gehört, - er ist das Göttliche (vergl. später Anselm von Canterbury[24]). Die Bewegung des Unbewegten Bewegers darf nicht im Sinne der Mechanik gedacht werden; der Unbewegte Beweger ist immateriell. Denn Potentialität hängt mit der Materialität zusammen. Also ist es für ein Wesen, das reine Form ist, nicht möglich, sich zu bewegen. Also ist die Tätigkeit des höchsten Wesens eine Tätigkeit ohne Veränderung. Diese Tätigkeit ist "reine Schau" (Röd (1994), p. 162), d.h. in Aristoteles' Termen *theoria*. Es ist ein Denken, das in zeitloser Weise auf sich selbst gerichtet ist, das also nicht als Abfolge von Gedanken konzipiert werden darf: "Gott erschaut sich selbst und sonst nichts."

Die Wesen in der Welt sind demnach hierarchisch geordnet. Zunächst gibt es die bloße Materie, dann kommen die aus Materie und Form bestehenden Wesen, erst die pflanzlichen, dann die tierischen, schließlich die vernünftigen (!) menschlichen Wesen. In den höheren Formstufen sind alle niedrigeren enthalten, also gibt es im menschlichen Wesen auch tierische (animalische) und pflanzliche Formen, die aber den höheren untergeordnet werden. Schließlich kommen die Wesen, die nicht mehr an die Materie gebunden sind, schließlich kommt Gott als stofflose Aktualität.

2.2.2 Die Naturphilosophie

Aristoteles diskutiert hier Fragen der Physik, allerdings auf eine Weise, die heute metaphysisch genannt werden würde. Gegenstand seiner Betrachtungen sind Fragen der Veränderung des Seienden.

Wie schon angemerkt wurde, lehnte Aristoteles die Zenonschen "Beweise" zur Unmöglichkeit irgendeiner Bewegung ab[25], - andernfalls wären seine Untersuchungen zur Veränderung im Seienden von vornherein unsinnig gewesen.

Aristoteles hat einen sehr breiten Begriff von Veränderung bzw. Bewegung: Veränderung bzw. Bewegung ist (i) Entstehen und Vergehen, (ii) die quantitative Änderung von Größe, (iii) die qualitative Änderung von Eigenschaften, oder (iv) Bewegung als Veränderung des räumlichen Orts. Jede Veränderung erfolgt in Raum und Zeit. Dabei wird vorausgesetzt, dass ein leerer Raum unmöglich ist, und Zeit die Bestimmung bewegten Seiendes ist.

Um Bewegung zu bewerkstelligen muß nach Aristoteles Kraft aufgewendet wer-

[24] Anselm von Canterbury (1033-1109), sogenannter Vater der Scholastik. Er hat den sogenannten ontologischen Gottesbeweis in die Philosophie bzw. Theologie eingeführt: Der Ausdruck "Gott" ist definiert als das größte denkbare (vorstellbare) Wesen. Wirkliche Existenz ist größer als nur vorgestellte Existenz. Also muß Gott in der Wirklichkeit existieren, nicht nur in der Vorstellung.

[25] Aristoteles' Betrachtungen zum Kontinuum und zur nur potentiell möglichen unbegrenzten Teilung findet man in Becker (1954), p. 76

den. Aristoteles kommt zu dieser Ansicht wohl aufgrund direkter Anschauung. Wie Susskind und Hrabovsky (2014), p. 58, ausführen mußte man zu Aristoteles' Zeiten Kraft aufwenden, um etwas in Bewegung zu setzte: um zum Beispiel eine beladene Karre mit hölzernen Rädern zu bewegen benötigte man unter Umständen einen Ochsen, und sobald der Ochse nicht mehr zog, blieb die Karre stehen (es sei denn, der Weg führte hinreichend steil bergab). Der Ochse mußte um so mehr Kraft aufbringen, je schneller die Karre bewegt werden sollte. Kraft war demnach eine Größe, die proportional zur Geschwindigkeit aufzufassen war; – Leibniz kam sehr viel später zum gleichen Schluß. Das Mißverständnis lag, so Susskind und Hrabovsky, darin, dass Die Reibung, die bei der Bewegung des Karrens zu überwinden ist, ebenfalls eine Kraft ist, die der Bewegung entgegen wirkt, diese Kraft aber nicht mit dem allgemeinen Kraftbegriff zu verwechseln ist, erst Isaac Newton sollte diesen Unterschied klar erkennen. Die aristotelische Charakterisierung des Kraftbegriffs ist in vielerlei Hinischt typisch für den Ansatz Aristoteles', Wissenschaft zu betreiben: später wird man vom aristotelischen Wissenschaftsbegriff sprechen und ihn vom galileischen Typ unterscheiden: Aristoteles geht oft von der unmittelbaren Erfahrung aus und verallgemeinert diese.

Dazu gehört bemerkenswerter Weise auch seine Aufassung, dass die Natur teleologisch organisiert sei; jede Veränderung erfolgt nach Maßgabe eines Zweckes ("Gott und die Natur machen nichts vergeblich."). Dieses Prinzip gilt für den anorganischen wie für den organischen Bereich. Dieses Prinzip gilt auch für die menschliche Seele, über der allerdings noch der Geist steht, der das Vermögen theoretischer Erkenntnis und überlegten Wollens ist. Denn die Veränderungen, die man im täglichen Leben vornimmt, werden im Allgemeinen mit einem bestimmten Ziel vorgenommen: man holt Wasser, weil man etwas trinken, waschen, kochen etc will, man bringt den Ochsen dazu, den Karren zu ziehen, damit Waren zum oder vom Markt gebracht werden, etc.

Weiter existieren nach Aristoteles noch immaterielle Formen, die Gestirnseelen. Sie implizieren eine Zweiteilung der Bewegungen: die terrestrischen sind linear und endlich, während die der Gestirne, die der himmlischen Sphäre angehören, kreisförmig und daher unendlich, ewig und daher göttlich sind. Diesen ewigen Bewegungen müssen ebenfalls Prinzipien unterliegen, und es muß ebensoviele solche Prinzipien wie Gestirne geben. Die Gestirngeister bewegen die Kugelschalen (= Sphären), an denen die Himmelskörper befestigt sind. Die Grenze zwischen der Himmelssphäre und der terrestischen Sphäre ist die Mondsphäre; die beiden Sphären haben verschiedene Arten von Physik. Der Erste Beweger wirkt auf die äußerste Sphäre ein und über die Gestirngeister wirkt er auch auf die darunter liegenden Sphären ein[26].

Die natürliche terrestrische Bewegung ist linear und entweder eine Abwärts- oder eine Aufwärtsbewegung. Das Fallen ist klarerweise eine Abwärtsbewegung, die Bewegung einer Flamme ist eine Aufwärtsbewegung; diese Bewegungen sind dem Wesen des Bewegten eigen. Wurfbewegungen werden von außen erzwungen. Sie können nur so lange anhalten, wie eine Ursache sie bewirkt. Wirft man einen Stein, so kann die Hand den Stein nicht mehr vorantreiben, sobald er die Hand verlassen hat. Also muß es eine andere Ursache für die Bewegung des Steins geben.

[26] Diese Vorstellung wurde zur Begründung der Astronomie herangezogen: da der Erste Beweger über die Gestirngeister letztlich auch auf den Menschen wirkt, kann der Zeitpunkt der Geburt einen Einfluß auf das Leben und den Charakter eines Menschen haben (Röd (1994), p. 165)

Beim Fliegen zerteilt nun der Stein die Luft, so dass hinter dem Stein keine Luft wäre, hätte die Natur nicht den *horror vacui*. Dieser Horror bewirkt nun, dass sich die Luft hinter dem Stein sofort zusammenschließt *und ihn damit vorantreibt*. Das Gleiche gilt für den vom Bogen abgeschossenen Pfeil. Die sich zusammenschließende Luft treibt den Pfeil vorwärts[27]

Grundlegend für die aristotelische Philosophie ist der Ansatz, Entwicklungen und Bewegungen teleologisch zu deuten. Dementsprechend entstehen die natürlichen Bewegungen durch die Neigung der Dinge, ihrem natürlichen Ort zuzustreben. Damit wird postuliert, dass "die Dinge" überhaupt einen natürlichen Ort haben. Der natürliche Ort geworfener Steine und abgeschossener Pfeile ist dann die Erde, denn auf diese fallen sie, hält man sie nicht davon ab. Es ist leicht zu sehen, dass der Begriff des natürlichen Orts für einen Gegenstand problematisch ist: liegt ein Stein am Rande einer Klippe, so kann er dort beliebig lange liegen, aber der Klippenrand ist nicht sein natürlicher Ort. Denn schiebt man ihn über den Klippenrand, so fällt er sofort die Klippe hinab. Bleibt er auf einem Felsvorsprung liegen, dann auch nur so lange, bis er von diesem Vorsprung geschoben oder geworfen wird, und er stürzt noch tiefer. Der natürliche Ort wird so zu einer spekulativen Potentialität, die letztlich nicht bestimmbar ist und die deswegen auch keine Erklärung für Bewegung liefert. Diese begrifflichen Schwierigkeiten ergeben sich aus dem von Aristoteles gewählten Ansatz seines Denkens, von abstrakten Prinzipien wie dem Teleologieprinzip einerseits und von gewissermaßen empirischen Ad-hoc-Erklärungen andererseits auszugehen: die Bahn eines geworfenen Steines hat einen wahrnehmbaren, bestimmten Verlauf, der sich aus dem Wesen des Steins ergibt, und zum Wesen des Steins gehört es, an seinem natürlichen Ort zu liegen. Gäbe es diesen natürlichen Ort nicht, könnte die Bewegung nicht so eindeutig erfolgen. Die Erklärungen des Aristoteles sind begrifflich kurze und damit gedanklich attraktiv erscheinende Wege, deren Abgründigkeit sich nicht sofort erschließt. Dass diese Vorstellungen endgültig erst von Galilei und dann von Newton durch die heute gültigen ersetzt wurden verweist auf die gedanklichen Schwierigkeiten, die mit der Überwindung des aristotelischen Ansatzes verbunden waren.

Aristoteles ordnete den natürlichen Bewegungen bestimmte Elemente zu, wobei ein Element etwas ist, das nicht mehr in weitere Bestandteile aufgelöst werden kann, dass sich aber in etwas anderes auflösen lässt. Der Abwärtsbewegung wurde die Erde und das Wasser zugeordnet, der Aufwärtsbewegung das Feuer und die Luft; dies sind die Elemente des Empedokles. Die Kreisbewegung wurde der von Aristoteles eingeführten fünften Wesenheit (Essenz), der Quintessenz zugeordnet. Diese ist der Äther. Der Äther wurde postuliert, damit auch der göttlichen Kreisbewegung ein Element entspricht. Da es nur eine begrenzte Zahl natürlicher Bewegungen gibt, kann es nur eine begrenzte Zahl von Elementen geben. Da die

[27] Ein merkwürdiges Argument für einen so scharfsinnigen Menschen wie Aristoteles: Damit der Stein die Luft überhaupt teilen kann, benötigt er eine wirkende Kraft. Die soll sich ergeben, weil sich das Vakuum hinter dem Stein wieder schließt. Eigentlich kann der Stein gar nicht in Bewegung geraten, weil im Ruhezustand gar kein Vakuum hinter ihm existiert. Also muß die Kraft, die ihn in Bewegung setzt, eine andere Ursache als das Wiederauffüllen des Vakuums "hinter" dem Stein haben. Die Kraft, die benötigt wird, um die Luft zu teilen, muß geringer sein als die, die entsteht, wenn sich das Vakuum hinter dem Stein schließt. Woher kommt dieser Überschuss an Kraft? Wenn es keinen solchen Überschuß gibt, entspricht die us dem Vakuumschluß stammende Kraft der teilenden Kraft und die Kräfte heben sich auf – der Stein bewegt sich nicht mehr ... Eigentlich muß man nun auf das newtonsche Postulat kommen, dass ein Körper seine Bewegung beibehält, wenn keine andere Kraft auf ihn wirkt.

Elemente ineinander übergehen können, können die entsprechenden Bewegungen sich aufheben und zum Stillstand kommen. Da die Quintessenz keine zu ihr in Gegensatz stehende Essenz hat, kann die Kreisbewegung nicht aufhören, ist also ewig, und deshalb ist die Welt ewig. Die Gestirne bewegen sich auf konzentrischen Schalen, also hat die Welt einen unbewegten Mittelpunkt und ist die einzige Welt. Raum und Zeit sind an die Bewegung von Körpern gebunden. Da es außerhalb der Sphären keine Körper gibt, gibt es außerhalb der Sphären weder Raum noch Zeit. Erst von der Renaissance ab wurden diese Vorstellungen in Frage gestellt.

2.2.3 Die aristotelische Seelenlehre

Die Seelenlehre des Aristoteles hat eine langdauernde Wirkung gehabt; zumindest Aspekte davon findet man noch in heutigen Überlegungen. In der Seelenlehre formuliert Aristoteles seine Theorie des Erkenntnisprozesses.

Nach Aristoteles ist die Seele die Form des Organismus. Alle organischen Wesen sind demnach beseelt. Die Seele des Menschen enthält außerdem noch die Vernunft. Beim Menschen enthält die Seele auch das Prinzip der Geistigkeit, neben den Prinzipien der Ernährung, der Wahrnehmungsfähigkeit, der Fortpflanzung und des Trieblebens. Allgemein ist die Seele die Entelechie, also das leitende Prinzip jeden organischen Wesens.

Der Erkenntnisprozess lässt sich wie folgt darstellen:

1. Im Wahrnehmungsprozess wird die Form der anschaulichen Dinge erfasst
2. Die Form geht in die Vorstellungen der Einbildungskraft ein und wird damit zur Grundlage der Abstraktion durch den Verstand, der von den akzidentiellen - also zufälligen - Elementen absieht und nur die Wesenheit beibehält.
3. Die unanschauliche Form ist der Inhalt des Begriffs, den der Verstand erfasst Begriffe sind also ohne sinnliche Wahrnehmungen nicht möglich ("Nihil est in intellectu, quod non prius fuerit in sensu", nichts ist im Intellekt, was nicht vorher in den Sinnen gewesen ist).

Die Seele als das eigentlich Erkennende Organ erhält auf diese Weise die Strukturen der Wirklichkeit.

Formen gehen mit den ihnen entsprechenden Dingen zugrunde. Also müßte auch die Seele sterben, wenn der Körper stirbt. Aristoteles hat aber einen Ausweg, denn er postuliert, dass nur die niederen Teile der Seele sterben, nicht aber der ihr ebenfalls zugehörende Geist. Der Geist ist gewissermaßen eine Energieform, die nicht vergehen kann, wenn auch die durch ihn erzeugten Bewußtseinsinhalte vergehen. Daher kann der Geist auch nach dem Tode nichts mehr von dem erinnern, was er im lebendigen Körper erfahren und erschlossen hat. Der Geist kehrt nach dem Tod in die ewige Sphäre der Gestirne zurück. Er ist ja das Prinzip des Denkens und hat deshalb am Göttlichen teil und ist jedem Leiden entzogen. In der Sphäre der Gestirne führt er ein glückseliges Leben der Betrachtung; insofern ist nach Aristoteles - wie schon bei Platon - der Tod ein Übergang zu einer besseren Existenzform.

2.2.4 Theorie der Logik und der Erkenntnis

Aristoteles gilt als der Begründer der Logik als Wissenschaft. Die Logik ist demnach die Theorie von den Formen des wahren Urteilens und des richtigen Schließens, die damit die Grundlage für jeden wissenschaftlichen Beweis wird.

Aristoteles folgert die logischen Prinzipien aus den metaphysischen Prinzipien. So gilt das Prinzip vom ausgeschlossenen Widerspruch: ein Seiendes kann zu einem bestimmten Zeitpunkt nicht ein Merkmal haben und zugleich nicht haben. Ersetzt man das Seiende durch Urteil und das Merkmal durch "wahr", so erhält man das Prinzip, das ein Urteil nicht zugleich wahr und nicht wahr sein kann.

Aristoteles postuliert, dass sich Denk- und Seinsformen entsprechen. Man denkt richtig, wenn das Denken den Formen der Wirklichkeit entspricht. Darin kontrastiert die Aristoteles'sche Logik mit der heutigen formalen Logik, die nichts über die Wirklichkeit aussagen will, sondern mit jeder beliebigen Wirklichkeit kompatibel sein soll. Dies ist die "Adäquatheitstheorie" bzw. die "Korrespondenztheorie" der Wahrheit (dies sind die heutigen Ausdrücke).

Ein Urteil besteht in der Verbindung von Begriffen, und ein logischer Schluß besteht in der Verbindung von Urteilen. Aristoteles hat insbesondere die Syllogistik betrachtet. Demnach hat man zwei Prämissen sowie einen Schlußsatz: Alle Menschen sind sterblich, Sokrates ist ein Mensch, also ist Sokrates sterblich. Dieser Syllogismus ist einer der einfachsten Syllogismen. Auf die Details soll und kann hier nicht eingegangen werden. Aber die Entwicklung der Logik soll ja der Explizierung des wissenschaftlichen Beweises dienen, so dass sich die Frage nach dem möglichen Wissen stellt.

Aristoteles teilt nicht die platonsche Lehre, nach der Wissen die Entfaltung eines vorgeburtlich angeeigneten Wissens ist. Erkenntnis beruht auf vorher Erkanntem. Diese Auffassung kann zu einem infiniten Regress führen, weshalb Aristoteles die Existenz erster Sätze - die Axiome - postuliert, deren Wahrheit unmittelbar einsichtig ist. Alternativ dazu gibt es Thesen, die entweder Definitionen oder Hypothesen sind. Definitionen sagen aus, *was* etwas ist, Hypothesen sagen aus, ob etwas ist oder nicht. Der Begriff "Wissen" bezieht sich auf Sätze, die begründet werden können, oder die unmittelbar einsichtig sind. Sätze, die auf Beweisen beruhen, sind "apodiktisch"; sie folgen letztlich aus ersten Grundsätzen, die selbst nicht mehr begründet werden müssen.

Nach Aristoteles ist die Logik gleichbedeutend mit der Syllogistik. Bei Syllogismen geht man von allgemeinen Sätzen aus ("Alle Menschen sind sterblich"). Die Frage ist dann, wie man das Allgemeine erkennt. Nach Aristoteles gelangt man zu allgemeinen Sätzen durch Betrachtung des Besonderen, in dem das Allgemeine enthalten ist. Zu diesem gelangt man nach Aristoteles durch "Hinführung", d.h. durch Induktion. Diese Vorstellung wurde für Jahrhunderte die Standardvorstellung von dem, was Wissenschaft sei.

2.2.5 Anmerkungen und Kommentare

Ein wichtiges Buch des Aristoteles ist das *Organon*, in dem sechs Bücher zusammengefasst werden: Die Kategorien, Über die Interpretation, A priori Analyse, A posteriori Analyse. Topics, und Sophistische Widerlegungen.

Kategorien: Relation zwschen Adjektiven und ihren Trägern: "weiß" und "Mensch". Es gibt 10 Kategorien: Substanz, Quantität, Qualität, Beziehung, Ort, Zeit, Position, das Haben, das Tun, oder in irgendeiner Form von etwas betroffen sein.

Von Empedokles (483 - 424) übernahm der die Theorie, dass die Welt zunächst aus vier Elementen besteht, nämlich Feuer, Erde, Wasser und Luft. Hinzu kommt seiner Ansicht nach allerdings eine fünfte Essenz, die Quintessenz. Diese ist der Äther, der feinste und wesentlichste Stoff.

Es gibt *primäre* und *sekundäre* Substanzen. Alles Akzidentielle - also das irgendwie Vorfallende, "Zufällige" - ist nur denkbar in einer Substanz und kann ohne eine Substanz nicht existieren. So ist z.B. Sokrates eine primäre Substanz. Die *Spezies* Mensch oder die *Spezies* Tier ist jeweils eine sekundäre Substanz. Aussagen über sekundäre Substanzen sind demnach Aussagen über Aussagen über primäre Ssubstanzen. Ohne primäre Substanzen würde nichts existieren, sie hängen von nichts weiter ab.

Über Interpretation: Hier beschäftigt sich Aristoteles mit Aussagen. Sofern eine Aussage überhaupt sinnvoll ist, kann sie wahr oder falsch sein. Eine einfache Aussage besteht aus (i) einem Namen (onoma), und (ii) einem Verb (rhema). zB "Sokrates läuft": der Name bezeichnet das, was läuft. Das Verb bezeichnet eine Eigenschaft dessen, der oder das mit dem Namen bezeichnet wird. Einfache Aussagen sind auch die sogenannten kategorischen Aussagen:

(A) Jeder Mensch ist weiß,

(E) kein Mensch ist weiß,

(I) Einige Menschen sind weiß,

(0) Nicht jeder Mensch ist weiß.

Im Buch über die Interpretation werden die logischen Beziehungen zwischen dieser Art von Aussagen diskutiert:

- A & E sind Gegensätze
- A & 0 und E & I sind Widersprüche
- A & I und E & 0 sind Superimplikationen.

Aristoteles will die Bedingungen bestimmen, unter denen Aussagen korrekt sind oder nicht. Wie ist es mit Aussagen über die Zukunft? Ein berühmtes Beispiel ist die Aussage über die Seeschlacht, die morgen stattfinden soll, - oder nicht. Findet die Seeschlacht morgen statt, so ist die Aussage "Morgen finden die Seeschlacht statt" wahr. Ist sie jetzt wahr, so findet die Schlacht morgen statt, ist sie falsch, findet sie nicht statt. Aber bestimmt die Wahrheit *heute*, was morgen geschieht?

A priori Analyse: Dieses Buch stellt die erste Begründung der Logik als einer eigenständigen Wissenschaft dar. Es handelt sich dabei um die Syllogistik. Ein Syllogismus besteht aus zwei Prämissen und einer Konklusion und bezieht sich auf die grundlegenden kategorialen Aussagen, die in der Interpretation diskutiert werden.

A posteriori Analysis: In diesem Buch wird die Syllogistik auf die wissenschaftliche Erklärung angewendet. Eine *Wissenschaft* ist demnach eine deduktiv geordnete Menge von Aussagen über einen bestimmten Bereich der Natur. Wissenschaftliches Wissen bedeutet nicht zu wissen, dass es Donner in den Wolken gibt, sondern *warum* es Donner in den Wolken gibt. Also ist die Theorie des wissenschaftlichen Wissens eine Theorie der Erklärung. Das Vehikel der Erklärung ist der Syllogismus *Barbara*: Wenn (1) P zu allen Elementen von M gehört, und (2) M zu allen S gehört, dann (3) gehört P zu S. Also: warum gibt es Donner? (1) Geräusch (P)gehört zu den Wolken (S), weil (2) das Löschen von Feuer (M) ist eine Eigenschaft von Wolken (S), und das Geräusch (P) gehört zum Löschen von Feuer (M). Die Kenntnis der Konklusion ist eine Folge der Kenntnis der Prämissen, und die müssen unmittelbar einsichtig sein. Sind sie es nicht, müssen sie wiederum durch einen Syllogismus erschlossen werden. Auf diese Weise entsteht wissenschaftliches Wissen durch eine Folge von Syllogismen. Am Anfang stehen die primären Prämissen, die ihrerseits nicht durch Syllogismen erschlossen werden. Sie sind die Axiome, unmittelbar einsichtig, und enthalten das Wesen der zu erklärenden Tatsache. Das Wesen des Donners ist es, das Feuer zu löschen. Die Einsicht in die primären Prämissen, also die Axiome, geht auf den Geist (nous) zurück.

Die beginnt mit einer Kritik an der platonschen Ideenlehre und seinem Alternativvorschlag, der sogenannten Universaliendoktrin. Postulat: Wenn mehrere Einzeldinge das gleiche Prädikat haben, so nicht als Resultat ihrer Beziehung zu etwas Gleichgeartetem, sondern zu etwas Idealerem. Was dies bedeutet ist nicht ganz klar, weshalb diese Behauptung zum mittelalterlichen Universalienstreit zwischen Nominalisten und Realisten führte.

Zur Universalientheorie: Die Sprache hat Eigennamen und Adjektive. Die Eigennahmen beziehen sich auf Dinge oder Personen, wobei ein Name nur auf eine Sache bzw. Person angewandt wird: Mond, Sonne, Frankreich, Schröder. Andererseits lassen sich Wörter wie "Katze", "Hund" etc auf eine Reihe von Dingen anwenden. Das Universalienproblem entsteht durch die Frage nach der Bedeutung der solcher Wörter, sowie von Adjektiven wie "weiß", "hart" etc.

> **Aristoteles:** *"Unter der Bezeichnung "universal" verstehe ich etwas, was sich von vielen Subjekten aussagen läßt, unter "individuell" dasjenige, bei dem das nicht möglich ist."*

Der Substanzbegriff: Alles, was mit einem Eigennamen bezeichnet wird, ist eine Substanz, was durch ein Adjektiv oder einen Gattungsnamen bezeichnet wird, ist eine "Universale". Universalien bezeichnen die Art einer Sache, nicht eine Einzelsache.

> "$\cdots$ Die Substanz jedes Dinges ist das, was nur ihm eigentümlich ist und sonst nichts anderem gehört. Das Universale aber ist etwas, was vielen eigen ist $\cdots$"

Demnach haben Universalien kein Eigenleben; sie können nur in Einzeldingen existieren. Beispiel: Das Fußballspiel. Wollte man sagen, es gäbe ein Fußballspiel ohne Spieler, so wäre das Unsinn. Süßigkeit: weil es süße Dinge gibt. Fußballspieler können auch ohne Fußball existieren (als normale Menschen), süße Dinge können sauer

werden. Also: was mit einem Adjektiv ausgedrückt wird, hängt mit seinem Sein von dem ab, was mit einem Eigennamen bezeichnet wird, aber nicht umgekehrt.

Nach Russell (In *History of Western Philosophy*) ist dies aber nur "die pedantische Wiedergabe eines Vorurteils des gesunden Menschverstandes". Denn

1. Ohne Fußballspieler gibt es kein Fußballspiel. Aber das Spiel kann sicherlich ohne diesen oder jenen Spieler existieren.

2. Die Eigenschaft *Röte* kann nicht ohne ein Subjekt existieren, sicherlich aber ohne bestimmte Subjekte. Und Subjekte können nicht ohne irgendwelche Eigenschaften existieren. Also:

3. Der Unterschied zwischen Eigenschaften und Dingen scheint eine Täuschung zu sein.

Russell argumentiert, der Unterschied sei nur sprachlich begründet und komme aus der Syntax. Denn es gibt Eigennamen, Adjektive und Beziehungswörter: "John ist klug", "James ist dumm", "John ist größer als James". John, James sind Eigennamen, klug, dumm sind Adjektive, größer ist ein Relativwort. Seit Aristoteles haben Metaphysiker diese syntaktischen Unterschiede metaphysisch ausgelegt: John und James sind Substanzen, Klugheit und Dummheit Universalien, und die Relativwörter werden übergangen oder, nach Russell, falsch interpretiert. Wenn Ihnen die Unversalienlehre nicht klar ist, so befinden Sie sich in guter Gesellschaft: nach Russell *ist* die Universalienlehre unklar.

Das Wesen (die Essenz): Wesen ist das, was man durch seine eigene Natur ist. Es sind die Eigenschaften, die man nicht verlieren kann, ohne sich selbst zu sein. Aber auch eine Gattung hat ein Wesen. Das Wesen eines Menschen (nicht eines bestimmten Menschen, sondern generell als Lebewesen) ist die Ursache, deretwegen sich Materie zu einem Menschen geformt hat, - und das ist die Seele. Also ist Form im Sinne einer Essenz ist die primäre Substanz.

> **Anmerkung:** Der Begriff des Wesens von etwas (der Dinge, eines Menschen, ...) ist gedanklich außerordentlich unklar, was einem zunächst nicht auffällt, weil der Begriff umgangssprachlich so vertraut ist. Frage: warum macht man leichtfüßigen Gebrauch von Begriffen, deren Struktur man sprachlich und also auch gedanklich kaum fassen kann?
>
> B. Russel hat es auf den Punkt gebracht: der Begriff des Wesens sei ein ganz verworrener Begriff, der nicht zu klären sei. Das sollten die Anhänger des Philosophen Heidegger hören. Denn was, zum Beispiel, unterscheidet den Begriff des Wesens von dem einer Universalie?

Form und Stoff: Dieses von Aristoteles elaborierte Begriffspaar ist schon deswegen beunruhigend, weil es nicht ganz klar ist, ob es eine gedankliche Trivialität oder eine gedankliche Tiefe repräsentiert: man hat Stoff, Materie, der/die zunächst nichts weiter ist als er/sie selbst, z.B. Lehm, oder Marmor. Man kann aus diesem Stoff eine Statue machen: damit hat man dem Stoff Form gegeben. Bei ruhiger See ist das Wasser der Stoff, die Glätte des Wasserspiegels ist die Form. Stoff wird

kraft Form zu einem Ding. Wasser: eine Teilmenge lässtsich abtrennen und in ein Gefäß tun, - damit wird es Teil eines Dinges.

Nun ist nach Aristoteles die Seele die Form des Körpers (Form $\neq$ Gestalt). Die Seele macht den Körper zu einem Ding, das ein "Organismus" ist. Das Auge kann nicht sehen, wenn es vom Körper getrennt wird. Es ist die Seele, die sieht. Damit ist die Form das, was einer Menge Stoff Einheit verleiht, und zwar eine teleologische (d.h. auf ein Ziel hin gerichtete) Einheit. Die Formen sind substantiell, die Universalien nicht. Ein Mann macht eine Bronzekugel. Den Stoff (= die Bronze) hat es schon gegeben, die Form ebenfalls, und der Mann aber bringt beides "nur" zusammen. Die ewigen Dinge bestehen nicht aus Stoff, außer denjenigen, die sich im Raum bewegen. Die Dinge werden wirklich, wenn sie Form annehmen, und Stoff ohne Form ist nur eine Möglichkeit.

Annahme: Formen sind Substanzen, die unabhängig vom Stoff existieren. Die Form ist wirklicher als der Stoff; wie bei Platon sind also nur die Ideen real. Die Ideen haben, wie bei Plato, eine eigene, metaphysische Existenz, - sie werden zu einem Abbild einer übersinnlichen Welt und nur als solche zum Gegenstand einer intellektuellen Anschauung.

Der Unterschied von Stoff und Form hängt mit dem zwischen Möglichkeit (Potentialität) und Wirklichkeit (Aktualität) zusammen. Der reine Stoff ist die Möglichkeit der Form, - Veränderungen sind Entwicklungen zu mehr Form und damit zu besserer Erkennbarkeit. Je mehr Form, desto wirklicher (= aktueller). Dann ist Gott die reine Form und Wirklichkeit, und für ihn kann es keine Veränderung mehr geben. Das Universum dagegen entwickelt sich ständig zu etwas Besseren.

Es gibt drei Arten von Substanzen:

1. die sinnlich wahrnehmbaren und vergänglichen (Pflanzen und Tiere)
2. die sinnlich wahrnehmbaren und unvergänglichen (Himmelskörper)
3. die weder sinnlich wahrnehmbaren noch vergänglichen (die Vernunftseele bei Mensch und Gott).

Warum Gott? Hier wird als Axiom postuliert, dass nichts ohne Ursache geschieht. Da es Bewegung gibt, muß es eine Ursache für die Bewegung geben. Um einen infiniten Regress zu vermeiden, muß man postulieren, dass es etwas gibt, das bewegt, selbst aber unbewegt ist. Es muß ewig, Substanz und Wirklichkeit sein. Dieses Es ist der Erste Beweger = Gott. Es gibt demnach ein Objekt des Begehrens und ein Objekt des Denkens, das Bewegung erzeugt, ohne sich selbst zu bewegen. Gott erzeugt Bewegung, weil er geliebt wird; jede andere Ursache bewirkt Bewegung, weil sie selbst in Bewegung ist (Billardkugel). "Gott ist substituierendes Leben. Denn Aktualität des Intellektes ist Leben, Gott ist Aktualität, er ist ewiges, vollkommenes Leben, es hat ewige und stete Dauer".

Daraus folgt: es gibt ein ewiges, unbewegtes und vom Sichtbaren abgeschiedenes Wesen; es hat keine Größe und ist unteilbar und unzertrennlich. Es ist leiden- und wandellos.

Russell: Gott bei Aristoteles ist nicht der christliche Gott. Denn er kann nichts anderes denken als das Vollkommene, er kann sich also nur selbst denken, er ist "das Denken des Denkens". Nach Russell folgt daraus, dass dieser so konzipierte Gott

von unserer Welt, die unter dem Mond liegt, nichts weiß. Wie später Spinoza glaubt Aristoteles, dass zwar die Menschen Gott lieben, Gott aber nicht die Menschen liebt.

Aristoteles hat astronomische Berechnungen durchgeführt, denen zufolge es 47 oder 55 unbewegte Beweger gibt. Aber wie ist bei Aristoteles der Begriff der Ursache definiert? Es gibt vier Arten: die stoffliche, die formale, die wirkende und die Zweck-Ursache.

1. die stoffliche: der Marmor
2. die formale: das Wesen der herzustellenden Statue,
3. die wirkende: die Berührung mit dem Meißel des Bildhauers,
4. die Zweck-Ursache: die Absicht des Bildhauers.

Also:

1. Gott ist ewig als reines Denken, als Glückseligkeit, als völlige Selbsterfüllung und ewig im Verwirklichen seiner Absichten.
2. Die sinnliche Welt ist unvollkommen, doch es gibt Leben, den Wunsch, das Denken.
3. Alles Lebendige weiß etwas von Gott und wird durch Bewunderung Gottes und Liebe zu ihm zum Handeln getrieben. Damit ist Gott die Zweck-Ursache allen; handelt es sich abe um sinnliche Dinge, bleibt immer ein stoffliches Substrat zurück; nur Gott ist reine Form ohne Stoff.
4. Die Welt entwickelt sich stetig zu immer höherer Form und wird damit immer gottähnlicher. Der Vorgang kommt aber nie zuende, weil sich der Stoff nie ganz ausschalten läßt.
5. Gott bewegt die Welt nur durch die Liebe, das endliche Wesen zu ihm empfinden.

Psychologie: Die Psyche, also die Seele, ist die Form eines Körpers mit der Potentialität des Lebens, und daraus folgt, dass die Psychologie eine Naturwissenschaft ist. Nach Aristoteles gibt es zwei Arten, nach der die Form wirksam wird: Potentialität (*dynamis*) und Aktualität (*entelecheia*). Ein Kind ist zB ein Arzt nur als Potentialität, noch nicht in Wirklichkeit. Erst durch Training nimmt es später die spezielle Form "Arzt" an, etc.

Man hat darüber gestritten, ob Aristoteles an die Unsterblichkeit geglaubt hat. Averroës (Ibn Rushd) meint, er habe es nicht. In seinem Buch *Von der Seele* sagt Aristoteles, die Seele sei an den Körper gebunden und macht sich über die Lehre des Pythagoras lustig, derzufolge es Seelenwanderung gibt. Demnach geht die Seele mit dem Körper zugrunde (sie ist untrennbar vom Körper). Oder doch Teile der Seele. Leib und Seele verhalten sich wie Stoff und Form:

> *Die Seele muß Substanz sein im Sinne der Form eines materiellen Körpers, der potentiell Leben besitzt. Substanz aber ist Aktualität, also ist*

> *die Seele die Aktualität eines Körpers der oben bezeichneten Art. - Die Seele ist Substanz als objektiver Begriff, dh sie ist das eigentümliche Sein eines Körpers von dieser so bestimmten Beschaffenheit (nämlich Leben zu besitzen).*
>
> *Die Frage, ob Leib und Seele eins sind, ist sinnlos, ebenso wie die, ob Wachs und die ihm aufgeprägte Form eins sind. Die Seele ist die Bestimmtheit des Leibes.*

Aristoteles unterscheidet zwischen Seele und Geist. Der Geist steht höher als die Seele und ist weniger an den Körper gebunden:

> *Mit dem Geist verhält es sich anders; er erscheint als eine unabhängige Substanz, die dem Körper innewohnt und nicht zerstört werden kann. Der Geist oder die Denkfähigkeit unterscheidet sich von der Seele wie das Ewige vom Vergänglichen; er allein kann getrennt von allen anderen psychischen Fähigkeiten existieren. Alle anderen Teile der Seele können ⋯ nicht für sich allein existieren.*

Welche Betrachtungen stehen hinter dieser Argumentation? Der Geist ist derjenigen Teil von uns, der Mathematik und Philosophie begreift, dh er beschäftigt sich mit zeitlosen Gegenständen, also muß er selbst zeitlos sein. Die Seele dagegen bewegt den Körper und nimmt sinnliche Dinge wahr; sie ist bestimmt durch Selbsterhaltung Empfindung, Vorstellung und Bewegung. Der Geist hat die höhere Funktion des Denkens, die keine Beziehung zum Körper oder zu den Sinnen hat. Daher kann der Geist unsterblich sein, nicht aber die Seele.

In der *Nikomachischen Ethik* geht es weiter über Seele und Geist = Vernunft. Denn in der Seele gibt es ein rationales und ein irrationales Element.

1. Der irrationale Teil is zweifach: vegetativ in jedem Lebewesen, auch in den Pflanzen, und triebhaft in allen Tieren.

2. Das Leben der rationalen Seele besteht in der Kontemplation, die für den Menschen vollkommene Glückseligkeit bedeutet, obgleich er sie nie vollkommen erreichen kann. Denn dann wäre er Gott ... Die Vernunft ist im Vergleich zum Menschen etwas Göttliches, und der Mensch muß sich bemühen, so weit es möglich ist, unsterblich zu sein ...

Die Individualität eines Menschen ist also durch den Leib und den irrationalen Teil der Seele gegeben, die Vernunft = Geist aber ist göttlich und daher unpersönlich. Wie Russell sagt: der eine mag Austern, der andere Ananas, und dadurch unterscheiden sie sich voneinander. Denken sie aber über das Einmaleins nach, so besteht zwischen ihnen kein Unterschied, unter der Bedingung, dass sie richtig denken. *Das Irrationale trennt uns, das Rationale eint uns.* Die Unsterblichkeit des Geistes ist also nicht an die Person eines Menschen gebunden, sie ist ein Teil von Gottes Unsterblichkeit. Aristoteles glaubte also wohl nicht an eine persönliche Unsterblichkeit, wie Platon oder die Christen; Menschen haben nur am Göttlichen teil. Die höchste Tugend besteht dann darin, das göttliche Element in der Seele zu entfalten; käme er dabei ganz zum Ziel, wäre er keine Einzelperson mehr.

Kommentare:

1. Wie die vorsokratischen "Physiker" entwickelt auch Aristoteles seine Philosophie rational, dh ohne Rückgriff auf systematische empirische Befunde. Das kann er auch gar nicht, denn es geht ihm ja um das Grundsätzliche, aus dem die Möglichkeit der Empirie erst erschlossen werden muß.

2. Die Frage nach dem Grundsätzlichen führt zu der Frage, wie man es finden soll. Eine erste Möglichkeit ist, die Hypothesen bzw. Aussagen der Vorgänger zu prüfen und zu kritisieren. Das tut Aristoteles zB mit der Diskussion des Unendlichkeitsbegriffs: er unterscheidet das aktual und das potentiell Unendliche. Woring besteht aber ein allgemeiner Ansatz, Alternativen zu kritisierten Begriffen?

3. Aristoteles schlägt insofern einen empirischen Ansatz vor, als dieser dazu dienen kann, das Alltägliche in abstrakter Weise zu kategorisieren.

4. In jedem Fall geht Aristoteles von einer Menge von Setzungen bzw. metaphysischen Annahmen aus, zB der, dass man am Geist teilhat, wenn man mathematische Dinge denkt, nicht aber, wenn man "nur" etwas empfindet; Empfindung ist eben nur seelisch.

2.3 Weitere Entwicklungen:

Alexander der Große beauftragte den griechischen Architekten Dinocrates (332-331 v. Chr.), die Stand Alexandria zu bauen. Die Stadt entstand an der Stelle des alten Dorfes Rhakotis. Alexandria wurde bald zu einem wirtschaftlichen und wissenschaftlichen Zentrum (Bibliothek von Alexandria). Es soll kurz auf zwei bedeutende Gelehrte hingewiesen werden, die in Alexandria lebten.

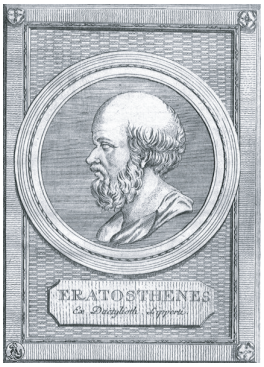
2.3.1 Eratosthenes, 276 - 195 v. Chr.

Eratosthenes aus Kyrene im heutigen Lybien, seit 264 Leiter der Bibliothek von Alexandria, war zugleich Schriftsteller und Mathematiker. Er schrieb zur Grammatik, zur Literaturgeschichte, zur Mathematik, Chronologie, Astronomie und Geographie, - er gilt u.a. als Erfinder des Wortes "Geographie". Vielen Schülern ist er durch das "Sieb des Eratosthenes" bekannt geworden, einer Methode zur Bestimmung von Primzahlen. er berechnete die Distanz zwischen der Erde und der Sonne, zwischen dem Mond und der Erde (780 000 Stadien, s. unten), kompilierte einen Sternenkatalog, der 675 Sterne umfasste, der aber nicht erhalten geblieben ist. Weiter fertigte er eine Karte des Nilverlaufs bis Khartoum an und eine Karte der damals bekannten Welt, d.h. von den britischen Inseln bis nach Ceylon und von der Kaspischen See bis nach Äthiopien. Im Jahr 195 v. Chr. erblindete er und im darauf folgenden Jahr hungerte er sich zu Tode.

Um 230 hatte er die Idee, den Erdumfang zu berechnen. Einmal im Jahr – am Tag der Sommersonnenwende – steht in Syene - heute Assuan - die Sonne senkrecht, was man daran erkennen kann, dass sie ohne einen Schatten zu werfen in einen Brunnen scheint. Zur gleichen Zeit wirft ein Gnomon der Höhe h[28] in

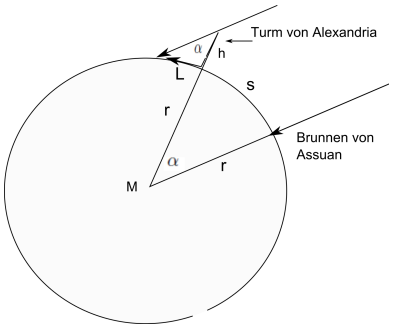
[28] Gnomon: ein "Schattenstab", d.h. ein senkrecht aufgestellter Stab oder ein Obelisk (Turm von Alexandria), durch dessen Schattenlänge auf einer waagerechten Ebene die Höhe der Sonne bestimmt wird. Aus dem Gnomon wurde später die Sonnenuhr entwickelt.

Abbildung 10: Eratosthenes (276 - 195 v. Chr.)



Alexandria einen Schatten (der Sonne) der Länge L, der einem Einfallwinkel von $\alpha = 7.2$ Grad entspricht, vergl. Abbildung 11. Es ist $\alpha = s/r$, s die Bogenlänge

Abbildung 11: Zur Berechnung des Erdumfangs nach Eratosthenes



des Kreisabschnitts zwischen Assuan und Alexandria, und unter der Annahme, dass Alexandria und Assuan auf demselben Längengrad (Meridian) liegen (die Annahme ist nicht ganz korrekt, der Unterschied beträgt ca 3 Grad) und die Sonnenstrahlen (Pfeile in Abbildung 11) parallel auf die Erde fallen, so gilt $\alpha = s/r$, r der Erdradius. Da $\tan\alpha = h/L$ ist $\alpha = \arctan(h/L)$, h ist bekannt, L wird gemessen und ist deshalb ebenfalls bekannt, also kennt man α. s ist ebenfalls bekannt[29], und man erhält für den Erdumfang U

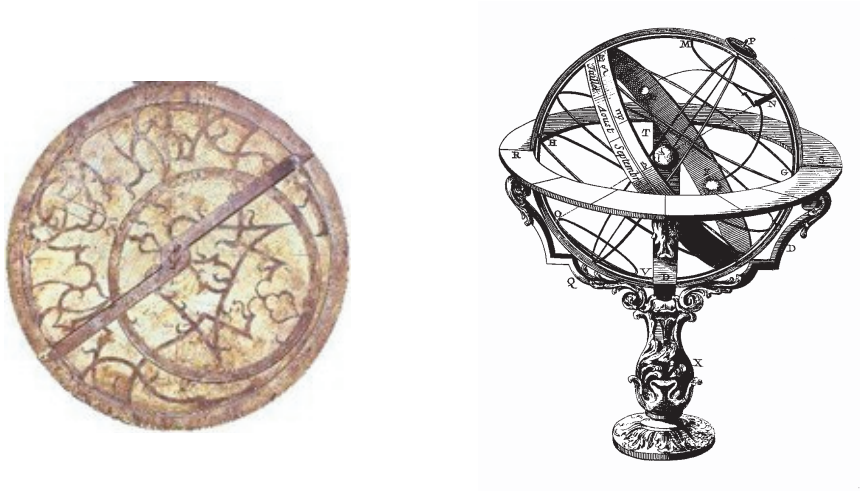
$$U = 2r\pi = \frac{2s\pi}{\alpha}.$$

Das ergibt einen Erdumfang von ca $50 \times 5000 = 250000$ Stadien. Ein Stadion entspricht ca 160 m, so dass man auf einen Erdumfang von ca 40 000 km kommt. Eratosthenes untermauerte seine Überlegungen zur Kugelförmigkeit der Erde spä-

[29] Die Entfernung zwischen Alexandria und Syene beträgt 50 Tagesmärsche einer Kamelkarawane, und die durchschnittliche zurückgelegte Entfernung pro Tagesmarsch beträgt 100 Stadien, d.h. Die Entfernung zwischen Alexandria und Syene betragt ≈ 5000 Stadien.

Abbildung 12: (a) Astrolabium, (b) Amillarsphäre

(a) (b)



ter noch durch Beobachtung der Halbmondphasen und der Sonne, gleichwohl fand er nur wenig Anerkennung. Denn die Gravitationskraft der Erde als eine zum Erdmittelpunkt gerichtete Kraft war nicht bekannt; dem allgemeinen "gesunden" Menschenverstand schien es logisch zu sein, dass die Menschen, die sich auf der Unterseite der Kugel befanden, von eben dieser hinunterfallen müßten. Eratosthenes bestimmte noch die Schiefe der Ekliptik, konstruierte ein Koordinatensystem, d.h. ein System von Längen- und Breitengraden für eine neue Weltkarte und folgerte, dass man auch über den Seeweg nach Westen nach Indien kommen müßte.

Segelt man auf dem Meer, muß man seinen Ort bestimmen. Dies gelingt unter Umständen, wenn man seine Position relativ zu den Sternen bestimmen kann. Eine Instrument für derartige Berechnungen ist das Astrolabium, dass von den Seefahrern bis zur Erfindung des Sextanten im 18-ten Jahrhundert benutzt wurde. Die Erfindung des Astrolabiums soll auf Hipparchus (190 - 120 v. Chr.) zurückgehen; andere Historiker sind allerdings der Ansicht, dass Hypatia von Alexandria (ca. 370 - 415)[30] dieses Instrument erfunden hat. Ein Astrolabium ist eine Metallscheibe - vergl. Abbildung 12 (a) - , in die ein mit Gradeinteilung versehener Kreis eingraviert ist und in deren Zentrum ein rotierender Arm befestigt ist. Die 0^o-Markierung wird in Übereinstimmung mit dem Horizont gebracht und das Ende des Arms wird mit einem Stern in Übereinstimmung gebracht; die Position des Sterns kann dann abgelesen werden und in Relation zur Position des Schiffes gebracht werden.

Eratosthenes gilt als Erfinder der 3-dimensionalen Verallgemeinerung des Astro-

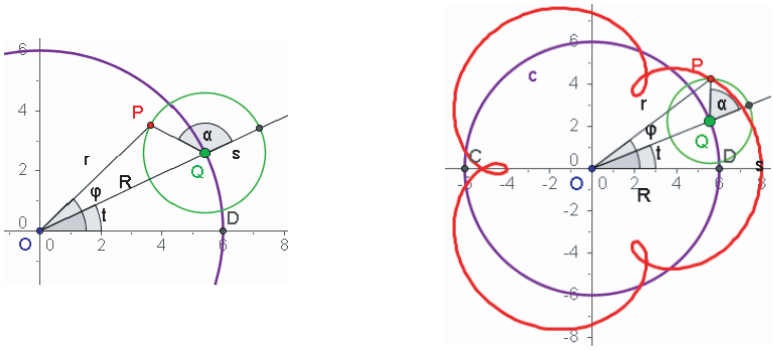
[30]Die Griechin Hypatia von Alexandria, Tochter des Mathematikers und Astronomen Theon von Alexandria und die Schwester des Mathematikers Epiphanius war Mathematikerin und Philosophin. Sie wurde im März 415 vom "Volk" ermordet, ohne dass das Mordmotiv eindeutig klar erscheint. Mit ihrem Tod erlosch die alexandrinische Mathematikerschule.

labiums, nämlich der Amillarsphäre, vergl. Abbildung 12 (b), die auch sphärisches Astrolabium genannt wird. Es besteht aus Metallringen, die die Pole verbinden und von denen einer den Äquator repräsentiert. Andere bilden die Ekliptik, die Meridiane und die Breitengrade ab. Das Zentrum der Sphäre war zunächst die Erde, später die Sonne. Mit diesem Instrument kann man die Bewegung der Sterne um die Erde abbilden. Die Amillarsphären waren lange in Bebrauch; der dänische Astronom Tycho Brahe (1546-1601) soll mehrere solcher Sphären konstruiert haben.

2.3.2 Claudius Ptolemaios

Ptolemaios (nach 83 - 161) stammte aus Ptolemais in Ägypten und wirkte in Alexandria. Er war Astronom, Geograph und Mathematiker; seine astronomischen Tabellen wurden bin in die Neuzeit von Astrologen benutzt. In der *Kanobosinschrift*

Abbildung 13: Ptolemäische Epizyklen



wird eine Sphärenharmonie darstellt, bei der den Planeten die Seiten einer Lyra zugeordnet werden; Kepler verfolgte später ähnliche Ideen. Er entwickelt ein 41-Sphären-Modell. Bekannt ist sein geozentrisches Modell des Universums, in dem er den Lauf der Planeten durch Epizyklen erklärte (vergl. Abbildung[31] 13); die rote Kurve zeigt die Epizyklen.

Argumente für die Kugelförmigkeit der Himmelskörper; die Erde bleibt nach Ptolemaios fest am Ort und dreht sich nicht, denn ein hochgeworfenes Objekt müsste es bei einer Selbstdrehung der Erde an einem anderen Ort, da sich die Erde unter ihm weiterdreht. Die *Mathematike Syntaxis Ptolemaios* ("Mathematische Zusammenstellung in dreizehn Büchern") ist sein großes mathematisches Werk; Kalif Harun al-Raschid (786 - 809) ließ es als erster ins Arabische übersetzen; das Werk wurde als "Megale Syntaxis" bezeichnet, d.h. als "Große Syntaxis". Im Arabischen wurde daraus Megiste (die Größte), man setzte den arabischen Artikel Al davor: Al-Megiste. Daraus wurde die Bezeichnung "Almagest", unter der das

[31] Nach D. Haftendorn; R Radius des Kreises, P Ort des Planeten. r ist der Orstvektor, der die Position des Planeten zur Zeit t angibt. Nach dem Kosinussatz gilt für das Dreieck OPQ die Beziehung $r^2 = s^2 + R^2 - 2rs\cos(\pi - kt)$, und $\cos(\pi - kt) = -\cos(kt)$. Also erhält man $r(t) = \sqrt{s^2 + R^2 + \cos(kt)}$; berechnet man $r(t)$ als Funktion von t für eine fixe Wahl von k, so ergeben sich die vom Parameter k abhängigen Epizyklen.

Werk heute bekannt ist.

2.3.3 Alchemie I

Einer Berührung zwischen Religion und Wissenschaft ergab sich nicht nur in der Astronomie, sondern auch in der Alchemie. Die älteren Griechen hatten der Chemie relativ wenig Aufmerksamkeit geschenkt, vermutlich weil chemische Prozesse im Handwerk eine gewissen Rolle spielen (etwa beim Mischen von Metallen), die Ausübung eines Handwerks aber von den griechischen Philosophen für eine niedrige Tätigkeit gehalten wurde; Ausnahmen waren die ionischen Naturphilosophen Thales, Anaximander, Anaximenes, und einige Nachfolger des Aristoteles. Handwerkliche Arbeiten wurden oft von magischen Ritualen begleitet, die eine lange Tradition hatten. So setzten die griechischen Töpfer Masken auf ihre Brennöfen, denn sie erwarteten, dass sie damit die Dämonen abschrecken würden, die ihnen sonst die Öfen zerschlagen würden. Die Herstellung von Metallen wurde mit Lebensprozessen wie Geburt und Tod in Verbindung gebracht: in einem assyrischen Text aus dem Jahre 700 v. Chr. wird die Herstellung von Metallen mit einem Geburtsritual verknüpft. In einem persischen Text um 500 v. Chr. wird die Geburt der Metalle als Folge des Todes eines Wesens göttlichen Ursprungs betrachtet. Als dieses Wesen getötet wurde, floß Blei aus seinem Kopf, Silber aus dem Mark, Kupfer aus den Gebeinen, Stahl aus dem Fleisch und Gold aus seiner Seele. Diese Vorstellungen gingen in modifizierter Form in die philosophischen Betrachtungen ein. Vorstellungen Platons, der an Seelenwanderung glaubte, fanden im Neuplatonismus wieder Einfluß, so zB bei Plotinos (Plotin), 204 - 270 nChr. Danach sind die Dinge in der Natur letztlich lebendig und wachsen daher. Jedes Ding entwächst aus einem Samen, der von Anfang an den fertigen Plan für seine spätere Gestalt und seine Eigenschaften enthält. Dieser Plan wiederum wurde als Seele bzw Geist gedacht, der wiederum durch einen universalen Plan bzw Geist der Natur - das Pneuma - verwirklicht wurde. Philosophie und Religion ergaben dann die Vorstellung, dass die Gestalt und die Eigenschaften eines Dinges durch Tod und Wiedergeburt auf ein anderes Ding übertragen werden können. Dementsprechend glaubten die Alchemisten, dass Metalle lebende Wesen seien und sich allmählich zur Vollkommenheit des Goldes entwickelten. Diese Entwicklung kann man beschleunigen und künstlich nachahmen, indem man das innere Wesen, die *Essenz*, des Goldes isoliert und auf unedle Metalle überträgt, die damit das Wesen und die Eigenschaften des Goldes übernehmen. Die Seele des Metalls wurde als flüchtiger Dunst aufgefaßt, der wiederum an der Farbe des Metalls erkennbar ist. So sprach Zosimos ca 300 nach Chr:

> "Verflüchtigter Dunst ist Geist und Gleiches gilt von den farblichen Eigenschaften $\cdots$ Das Geheimnis der Goldtinktur ist, Körper in Geister zu verwandeln, um sie zur Geistigkeit zu färben."

Die Alchemisten begannen bei ihren Untersuchungen mit der Herstellung einer Legierung aus Kupfer, Zinn, Blei, und Eisen; diese Metalle waren ihrer Auffassung nach die Grundmetalle, aus denen sich alle anderen MEtalle zusammensetzen. Aus den Grundmetallen versuchte man wiederum, einen Urstoff zu filtern. Die Oberfläche der Legierung wurde zunächst mit Arsenik oder Quecksilber geweißt, und dann fügte man ein wenig Gold als Samen hinzu, damit die gesamte Masse zu Gold

werde. Man glaubte, dass eine kleine Menge Gold wie Hefe wirkt, die einen Teig treibt. Behandelte man dann die Oberfläche mit schwefligem Wasser, so bekam sie ein bronzeartiges Aussehen. Man war der Auffassung, dass der Umwandlungsprozess die unedlen Metalle tötete, weil sie ihr "inneres Wesen" in der Umwandlung verloren hätten. Dafür kam dann wie bei einem Geburtsvorgang das innere Wesen des Goldes hervor.

Verbindet man die Bildung von Metallen mit der Idee der Geburt, so liegt die Vorstellung nicht fern, dass Metalle aus einer geschlechtlichen Zeugung hervorgehen. Dementsprechend wurden Metalle als entweder männlich oder weiblich konzipiert. Die Alchemistin Maria die Jüdin verkündete deshalb die Vorschrift:

> "Vereinige das Männliche mit dem Weiblichen, und du wirst finden, was du suchst!"

Silber tut dies bereitwillig, Kupfer dagegen paart sich "wie das Pferd mit dem Esel und der Hund mit dem Wolf". In der islamischen und mittelalterlichen Alchemie hat diese Vorstellung große Bedeutung gewonnen.

2.4 Der Untergang Roms und die Folgen

2.4.1 Politische und ökonomische Aspekte

Die griechische Philosophie war den Römern durch die Griechen - mehr oder weniger - bekannt, so dass die Lehren des Aristoteles, aber natürlich auch anderer Griechen, zunächst erhalten blieben. Die Römer gelten als philosophisch nicht sehr kreativ, und ihre Beitrag zur Mathematik ist wahrscheinlich schon deswegen gering, weil das System der römischen Zahlen dem Denken in Zahlsystemen abträglich ist. Über die griechischen Siedlungen in Süditalien hatten sie Kontakt zur griechischen Kultur. Die Römer wurden insbesondere von der Stoa beeinflußt, weil diese Philosophie Grundeinstellungen entsprach, die die Römer schon von den Etruskern übernommen hatten.

Das Römische Reich geriet allerdings in Schwierigkeiten: es war überdehnt, es gab dauernde Kämpfe um die Führung, und es litt an sozialen Problemen. Aus allen Teilen des Reiches strömte man nach Rom, wo man u.U. ein besseres Leben führen zu können glaubte: es gab etwas zu essen und Spiele zu sehen. Im Kolosseum wurden Gladiatorenkämpfe gezeigt, an denen sich nicht nur der Pöbel begeisterte. Marc Aurel versuchte, die Grausamkeit der Gladiatorenkämpfe einzuschränken, indem er nur stumpfe Schwerter zuließ, doch musste diese Anordnung bald wieder zurückgenommen werden; den Kämpfen fehlte die Würze von fließendem Blut und abgetrennten Gliedern, so dass das Volk rebellierte. Die Sklavenwirtschaft wurde zu einem ökonomischen Problem, denn selbst Sklaven müssen ernährt werden. Für die Wohlhabenden wurden die Steuern innerhalb Roms zu hoch und die Lebensbedingungen zu schlecht (auf den Straßen Roms nährten sich die Hunde von abgehackten Händen), also zogen sie vor die Stadt aufs Land und bauten sich dort ihre Villa, - zusammen mit den Häusern für die Landarbeiter und Bediensteten entstanden so die Dörfer (villes, villages). Das wirtschaftliche und politische Elend trug dazu bei, dass Erlösungstheologien wie das Christentum langsam an Boden gewannen (Raith, 1982).

2.4.2 Der Niedergang der Wissenschaft im Altertum

Der Niedergang des Römischen Reiches brachte einen allgemeinen intellektuellen Niedergang mit sich. Der Kaiser Diokletian ließ 292 nChr alle Bücher der Alchemisten verbrennen, die Bibliothek von Alexandria wurde 389 nChr in Brand gesteckt, angeblich bei einem Aufruhr von Christen, denen die dort aufbewahrten Schriften zu gottesfern waren. Der Aufstieg des Christentums brachte alte Vorstellungen zurück. Man hatte sich inzwischen an die Vorstellung gewöhnt, dass die Erde eine frei im Raum schwebende Kugel sei, aber diese Theorie gefiel einigen Kirchenvätern nicht. Sie waren der Ansicht, dass die Gestalt des Universums einem Tabernakel, also einer kirchlichen Vorrichtung zur Erzeugung frommer Stimmungslagen, gleichen müsse. Insbesondere die syrische Kirche förderte den Gedanken, die Erde sei eine Scheibe, und Cyrillus, Bischof von Jerusalem (ca 360 nChr) und der Bischof von Tarsus, Diodorus (394 gestorben), erklärten, das griechische Weltsystem sei atheistisch.

Im westlichen Teil des römischen Reiches blieb die Idee der Kugelförmigkeit noch einige Zeit erhalten. Ambrosius, Bischof von Mailand (397), und sein Schüler, der heilige Augustinus (354 - 430), sprachen von einem kugelförmigen Himmel, aber Ambrosius hielt die Fragen nach der Gestalt des Himmels nicht für besonders wichtig, denn

> "Die Natur und den Platz der Erde zu erörtern hilft uns nicht bei der Hoffnung auf ein ewiges Leben".

Isidorus (570-636), Bischof von Sevilla, zitierte noch die "Philosophen", denen zufolge die Erde eine in Ruhe befindliche Kugel sei und der Himmel um sie als Sphäre rotiere. Aber derartige Details verloren nun rasch an Bedeutung, und so kamen den Kirchenvätern die Einzelheiten der griechischen Philosophie immer mehr abhanden. Im Osten wurden die Systeme von Aristoteles und Ptolemaios christlich-theologisch umgefärbt. In Byzanz und Athen blieben das Lyzeum und die platonsche Akademie noch in Betrieb und die Wissenschaft konnte sich noch eine Weile halten, aber im Jahr 529 nChr wurden sie von Kaiser Justinian geschlossen. Als letzter heidnischer Philosoph gilt

Proklos (410-485 nChr). Der erwähnt, dass man an einer neuen Theorie des Universums arbeitete, in der das mathematische System des Ptolemaios mit dem System des Aristoteles vereinigt werden sollte. Das ptolemäische System beruhte auf der Annahme, dass der Himmel aus 9 konzentrischen Kugelschalen besteht. Die erste Schale trägt den Mond, die zweite den Merkur, und die achte den Fixsternhimmel. Die neunte schließlich bildet das *primum mobile*. Jede Schale sollte so groß sein, dass sie Raum für die Epizyklen ließ, die nach dem ptolemäischen System die Planetenbahnen beschreiben. Aufeinander folgende Schalen sind miteinander verbunden. Auf diese Weise war die größte Entfernung von der Erde, in die ein Himmelskörper gelangen konnte, gleich der kleinstmöglichen Entfernung des nächstfolgenden Körpers; der Mond konnte sich also nicht weiter entfernen, als sich der Merkur der Erde nähern konnte. Auf diese Weise kann man die Dicke der Schalen bestimmen und weiter auf das Ausmaß des Universums schließen.

Der Pseudo-Dyonysios: Jedenfalls waren für die neun Schalen Beweger erforderlich. Die waren von vornehmerer und geistigerer Art als die bewegten Körper.

Hier kommt nun Dyonysios zum Zuge, ein christlicher Neuplatoniker (Platon hatte ja eine Hierarchie von geistigen Wesen in den Himmelskörpern postuliert). Dionysios lebte am Ende des 5-ten Jahrhunderts und war vermutlich ein Schüler des Proklos; der Name Pseudo-Dyonysios wird weiter unten erläutert. Er definierte die geistigen Wesen als Engel, die in einer neunstufigen Hierarchie anordnet wurden. Zuerst kommen die Seraphim, dann die Cherubim und die Throne, dann die Herrschaften, die Fürstentümer und Gewalten, und schließlich die *Mächte:* dies sind die Engel und Erzengel. Die Seraphim sind für die Bewegung des *primum mobile* verantwortlich, die Cherubim für die Bewegung des Fixsternhimmels, usw. Die Engel schließlich drehen die Sphäre des Mondes. Oberhalb der Engel wohnt Gott in einer zehnten Sphäre, dem *Empyreum.* Ihm untergeordnet sind die Menschen auf der Erde, dann die Tiere, dann die Pflanzen, und schließlich das kleinste Staubteilchen des Universums. Jeder Stand ist in sich wieder hierarchisch geordnet: es gibt einen Ersten Seraph, dann geringere Seraphim in einer bestimmten Rangfolge. Es ist alles so eingerichtet, wie es die Kirche auf Erden ist: da gibt es Patriarchen, Bischöfe, etc.

Philoponos: die Impetustheorie. Im 6-ten Jahrhundert wurde dieses System von dem alexandrinischen, zwar christlichen, aber gleichwohl als ketzerisch geltenden Philosophen namens Philoponos (um 550) angegriffen. Philoponos hatte die Theorie, dass Gott den Himmelskörpern am Anfang einen *Impetus* gegeben hat, der eine den Körpern innewohnende bewegende, sich mit der Zeit nicht vermindernde Kraft ist. Den schweren Körpern hat Gott die Neigung gegeben, gegen die Erde hin zu fallen. Philoponos' Theorie zufolge bewirkt der eingeprägte Impetus, dass ein in Bewegung befindlicher Körper im allgemeinen keinen körperlichen Kontakt mit einem Beweger benötigt. Die mangelnde Notwendigkeit körperlichen Kontakts erlaubt die Möglichkeit eines Vakuums, - also muß ein *Horror Vacui* nicht postuliert werden. Damit bildet diese Theorie eine Alternative zu der des Aristoteles, in der die Bewegung gerade durch den *Horror Vacui* erklärt wird. So teilt ja nach Aristoteles ein Pfeil, der durch die Luft fliegt, die Luft und erzeugt so hinter sich ein Vakuum, das eben wegen des der Natur eigenen Schreckens vor der Leere sofort wieder aufgefüllt wird; die Luft wird hinter dem Pfeil sofort wieder zusammengezogen und treibt damit den Pfeil vorwärts[32].

Die aristotelischen und dionysischen Vorstellungen haben das Denken im Mittelalter beherrscht, und auf die Philoponischen Betrachtungen kam man erst im 13-ten Jahrhundert wieder zurück. Dionysos hatte nicht (nur) wegen seiner philosophisch-kosmologischen Ideen einen beträchtlichen Einfluß, sondern weil man ihn mit dem Dionysios Areopagita verwechselte, einem von Paulus bekehrten Athener. So wurden die Werke des Pseudo-Dionysos im Jahre 827 vom byzantinischen Kaiser Michael dem deutschen Kaiser Ludwig dem Frommen geschickt, der sie von dem irischen Philosophen und Naturforscher Johannes Scotus Eriugena aus dem Griechischen übersetzen ließ und damit für ihre weitere Verbreitung sorgte. Johannes Scotus wiederum transportierte die bis auf den heutigen Tag wirksame[33] Idee, dass der Mann das geistige und die Frau das sinnliche Prinzip verkörpere. So gelangten

[32] Zur Übung überlege man sich, ob aus dieser Theorie nicht folgt, dass es eigentlich gar keine Bewegung geben kann; Aristoteles als Propagator Zenonscher Ideen. Alternativ zu dieser Hypothese könnte man überlegen, ob die aristotelische Bewegungslehre nicht ein Argument für die Möglichkeit eines Perpetuum Mobiles sein könnte.

[33] Da diese Idee wirksam ist, muß sie auch wahr sein, denn sonst könnte sie nicht wirksam sein, q.e.d.

die aristotelischen Schriften zusammen mit sogenanntem "alten[34] Wissen" über den Islam in das Abendland und bildeten dort zusammen mit der Bibel, den Werken der christlichen Neuplatoniker und den Lehren des Dionysios die grundlegende Basis für die mittelalterliche gelehrte Welt.

2.4.3 Der Islam und die Wissenschaft

Die Lehren Mohammeds waren Anlaß für die Bewohner Arabiens, ein von den Pyrenäen im Westen bis zur Grenze Chinas reichendes Weltreich zu schaffen. Vorher schon waren Angehörige arabischer Stämme als Söldner in die Dienste der byzantinischen Herrscher und der Römer getreten und hatten so Kontakt mit der griechischen gelehrten Welt bekommen, wobei einige zum christlichen Glauben übergetreten waren und insbesondere in Syrien in die Dienste des byzantinischen Reiches übernommen wurden. Nach Mohammed eroberte einer der arabischen Stämme - die Omajjiden - Syrien ohne Kampf und errichtete dort das erste islamische Kalifat. Sie beriefen Gelehrte nach Damaskus und errichteten im Jahre 700 ein Observatorium. Ihr Glaubenseifer ließ - möglicherweise als Folge der Beschäftigung mit der Wissenschaft - nach, und sie unterlagen den eher fanatischen Abbasiden, die ihr Kalifat in Bagdad errichtet hatten. Die Abbasiden wiederum hatten engere Kontakte zu den Persern, über die auch indische Lehren nach Baghdad gelangten. Etwas später begann der 5-te Kalif, Harun al Raschid, griechische Schriften zu sammeln, und Al Ma'um, der 7-te Kalif, errichtete 828 ein "Haus der Weisheit" zur Übersetzung und Pflege dieser Texte, zu denen auch die des Ptolemaios (87 -150), Euklids, des Arztes Galenos usw. gehörten. Im Jahr 835 führte Al-Khwariszmi die indischen Zahlen und indische Berechnungsweisen in die Algebra (ein arabisches Wort) ein. Die Schriften des Arztes Galenos wurden ins Chinesische übertragen, hatten aber dort wenig Wirkung. Umgekehrt hatte die chinesische Medizin durchaus Einfluß: der auch als Ibn-Sina bekannte, in Bukhara gebürtige Avicenna (918 - 1037) verfaßte einen "Quanun" (= Kanon) der Medizin, in den u.a. Elemente der chinesischen Medizin eingingen. Avicenna war einer der größten islamischen Gelehrten, der in Philosophie, Astronomie, Mathematik und eben auch in der Medizin glänzte. Erwähnenswert ist noch Al-Haitham aus Basra (965 - 1038), der durch optische Arbeiten bekannt wurde. Er wandte sich gegen die Lehre des Euklid, Ptolemaios und anderen, derzufolge das Auge Lichtstrahlen *aussendet*, um die Gegenstände zu erblicken. Diese Lehre hat sich aufgrund der Vorherrschaft des Aristoteles in Europa lange gehalten. Al-Haitham vertrat die mit der heutigen Physik kompatible Ansicht, dass das Licht *kugelförmig* vom Objekt ausgeht. Er arbeitete bereits mit Linsen und tat die ersten Schritte zu einer Theorie der konvexen Linsen.

Eine wichtige Gruppe islamischer Wissenschaftler bildete sich in Spanien. Dort war das Königreich Andalusien im Jahre 755 von einem Überlebenden des Omajjiden-Kalifats aus Damaskus gegründet worden. Die Nachkommen dieses Gründers bezeichneten sich seit dem 10-ten Jahrhundert als die Kalifen von Cordoba. In Cordoba wurde 970 eine Bibliothek eingerichtet, später noch eine in Toledo. Insbesondere die spanischen Moslems standen stark unter dem Einfluß aristotelischer Gedankengänge, denn sie wünschten sich ein physikalisch reales System und nicht die mathematischen Abstraktionen des Ptolemaios. Aristoteles hatte starken Ein-

[34] und *deswegen* wahren!

fluß insbesondere auf Averroës (= Ibn Rushd, 1126 - 1198), auf den u.a. die Lehre von der *doppelten Wahrheit* zurückgeht, die durch den Glauben einerseits und die Vernunft andererseits (fides et ratio) konstituiert werde. Dieser auch als Avëroismus bekannten Lehre zufolge sind Glaube und Vernunft nicht Gegner, sondern das eine bildet die Ergänzung des anderen. Die Kirche hat den Avërroismus verworfen.

Der Aufstieg der Wissenschaft im moslemischen Spanien ging einher mit der Reqoncista, der christlichen Rückeroberung Spaniens. Nach der Eroberung Toledos im Jahr 1085 kamen christliche Denker wieder mit den griechischen Wissenschaften in Kontakt und chinesische Erfindungen wie die Kunst, Papier und Schießpulver herzustellen, gelangten in den Westen.

2.5 Das mittelalterliche Europa

Der Beginn des frühen Mittelalters liegt irgendwo zwischen 455 und 476 (= Absetzung des letzten weströmischen Kaisers Romulus, Odoaker wird Kaiser). Wissenschaftlich passiert ersteinmal nichts. Erst Papst Sylvester II (996-1003) beginnt, sich wieder mit wissenschaftlichen Fragen auseinander zu setzen. Das Leben war mühsam, nur wenige Mönche konnten außer beten auch schreiben. Obwohl man schon die Wassermühle kannte, nahm das Mahlen von Korn viel Zeit in Anspruch. Erst 1180 taucht in der Normandie die erste Windmühle auf. Im orientalischen Bereich waren Windmühlen schon im 10-ten Jahrhundert bekannt, beruhten aber auf einem anderen technischen Prinzip. Da die Wikinger (= Normannen → Normandie) das Mittelmeer bereisten, könnten sie dort auf die Idee der Windmühle gekommen sein, aber es ist auch möglich, dass das Prinzip tatsächlich neu erfunden wurde. Jedenfalls kam es zu Verbesserungen beim Pflügen und zum Gebrauch des Pferdes aufgrund von Verbesserungen des Geschirrs (die zunächst verwendeteten Geschirre, ursprünglich zum Gebrauch bei Ochsen konstruiert, drohten die Pferde zu erwürgen). Langsam verlagerte sich die zivilisierte Welt nach Norden, da dort die technischen Verbesserungen als Folge anderer Bodenbedingungen besser genutzt wurden und damit zu weiteren technischen Neuerungen anreizten. Im Schiffbau wurden der Bugsprit und das Heckruder eingeführt, wodurch die Segeleigenschaften der Schiffe verbessert wurden, und diese Verbesserungen erleichterten wiederum den Handel (Gründung der Hanse). Die Universitäten entstanden aus zunftartigen Verbindungen von Lehrern und Studierenden und Domschulen. Während des 13-ten Jahrhunderts kam eine gewisse Experimentierfreudigkeit auf, die aber wegen der scholastischen Erstarrung nicht lange währte; es war allgemein üblich, sich auf Autoritäten (insbesondere auf Aristoteles) zu berufen und, wenn man nicht weiter wußte, wortreiche Pseudoargumentationen vorzubringen. Nur von den Alchemisten wurde bis in die Neuzeit hinein experimentiert. Allgemeine Betrachtungen darüber, wie die Natur zu erforschen sei, wurden also kaum geführt, da ja von Aristoteles schon alles irgendwie beantwortet worden war. Deswegen ist der im folgenden Abschnitt vorgestellte Roger Bacon von Bedeutung, denn er wich in scharfsinniger und kreativer Weise von den in seiner Zeit gängigen Lehrmeinungen ab.

2.5.1 Roger Bacon (1214-1294)

Roger Bacon lehrte als Franziskanermönch der an der Universität Oxford. Der wahre Forscher, so R. Bacon, solle Naturwissenschaft, Heilmittel, Alchemie und alle

Abbildung 14: Roger Bacon (1214-1294)

Dinge im Himmel und darunter *durch das Experiment prüfen* und solle beschämt sein, wenn irgendein Laie, eine alte Frau, ein Bauer oder ein Soldat etwas über die Erde wüßte, was ihm unbekannt sei. Bacon untersuchte zB die Vergrößerungswirkung von Linsen und vermutete, dass man daraus ein Fernglas bauen könne. Aufgrund eigener Untersuchungen kam er zu der Auffassung, dass es möglich sei, Schiffe und Wagen mit eigenem Antrieb zu bauen, ebenso sei es denkbar, Unterseeboote und Flugmaschinen herzustellen. Allerdings machte er sich mit derlei Spekulationen nicht beliebt, denn er argumentierte damit gegen den "normalen" Wissenschaftsbetrieb. Also wurde er von der herrschenden Orthodoxie getadelt und unter die ständige Überwachung seiner Ordensoberen gestellt. Der damalige Chef des Ordens, Bonaventura (1221 - 1274), äußerte die Überzeugung:

> "Der Baum der Wissenschaft betrügt viele um den Baum des Lebens oder setzt sie den heftigsten Qualen im Fegefeuer aus."

Wissenschaft ist immer schwierig, muß man aber solche Dogmen überwinden, bevor man sich der Wissenschaft nähert, so kommt diese leicht ganz zum Erliegen.

2.5.2 Alchemie II

Im 13-ten Jahrhundert wurde auch wieder Alchemie betrieben. Man entdeckte die mineralischen Säuren (1295 von Vital du Four in Frankreich erwähnt), und den Alkohol, der durch Destillation von Wein oder Bier gewonnen wurde. Der Magister Salernus, gestorben 1167, hat ihn zuerst erwähnt. Alkohol wurde "Wasser des Lebens" genannt und rangierte sofort hinter dem gesuchten Lebenselixier. Es scheint, dass die Untersuchung der Eigenschaften des Alkohols bei den Mönchen zu Ausschweifungen führten, denn 1288 wurden den Dominikanern des Domkapitels

zu Rimini der Gebrauch von Apparaten zur Destillation verboten. Sie setzten aber ihre Studien fort und entwickelten dabei ihre noch heute geschätzten Liköre.

1317 hat Papst Johannes der 22-te die Beschäftigung mit der Alchemie verboten. Theoretisch beriefen sich die Alchemisten auf die alten Theorien: Metalle entstehen durch Vereinigung des männlichen Grundstoffs Schwefel mit dem weiblichen Grundstoff Quecksilber durch einen Prozess von Tod und Wiedererweckung. Dabei entweicht Geist als Dampf und kann in einigen Fällen zu Flüssigkeit kondensiert werden. Die Eigenschaften der Stoffe sind durch diesen Geist bestimmt: die Flüssigkeit enthält also eine Substanz, die für diesen Geist typisch ist und damit Potenzen enthält, die für die Erhaltung des Lebens wichtig sind.

Raimundus Lullus (1232-1315) ist hier von Interesse. Er war ein katalanischer Philosoph, der einerseits als der Weise von Mallorca, andererseits als Ketzer galt. Lullus glaubte, dass Gott am Anfang das Quecksilber geschaffen hatte, das dann

Abbildung 15: Raimundus Lullus (1232-1315)

zirkulierte und sich in alle anderen Dinge aufgliederte. Dabei wurden zunächst die feinsten Teile ausgeschieden und bildeten deshalb die Engel, die weniger feinen Teile kondensierten zu den Himmelskörpern und den Himmelssphären, und der Rest wurde zu den bekannten vier empedokletischen Elementen plus der Quintessenz. Aus diesen Elementen, so die Theorie des Lullus, gingen dann alle irdischen Dinge hervor, wobei sich die Geister der irdischen Körper aus der Quintessenz bildeten. Die Quintessenz beschränke sich aber nicht, wie Lullus meint, wie bei Aristoteles auf die Himmelssphäre, sondern durchdringe als universale Manifestation Gottes das ganze Weltall. Die Quintessenz könne nun durch Destillation isoliert und verdichtet werden. Hierbei wird der Alkohol wieder wichtig, denn er bilde einen zentralen, wenn auch unreinen Geist. Bei einer Rückflußdestillation gliedere er sich nämlich in zwei Schichten: eine obere erweise sich dabei als himmelblau, und eine untere sei trübe. Diese Aufgliederung entspräche der Urzirkulation des Quecksilbers, die die Unterscheidung von Himmel und Erde erzeugt habe. Die obere Schicht ist nun der reine Geist des Alkohols. Weiter ziehe, so fand Lullus, ein Geist den anderen an. Also stellten Lullus und seine Jünger mehrere Auszüge aus Pflanzen her, um ihre Quintessenz zu isolieren: diese Quintessenzen sind ihre Geschmäcker,

Gerüche und Heilkräfte. Die alkoholischen Extrakte wurden dann für medizinische Zwecke verwendet. Dabei wurden Lullus und seinen Ko-Forschern die Schwächen der galenischen Medizin deutlich, und sie begründeten einen Chemiezweig, der dann bei Paracelsus[35] zur sogenannten Iatrochemie wurde[36].

Die Experimentierfreudigkeit ließ aber bald nach und man wandte sich wieder den eher philosophischen Erörterungen zu, die u.a. den Vorteil haben, dass man sie vom Lehnstuhl aus betreiben kann. Insbesondere Albertus Magnus (1206 - 1280) und Thomas von Aquin (1225 - 1274) inkorporierten die aristotelische Philosophie in die katholische Theologie, womit alles geklärt zu sein schien. Thomas von Aquin insbesondere schätzte das aristotelische Weltmodell wegen seiner (scheinbaren[37]) empirischen Plausibilität: da auch nach Thomas' Ansicht nichts ohne Ursache geschieht, muß jemand die Körper schieben, damit sie sich bewegen. Der Gedanke geriet dem Aquinaten zu einem ersten Gottesbeweis: da die Himmelssphären einen Ersten Beweger brauchen, muß es diesen geben, und der ist dann eben Gott. Für die Weiterreichung der schiebenden Effekte wurde das von Dionysos erfundene System der Engel herangezogen, und so erhielt man ein geschlossene Theorie.

2.5.3 William of Ockham (1295 - 1349)

Es gab aber Kritiker. In Oxford lehrte William of Ockham, der die Gültigkeit dieses Gottesbeweises bestritt. Man brauche keinen unmittelbaren Kontakt, um etwas zu bewegen, was man an einem Stück magnetisierten Eisens studieren könne. Es

Abbildung 16: William of Ockham (1295 - 1349)

gäbe also so etwas wie Fernwirkung, die vermutlich auch durch den leeren Raum stattfinden könne. Dann ist aber auch ein Vakuum möglich. Also nahm er die Impetustheorie des Philoponos wieder auf und erledigte damit auch die Theorie

[35] Aureolus Theophrastus Paracelsus, eigentlich Bombast von Hohenheim, 1493 in Einsiedeln (Schweiz) geboren, 1541 Salzburg gestorben.

[36] Von griechisch *iatkos:* Arzt, Heilkundler; bei der von Paracelsus begründeten Iatrochemie wird davon ausgegangen, daß die Lebensvorgänge und ebenso die krankhaften Veränderungen im Orgamismus auf chemischen Vorgängen beruhen.

[37] nicht anscheinenden!

des Aristoteles, nach der ein Pfeil sich deswegen durch die Luft bewegt, weil diese sich wegen des *horror vacui* beim Fliegen hinter ihm zusammenschließt und ihn damit vorantreibt. Auch sind keine Engel mehr nötig, um die Sphären in Gang zu halten. Ockham: "Es ist müßig, mit vielem zu tun, was auch mit wenigem getan werden kann." Heute nennt man dieses Prinzip den Ockhamschen Rasierer (Ockham's Razor). In Oxford hat man William wegen seiner Lehren verfolgt, und er erhielt Unterschlupf in München als Hofphilosoph des Königs von Bayern.

2.5.4 Johannes Buridan(us), $\sim$ 1300 - 1358/59

Die Impetustheorie wurde an der Universität in Paris weiterentwickelt und unter anderem von Johann Buridan vertreten, der dort u.a. von 1325 bis 1348 als Rektor amtierte.

Buridans Interesse galt nicht so sehr den damals zentralen theologischen Fragen. Er fokussierte auf logische, metaphysische und eher physikalische Probleme. Er gilt als der umfassendste Ausleger der aristotelischen Schriften, wobei er sich gleichzeitig von dessen Lehren abwandte, denen zufolge es wegen des *horror vacui* die sich hinter einem Körper zusammenschließende Luft sei, die einen Körper vorantreibt. Ein rotierender Kreisel, so Buridan, bewegt sich ohne Ortsbewegung, und deshalb kann er nicht durch sich zusammenschließende Luft bewegt werden. Außerdem bewege sich ein Speer mit einem stumpfen Ende nicht schneller als einer mit einem spitzen, was doch zu erwarten sei, wenn er von Luft geschoben würde. Darüber hinaus sei der Impetus proportional zur Masse eines Körpers, sowie zu seiner Anfangsgeschwindigkeit. Also müssen auch die Himmelskörper nicht von Engeln geschoben werden. Deswegen müsse man auch überhaupt die Existenz dieser von Pseudo-Dyonysios postulierten Wesen gar nicht erst annehmen, zumal sie in der Bibel gar nicht vorkommen. Buridan ist vor allem durch seine Diskussion der Willensfreiheit ("Buridans Esel") bekannt geworden.

Es gab eine Reihe von Theoretikern, die der Impetustheorie nachgingen, insbesondere auch

2.5.5 Nikolaus von Oresme (um 1320 - 1382).

Nikolaus von Oresme war 1362 Lehrer an der Schule von Navarra und wurde 1377 Bischof von Lisieux. Er postulierte die alte Vorstellung der Griechen, derzufolge die Erde eine tägliche Bewegung um die eigene Achse vollführt, meinte aber, dass man diese Behauptung nicht durch Erfahrung beweisen könne. Das Postulat ergab sich für Oresme vielmehr aus der Tatsache, dass Vollkommenheit und Vornehmheit durch den Zustand der Ruhe gekennzeichnet seien. Wenn die Erde also eine tägliche Drehung beschriebe, so seien die Geschwindigkeiten aller Himmelskörper nach dem Grade ihrer Vornehmheit bzw Unvollkommenheit geordnet und damit ihrer Unvollkommenheit proportional. Die Erde ist der niederste Körper im Universum, also dreht sie sich einmal am Tag. Der Mond ist der nächst höhere, also dreht er sich einmal im Monat, die Sonne einmal im Jahr, der Mars einmal in zwei Jahren etc. In der Sphäre der Fixsterne gibt es dann kaum noch Bewegung. Oresme beurteilte diese Erwägungen als "vorteilhaft für die Verteidigung unseres Glaubens". Wichtig an der Argumentation ist die Annahme, dass der einmal gegebene Impetus lange vorhält, weil es keinen Widerstand gibt (also existiert leerer Raum);

der Kern dieser Idee taucht später bei Galilei und insbesondere bei Newton wieder auf. Im Übrigen ist das Universum nach Oresme unendlich weit ausgedehnt und enthält noch mehr Welten wie unsere. Fortgesetzt hat diese Überlegungen dann Giordano Bruno (vergl. Wissenschaftstheorie II) und

2.5.6 Nikolaus von Kues (1401 - 1464)

Nikolaus von Kues wird 1401 als Nikolaus Chrifftz (= Krebs) als Sohn eines wohlhabenden Flussschiffers und Weinhändlers in Kues an der Mosel geboren. Statt mit geistigen Getränken den Wohlstand der Familie zu mehren, zeigt er intellektuelles Interesse für die Naturwissenschaften und die Philosophie und beginnt im Alter von 15 Jahren in Heidelberg zu studieren. Ein Jahr später, 1417, geht er nach Padua, um an der damals berühmtesten Universität Europas von 1417 bis 1423 Mathematik, Physik, Astronomie, Medizin, antike Philosophie und Jura zu studieren. Mit 22 Jahren wird er Doktor der Jurisprudenz (*doctor decretorum*). Danach studiert er Theologie in Köln.

Nikolaus von Kues zeichnet sich durch große Diversität seiner Aktivitäten aus. Er beginnt eine kirchliche Laufbahn: im Alter von 26 Jahren wird er Dekan am Florinstift in Koblenz, mit 29 wird er Sekretär des Erzbischofs von Trier und dessen Bevollmächtigter auf dem Konzil von Basel (1432-1437) und wird von Kardinal Caesarini, zum Vorsitzenden der "Deutschen Nation auf dem Basler Konzil" ernannt. Mit seinem Lehrer Caesarini reist er 1437 nach Konstantinopel, 1438-48 ist er päpstlicher Gesandter bei den deutschen Reichs- und Fürstentagen, und 1448 spielt er eine zentrale Rolle beim Abschluss des Wiener Konkordats. 1450 erhält er das Fürstbistum Brixen und Papst Nikolaus V. erhebt ihn zum Kardinal - er ist der einzige deutsche Kardinal seiner Zeit. 1450-52 unternimmt er eine Legationsreise durch Deutschland, um Kirche und Klöster zu reformieren. Dabei ist eines seiner Anliegen die Förderung des Glaubenswissens im Volk und wird damit zum gedanklichen Vorläufer der Reformation.

All dies sind zeitraubende Aktivitäten. Aber Nikolaus schafft es, gleichzeitig zu einem der bedeutendsten Mathematiker und Philosophen des 15-ten Jahrhunderts zu werden. Auf seine theologischen Lehren, etwa die *coincidentia oppositorum*[38] und *De docta ignorantia*[39] soll und kann hier nicht eingegangen werden. Sein philosophischer Einfluß ist wichtiger. Nikolaus von Kues wurde insbesondere von Raimundus Lullus beeinflußt. Er nahm an, dass die Erde von Anbeginn der Zeiten eine durch einen Impetus getriebene tägliche Umdrehung um die eigene Achse vollführt. Das Universum sei durchweg von denselben vier Elementen aufgebaut, und daher ist der Himmel nicht vollkommener als die Erde. Die Himmelskörper ähneln sich auch darin, dass sie von Lebewesen bewohnt sind, die den irdischen Kreaturen ähneln, denn

> ··· ob ein Mensch auf der Erde, der Sonne oder irgendeinem anderen Stern steht, es wird ihm stets erscheinen, dass der von ihm eingenommene Ort der bewegungslose Mittelpunkt ist und dass alle anderen Dinge sich in Bewegung befinden.

[38] Theologisch die Suche nach Gott und philosophisch die Jagd nach Weisheit

[39] Die Koinzidenz des zu Gott aufstrebenden inneren Menschen und der Abstieg Gottes zum Menschen vollzieht sich nach *De docta ignorantia* in der Person Jesu Christi.

Abbildung 17: Nikolaus von Kues (1401 - 1464)

Nikolaus initiierte eine Rückbesinnung auf Platon und betrachtete die Mathematik als wesentlich für die Erkenntnis der Natur.

Als Vertreter der Impetustheorie gehört Nikolaus von Kues aber zu den Ausnahmen unter den Philosophen seiner Zeit, denn insgesamt dominierte die Theorie des Aristoteles mit den Erweiterungen des Dionysios. Im 15-ten Jahrhundert gelangte die Impetustheorie nach Italien und wurde viel in Padua diskutiert. Padua wurde von Venedig aus regiert, und da man dort antiklerikal und antipäpstlich eingestellt war, hatte man dort mehr gedanklichen Freiraum. Andererseits war Padua in erster Linie eine medizinische Hochschule, an der in erster Linie methodische Fragen unter besonderer Berücksichtigung der Zweckursachen diskutiert wurden. Bis zur Zeit Galileis blieb deshalb die Rolle des Experiments dunkel.

3 Zusammenfassende Bemerkungen

1. Wissenschaft im heutigen Sinne kann bis ca 1500 noch nicht konstatiert werden. Die meisten Theorien zur Welterklärung sind spekulativ und von theologischen Betrachtungen durchsetzt bzw. geleitet. Die Annäherung an die Erklärung der Welt ist eher rational, weniger empirisch. Eine Ausnahme ist die Alchemie und das Brennen von Likören, wobei es zu (Zufalls-)Entdeckungen kommt (Alkohol). Dies führt aber nicht zu einer empirischen Systematik im neuzeitlichen Sinne.

   Die Grundüberzeugung, dass alles von Gott gefügt worden ist, wird nicht prinzipiell in Frage gestellt.

   Gleichwohl, man spürt, dass auch die Existenz Gottes eigentlich nachgewiesen werden müsse, - also kommt es zur Formulierung von Gottesbeweisen (Anselm von Canterbury). Andererseits ist das Denken stark auf das Jenseits und weniger auf die Erforschung des Diesseits gerichtet, man erinnere sich an Bonaventuras Diktum, demzufolge der Baum der Wissenschaft viele um den Baum des Lebens betrügt oder sie den heftigsten Qualen im Fegefeuer aussetzt.

2. Die Argumentationen sind in erster Linie *qualitativ*. Alles Geschehen muß ei-

ne Ursache haben, - also muß ein sich bewegender Körper geschoben werden. Gegenargumente sind ebenfalls qualitativ: aus der Kreiselbewegung wird gefolgert, dass nicht die sich zusammenschließende Luft den Körper vorwärts treibt.

3. Die Rolle der Mathematik wechselt: Platon versus nicht-Platon. Die Mathematik hat aber nicht die funktionale Rolle, die sie bei Kepler, Galilei, Newton und in der heutigen Forschung einnimmt.

Literatur

[1] Angel, L. (2001) A physical model of Zeno's Dichotomy. *British Journal of the Philosophy of Science*, 52, 347–358

[2] Barbour, J.: The nature of time. Essay competition fqxi.org/essay December 2008

[3] Barbour, J.: The end of time – the next revolution in physics. Oxford University Press, Oxford 1999

[4] Becker, O.: Grundlagen der Mathematik in geschichtlicher Entwicklung, München 1954

[5] Bergson, H. (1911) The Cinematographic View of Becoming. In: Salmon, W.: Zenon's Paradoxes.

[6] Courant, R.: Vorlesungen über Differential- und Integralrechnung. Erster Band: Funktionen einer Veränderlichen. Berlin 1961

[7] Courant, R., Robbins, H., Stewart, I.: What is Mathematics? New York 1996

[8] Grünbaum, A. (1950) Relativity and the Atomicity of Becoming. *Review of Metaphysics*, 4 (2), 143–186

[9] Grünbaum, A. (1955) Modern Science and Refutation of the Paradoxes Zeno. *The Scienticic Monthly*, 234 – 239. Abdruck in Salmon (2001)

[10] Grünbaum, A. (1967) Zeno's metrical paradox of extension. In: Modern Science and Zeno's Paradoxes, Middleton, Conn., Wesleyan University Press 1967. Reprint in Salmon (1970/2001)

[11] Hauser, K. (2002) Is Cantor's continuum problem inherently vague? *Philosophia Mathematica*, 10(3), 257 - 285

[12] Heuser, H.: Als die Götter lachen lernten. München, 1992.

[13] Huggett, N. (ed.), 1999, Space from Zeno to Einstein: Classic Readings with a Contemporary Commentary, Cambridge, MA: MIT Press.

[14] Huggett, N. (2010) Zeno's Paradoxes. https://plato.stanford.edu/entries/paradox-zeno/

[15] Klemke, E.D., Hollinger, R., Kline, A. D. (eds): *Introductory Readings in the Philosophy of Science*, Buffalo 1980

[16] Landsberg, P. T. (1947) III.– Discussion: The uncertainty principle as problem in philosophy. *Mind*, LVI: 250 - 256.

[17] Mason, S.F.: Geschichte der Naturwissenschaft. Stuttgart, 1991

[18] Mathews, A. (1996) Think trivial. New Scientist 21/28

[19] Newton, I.: The Principia – Mathematical Principles of Natural Philosophy. A new translation by I. Bernhard Cohen and Anne Whitman. Berkely 1999

[20] Röd, W.: Der Weg der Philosophie, Band I, München 1994

[21] Russell, B.: The problem of infinity considered historically. In: Russell, B.: Our knowledge of the external world. Routledge London New York (1914/2005)

[22] Russell, B.: Our knowledge of the external world. London 1914/2005

[23] Russell, B.: The prínciples of mathematics. Norton & Company, New York 1943

[24] Russel, B: History of Western Philosophy. London 1961

[25] Raith, W.: Das verlassene Imperium. Über das Aussteigen des römischen Volkes aus der Geschichte. Berlin, 1982

[26] Salmon, W.C.: Zeno's Paradoxes. Indianapolis 2001

[27] Susskind, L., Hrabovsky, G.: Classical Mechanics – The theoretical minimum. Penguin Books, London 2014

[28] Ushenko, A. (1946) Zeno's Paradoxes. *Mind*, LV, 151 – 165

[29] Weyl, H.: Philosophie der Mathematik und Naturwissenschaften. München 1976

Index

abzählbar, 30
Achilles-Paradoxie, 22
Aktualität, 47
Al-Khwariszmi, 58
Algebra, 58
Alkohol, 60
Almagest, 53
Amillarsphäre, 53
Anaxagoras, 15
Anaximander, 15, 16
Anaximenes, 20
Anselm von Canterbury , 39
apeiron, 17
apistein, 13
arché, 14
Astrolabium, 52
Atomistik, 32
Ausschweifungen, 60
Avërroismus, 59
Averroës, 48, 59
Avicenna, 58
Axiom, 47

berabzählbar, 30
Bier, 60
Bonaventura, 60

Chaldäer, 14
Chnum, 15

Demokritos, 32
Dialektik, 21
Dichotomie, 22
doppelte Wahrheit, 59

Ekliptik, 52
Erdumfang, 51
Erster Beweger, 47
Essenz, 46, 54
Etesien, 15

falsifizieren, 19
Fegefeuer, 60, 65

Geist, 49
Gottesbeweis, 62
Gottesbeweis, ontologischer, 39

Harun al Raschid, 58
Herostratentum, 12
horror vacui, 34
Hypatia von Alexandria, 52

Iatrochemie, 62
Ilias, 11
Impetus, 57
Impetustheorie, 57
indische Zahlen, 58
intersubjektiv, 8
isonomia, 14

König von Bayern, 63
knowledge claims, 8
Korrespondenztheorie, 43
Kraft (bei Aristoteles), 39

Lebenselixier, 60
Leukippos, 32
Lichtstrahlen, 58
Liköre, 61

Mächtigkeit einer Menge, 30
Mißtrauen (Epicharmos), 13

nomos, 14

Omajjiden, 58

Parmenides, 21
Potentialität, 47
Primitive Terme, 31
primum mobile, 57
Psyche, 20
Psychologie, 48

Quintessenz, 41, 61

semantisches Problem, 31
Substanzbegriff, 45
Syllogistik, 43
Symmetrieprinzip, 19

Thales, 13
Thrasybulos, 14

Universalien, 45, 47
Urzirkulation, 61

Wasser des Lebens, 60
Wassertheorie, 17
Wein, 60
Wesen, geistige, 57
Wissenschaftsbegriff; aristotelisch-galileisch, 40

Zeit, 32
Zenon, 21