

Die Entstehung der Wissenschaften bei den Griechen

Hans Widmer

(Vortrag, deshalb keine Fussnoten!)

Übersicht:

Ich werde zuerst einiges über den Begriff „**Wissenschaft**“ sagen, dann, im längsten Kapitel „**Vom Mythos zum Logos**“, die vorsokratischen Philosophen und Platon und Aristoteles behandeln.

Darauf gehe ich auf den **Hellenismus und die Entstehung der Fachwissenschaften** ein. Zum Schluss spreche ich über die **jahrhundertlange Wiederentdeckung der antiken Wissenschaften seit der Renaissance**.

Was ist Wissenschaft?

Wissenschaft ist ein moderner Begriff, dessen Bedeutung in den verschiedenen europäischen Sprachen differiert. So kennt man im Englischen *sciences* vor allem für die exakten und Naturwissenschaften, *arts* für die Geisteswissenschaften.

Der griechische Begriff *episteme*, lateinisch *scientia*, ist sehr allgemein und breit verwendet. Dem modernen Begriff der „exakten Wissenschaften“ entspricht wohl am ehesten der seit Platon belegte Ausdruck *ta mathemata*. Die wissenschaftliche Praxis wurde u.a. als *techne*, lat. *ars*, bezeichnet.

Wir unterscheiden heute exakte und empirische Wissenschaften.

Exakte Wissenschaften wie die Mathematik oder Physik haben folgende grundlegenden Eigenschaften - gemäss *Lucio Russo, Die vergessene Revolution oder die Wiedergeburt des antiken Wissens, S. 20f*. Der Autor misst daran die hellenistischen Naturwissenschaften und Mathematik:

1. Ihre Aussagen beziehen sich nicht auf konkrete Objekte, sondern auf bestimmte theoret. Begriffe. So machen z.B. die Euklidische Geometrie Aussagen über Winkel und Segmente, die Thermodynamik über die Temperatur eines Systems, obwohl es in der Natur weder Winkel noch Segmente oder Temperaturen gibt.
2. Die Theorie hat eine streng deduktive Struktur: Sie besteht aus einigen grundlegenden Aussagen (Axiome, Postulate). Die Theorie bietet allgemeine Methoden zur Lösung einer unbegrenzten Zahl von Problemen. Grundlegende Methoden sind Beweise und Berechnungen. Auf diese Weise wird die Gültigkeit wissenschaftlicher Aussagen garantiert.
3. Anwendungen auf die wirkliche Welt basieren auf Korrespondenzregeln zwischen theoretischen Gebilden und konkreten Objekten. Die Übertragbarkeit der Theorien auf die Wirklichkeit oder ihre Anwendbarkeit sind oft nicht a priori ersichtlich, sondern durch die experimentelle Methode zu überprüfen.

Die streng deduktive, axiomatische Beweisführung machte diese Wissenschaften zu den exakten. Ein Beispiel für Deduktion (Herabführung eines Beweises von einem allgemeingültigen Satz auf einen Spezialfall): Die Differenz der Quadrate zweier in der Zahlenreihe benachbarter Zahlen ist immer ungerade – also z.B. 5^2 minus $4^2 = 25$ minus $16 = 9$ (ungerade). Dies könnte man x-mal durchrechnen, wäre aber doch nicht sicher, ob der Satz in jedem Fall zutrifft (= induktiv). Wenn man ihn aber algebraisch beweist, ist kein Zweifel mehr möglich:

$$\text{Deduktiver Beweis: } (n+1)^2 - n^2 = n^2 + 2n + 1 - n^2 = 2n + 1$$

Empirischen Wissenschaften fehlt vor allem die streng deduktive Struktur. (Empirie = Erfahrung). Da empirische Theorien nicht durch Deduktionen erweitert werden können,

eignen sie sich lediglich als Modelle für eine bestimmte Menge von Phänomenen. Ihre Ergebnisse können nicht auf andere Bereiche übertragen werden. Ihre Methoden sind vielfältig. Dazu zitiere ich das Antikenlexikon „Der Neue Pauly“ über die Methoden der mesopotamischen Wissenschaft im 3. Jahrtausend v.Chr.: „Erkenntnistechiken wie Reihenbildung, Vergleich, Ordnung, Hierarchisierung, Kategorisierung und Kombination bilden die Grundlage für Abstraktion, Generalisierung und Modellbildung. Auch komplexe Formen wissenschaftlichen Denkens wie die Annahme von Gesetzmässigkeiten, Hypothesenbildung und gedankliche Fiktion sind in der mesopotamischen Überlieferung nachweisbar“. Diese Methoden dürften in den empirischen Wissenschaften auch heute noch dominieren.

Die exakten Wissenschaften wurden im Hellenismus, ab 300 v.Chr., vorwiegend in Alexandria begründet, wobei es schon gewisse Vorläufer im 5. Jh. gab. Das bekannteste Beispiel ist wohl Euklid mit seiner Geometrie. Die Vorsokratiker (Thales usw.), Platon und Aristoteles waren nicht minder wichtig und sind als Philosophen noch heute unübertroffen. Naturwissenschaften betrieben sie aber in spekulativ-empirischer Weise; man könnte dies Naturphilosophie nennen. Sie waren die unabdingbaren Vorläufer der hellenistischen und unserer Wissenschaften.

Die Grundlagen unseres modernen Weltbildes, der Kultur sowie der Technik, liegen in der Antike, genauer im griech. Altertum.

Vom Mythos zum Logos

In der Frühzeit versuchten die Griechen, die Welt mittels ihrer Mythen zu verstehen. Auch hier leisteten die Griechen Erstaunliches, denn der griechische Mythos ist, jedenfalls in der abendländischen Kultur, zum Mythos schlechthin geworden.

Zu Beginn des 6. Jh.v.Chr. traten an der kleinasiatische Küste Naturphilosophen auf. Sie versuchten, die Natur, den Himmel, den Kosmos durch Betrachtung und Analogien zu erklären und auf empirisch-rationalem Weg ein der Welt zugrunde liegendes Urprinzip zu ermitteln. Dieses Prinzip wurde von den meisten als Stoff gedacht. Zentrum dieser „Schule“ war Milet. Dort wirkten im 6. Jh.:

Thales, Anaximander, Anaximenes, und in Ephesos, Heraklit. Man nennt sie

Vorsokratiker.

All diesen Denkern ist gemeinsam ein kompromissloses Streben, den Dingen auf den Grund zu gehen, die Ursprünge (archai/principia) aufzuspüren. Sie glaubten, allein mit denkerischer Kraft Antworten auf die grundlegenden Fragen zu erhalten. Ihr Wille zur Systematisierung und Abstrahierung führte oft zu heute seltsam anmutenden Spekulationen und zu kühnen Verallgemeinerungen. Insofern waren sie mehr Naturphilosophen als Naturwissenschaftler im heutigen Sinn.

Als Begründer der ionischen Naturphilosophie gilt **Thales von Milet**. Man nimmt an, nicht zuletzt aufgrund seines Namens, dass er ein Semite war und wohl von Phönizien stammte (> Schrift, Handel!).

Sein Grundstoff war das Wasser. Das Wasser war für ihn sowohl Grundmaterie wie lebensschaffender göttlicher Baustoff, eine Art Urmutter, aus der alles entsteht, und damit nicht mehr ein Gott! Er sagt zwar, alles sei voll von Göttern, meinte damit aber wohl die in der Natur wirkenden, noch nicht geklärten Kräfte.

Die Idee, dass das Wasser/das Feuchte die Grundmaterie sei, entstammt wohl der Einsicht, dass das Wasser die Grundlage des Lebens darstellt und uns in allen 3 Aggregatzuständen begegnet: flüssig als Wasser, fest als Eis und gasförmig als Dampf.

Thales hat für das Jahr 585 v.Chr. eine Sonnenfinsternis richtig vorausgesagt – sicher aufgrund der Kenntnisse der babylonischen Astronomie.

Er hat behauptet, die Erde schwimme auf dem Meer, und Erdbeben seien Auswirkungen der Bewegung dieses Meeres - und nicht Poseidons!

Die Aussage über das Wasser des Thales drückt, wie Nietzsche es ausgeführt hat, drei Grundgedanken der Philosophie aus: Sie enthält zunächst die Frage nach der materiellen Ursache aller Dinge. Zweitens die Forderung, dass diese Frage rational beantwortet werden soll, ohne Hinweis auf mythische Vorstellungen. Drittens die Annahme, dass es schliesslich möglich sein müsse, die Welt von einem einheitlichen Grundprinzip aus zu verstehen.

Angefügt sei hier, dass die Quellenlage der Vorsokratiker prekär ist. Von ihnen sind nur einzelne Aussagen als Zitate späterer Philosophen, vor allem von Aristoteles, aber auch von Platon erhalten. Dabei ist noch zu bedenken, dass beide die Zitate oft in einer kritischen, ablehnenden Haltung bringen.

Anaximander von Milet, auch in der ersten Hälfte des 6. Jh. lebend, zeigt einen erstaunlichen Fortschritt: Sein Urprinzip war nicht mehr konkret materieller, sondern mehr abstrakter Natur. Er nannte seinen Weltstoff „Apeiron“, das Unbegrenzte, grenzen- und formlos. Alles beginnt und endet im Apeiron. Aus ihm scheiden sich die konkreten Stoffe aus und gehen einmal wieder in dieses über. Das Apeiron ist für unsere Sinne unfassbar. Dazu ein Kommentar des grossen Physikers Werner Heisenberg:

„Für den Vergleich der antiken Philosophie mit unseren heutigen Problemen mag die Bemerkung von Interesse sein, dass das Problem, ob der Grundstoff eine der bekannten Substanzen oder etwas Verschiedenes, diesen Übergeordnetes, sein sollte, in neuer Form auch im modernsten Teil der Atomphysik wiederkehrt. Die Physiker versuchen heutzutage, ein Grundgesetz für die Bewegung der Materie zu finden, aus dem alle Elementarteilchen und ihre Eigenschaften mathematisch hergeleitet werden können. Diese grundlegende Bewegungsgleichung könnte sich entweder auf Wellen einer bekannten Art beziehen, also zum Beispiel auf Protonen oder Mesonenwellen, oder aber auf Wellen eines grundsätzlich anderen Charakters, die überhaupt nichts mit den Wellen irgendeines der bekannten Elementarteilchen zu tun haben. Im ersten Falle würde das bedeuten, daß alle anderen Elementarteilchen auf einige wenige Sorten von »fundamentalen« Elementarteilchen zurückgeführt werden können. Tatsächlich hat die theoretische Physik in den letzten zwei Jahrzehnten hauptsächlich diese Möglichkeit verfolgt. Im zweiten Fall aber können alle verschiedenen Elementarteilchen zurückgeführt werden auf einen universellen Grundstoff, den man Energie oder Materie nennen mag; keines der verschiedenen Elementarteilchen könnte von den anderen grundsätzlich als ein besonders »fundamentales« Elementarteilchen unterschieden werden. Diese letztere Ansicht entspricht genau der Doktrin des Anaximander, und ich bin selbst überzeugt, daß in der modernen Physik diese Ansicht die richtige ist.“

Weitere erstaunliche Behauptungen von Anaximander:

- Es gibt verschiedene Entwicklungsperioden des Menschen, ausgehend vom Fisch!
- Es gibt endlos viele Welten
- Die Erde schwebt frei im riesigen Raum und hat die Form eines Zylinders mit Höhe 3 und Durchmesser 9.

Anaximenes von Milet lehrte, dass die Luft der Grundstoff sei, aus dem alles besteht. So wie unsere Seele Luft ist und uns zusammenhält, so umfassen Hauch und Luft das Weltall. Er vertrat ausdrücklich die Meinung, dass jeder Stoff durch geeignete Behandlung in den festen,

flüssigen oder gasförmigen Zustand übergeführt werden könne. Dazu der bekannte Wiener Physiker Erwin Schrödinger:

„Auch wir gehen wirklich vom Gas als dem einfachsten, noch nicht „aggregierten“ Zustand aus und führen den komplizierter gebauten flüssigen und festen auf ein Kräftespiel zurück, welches beim Gas nur eine untergeordnete Rolle spielt. Dass sich Anaximenes nicht in blossem Gedankenspiel erging, sondern eifrig bemüht war, seine Theorie auf konkrete Tatsachen anzuwenden, erhellt aus der erstaunlich richtigen Einsicht, die er in vielen Fällen erlangte. So sagt er uns über den Unterschied von Hagel und Schnee, Hagel gebe es, wenn aus den Wolken tropfenweise Wasser (das heisst Regen) gefriert, Schnee, wenn feuchte Wolken selbst in festen Zustand übergehen. Ein modernes Lehrbuch sagt uns ziemlich dasselbe.“

Anaximenes lieferte auch die gültige Erklärung des Mondlichts und der Mondfinsternis.

Pythagoras lebte ca. von 570 – 480. Er wurde auf der Insel Samos geboren, gründete aber eine eigene Schule in Kroton, Unteritalien. Seine Lehre war aus dem orphischen Kult erwachsen, der auf die Verehrung von Dionysos zurückgeht. Er gründete eine philosophische Lebensgemeinschaft, einen Bund, ähnlich einem Orden, mit strengen Vorschriften.

Ihn erstaunte offenbar die Tatsache, dass zwei Saiten dann harmonisch zusammenklingen, wenn ihre Längen in einem rationalen, ganzzahligen Verhältnis stehen ($1:2 =$ Oktave, $2:3 =$ Quinte, $3:4 =$ Quarte).

Er erkannte die Zahl als kosmisches Urprinzip und erklärte die Seinszustände mit Hilfe von numerischen Gesetzmässigkeiten, also formal-quantitativ. Pythagoras versuchte, mit Zahlen und Verhältnissen die Welt zu entschlüsseln – nicht mit einem Grundstoff. Die Pythagoreer scheinen zum ersten Male die schöpferische Kraft der mathematischen Formulierung erkannt zu haben. Der englische Philosoph Bertrand Russell hat über Pythagoras gesagt: „Ich kenne keinen anderen Menschen, der einen solchen Einfluss auf das menschliche Denken ausgeübt hat“.

Pythagoras nahm eine ewige Kreisbewegung des Alls in Perioden an. Nach Ablauf wiederhole sich alles. Der Gedanke wurde später von den Stoikern weitergeführt. Diese postulierten „nach 20 000 Jahren“ eine Weltenbrand und Neuanfang – wie unser modernes Urknallmodell! Die Pythagoreer waren es wohl, die zuerst die Kugelform der Erde erkannten, und zwei Pythagoras-Nachfolger im 5./4. Jh. v.Chr. lehrten sogar die Drehung der Erde um ihre eigene Achse.

Neu ist auch, dass Pythagoras den Sitz der Personalität des Menschen in die Seele verlegt., mit der Konsequenz, dass der Leib nun geradezu als das Grab der Seele gesehen werden kann – das Soma wird zum Sema, was sowohl „Grabmal“ bedeutet wie überhaupt „Zeichen“ (für etwas Dahinterstehendes, Ursprüngliches, Unvergängliches). „Psyché“ ist bei Homer noch vorwiegend „Leben“, psychein heisst „blasen, atmen“. Die Seelenteile sind bei Homer verstreut, z.B. im Zwerchfell (rationaler Teil), im Herzen und im Thymós (nicht lokalisierbar, emotionaler Teil, „Thymós“ entspricht im Lateinischen das Wort fumus, Rauch – da brodel es!).

Von der pyth. Schule stammt der Begriff „Mathematiker“. Man scheint dort drei Stufen der Einweihung gekannt zu haben. Da gab es akoustikoí, mathematikoí und physikoí. Die ersten waren die, welche schweigend zuzuhören hatten (akouo=hören), die zweite Gruppe konnte Fragen stellen (manthano=lernen), und die „Physiker“ hatten die eigentliche Erkenntnis. Die Mathematiker setzten die Lehre des Meisters fort, lehrten und forschten. „Mathematiker“ bedeutet eigentlich nur „Lernende“. Dann wird aber das allgemeine Wort „mathema“, Lehre, bald zur Bezeichnung der Hauptrichtung des pythagoreischen Forschens, eben der Mathematik.

Heraklit aus Ephesos wirkte um 500 v.Chr. Er ist der letzte ionische Philosoph, und wohl der grösste. Er wurde „der Dunkle“ genannt, da viele seiner Aussprüche schwierig bis unverständlich sind. Er wollte keinen als seinen Lehrer anerkennen. Mit hohem Stolz

verkündete er: "Ich erforsche mich selbst". Ein neues Gebiet tut sich dem Staunenden auf: die eigene Seele. Sie ist abgrundtief, sodass kein Taucher den Grund findet, und so weiträumig, dass niemand die Grenzen kennt: "Der Seele Grenzen kannst du schreitend nicht ausfindig machen, auch wenn du jeden Weg dahinziehst; so tiefen Sinn hat sie". Walther Kranz meint in seinem Buch „Die griechische Philosophie“ übertreibend, dies sei der Anfang der Psychologie und zugleich – in gewissem Sinne – ihr Beschluss! Denn Umfassenderes sei über die Menschenseele nicht ausgesagt worden. Weiter (Zitat Heraklit): „Seine Eigenart ist dem Menschen sein Daimon (das Geschick)“; also nicht die Macht der Götter entscheidet über ihn, sondern die angeborene, gerade für ihn bezeichnende Wesensart: „in deiner Brust sind deines Schicksals Sterne“.

In der Philosophie des Heraklit steht der Begriff des Werdens an erster Stelle. Er betrachtete das Feuer, das Bewegende als den Grundstoff. Der immerwährende Streit zwischen den Gegensätzen wird als eine Art von Harmonie betrachtet. Als Bild dafür bietet sich

C.F. Meyers Gedicht „Der römische Brunnen“ an:

Aufsteigt der Strahl und fallend giesst
 Er voll der Marmorschale Rund,
 Die, sie verschleiernd, überfließt
 In einer zweiten Schale Grund:
 Die zweite gibt, sie wird zu reich,
 Der dritten wallend ihre Flut,
 Und jede nimmt und gibt zugleich
 Und strömt und ruht.

Sein Weltgesetz heisst Logos. „Aus allem eins und aus einem alles“. Alles auf dieser Welt ist in dauernder Entfaltung und Vereinigung. Daher die bekannten Sprüche von Heraklit: „Panta rheí, alles fließt“, und: „In denselben Fluss steigen wir zweimal und steigen nicht zweimal“ (da das Wasser inzwischen schon vorbeigeflossen ist) und: „Polemos patér panton, Der Krieg ist der Vater aller Dinge“ oder wohl eher: Gegensätze sind Vater aller Dinge. Wichtig auch seine Überzeugung, dass die Sinne trügen – „befrag deinen Verstand!“

Heraklit übte einen gewaltigen Einfluss auf viele Epochen und Geistesgrößen aus, so z.B. auf Platon, die Stoá, Hegel, Goethe, Nietzsche.

Werner Heisenberg in „Physik und Philosophie“, S. 44f.:

„Wir können an dieser Stelle einfügen, daß die moderne Physik in einer gewissen Weise der Lehre des Heraklit außerordentlich nahekommt. Wenn man das Wort »Feuer« durch das Wort »Energie« ersetzt, so kann man Heraklits Aussagen fast Wort für Wort als Ausdruck unserer modernen Auffassung ansehen. Die Energie ist tatsächlich der Stoff, aus dem alle Elementarteilchen, alle Atome und daher überhaupt alle Dinge gemacht sind, und gleichzeitig ist die Energie auch das Bewegende. Die Energie ist eine Substanz, denn ihr gesamter Betrag ändert sich nicht, und die Elementarteilchen können tatsächlich aus dieser Substanz gemacht werden, wie man es in vielen Experimenten über die Entstehung von Elementarteilchen sehen kann. Die Energie kann sich in Bewegung, in Wärme, in Licht und in Spannung verwandeln. Die Energie kann als die Ursache für alle Veränderungen in der Welt angesehen werden.“

Im Anschluss an Pythagoras und Heraklit, die beide ein nichtmaterielles Grundprinzip postulieren (Zahlen resp. Feuer) ist es verlockend, einen Blick auf die moderne Physik zu werfen. Der Physiker und Philosoph Werner Strombach z.B. hat in seinem erstaunlichen Buch „Natur und Ordnung“ ein bezeichnendes Kapitel „Ist die Materie immateriell?“ Darauf folgt das Kapitel „Die Möglichkeiten, Materie zu werden“.

Daraus das folgende Zitat: „Worin liegt dann aber das Mehr des Heisenbergschen Ordnungsprinzips gegenüber den Naturgesetzen schlechthin? In folgendem dürfte es wohl zu

suchen sein: Die bisher bekannten Naturgesetze beschreiben lediglich das Verhalten an sich daseiender, real existierender Objekte der naturwissenschaftlichen Forschung. Hier aber werden die *Möglichkeiten*, überhaupt exakt-naturwissenschaftliches Forschungsobjekt zu werden, in einem Ordnungsschema erfaßt. Heisenberg trägt also das mathematische Gesetz bis an einen Bereich heran, in dem sich gewissermaßen erst das Wirklichwerden - im Sinne physikalischer Wirklichkeit - vollzieht. Denn auch die Energie, die der Physiker im Versuch mißt, die als Gammaquant oder Photon emittiert oder absorbiert wird, ist bereits „geformte“ Energie und insofern der Materie durchaus gleichartig, was ja auch die Einsteinsche Masse-Energie-Äquivalenz klar zum Ausdruck bringt. Das zuletzt Erkennbare für die Naturwissenschaft sind dann die Grundstrukturen und ihre Beziehungen zueinander. Deshalb kann Heisenberg sagen: **„Für die moderne Naturwissenschaft steht also am Anfang nicht das materielle Ding, sondern die Form, die mathematische Symmetrie. Und da die mathematische Struktur letzten Endes ein geistiger Inhalt ist, könnte man auch mit den Worten von Goethes Faust sagen: „Am Anfang war der Sinn“.**

Damit tritt nun die mathematische Symmetrie als ein vorphysikalisches (vormaterielles) Prinzip des Naturseienden auf. Und - wie schon oben bemerkt - ist es weder zulässig noch notwendig, diese Gegebenheiten objektivieren, d. h. sie aus dem physikalischen Vorstellungsbereich und damit in den Kategorien der klassischen Physik interpretieren zu wollen. **Die mathematische Struktur und nicht das anschauliche Objekt ist die letzte Stufe des naturwissenschaftlichen Erkennens, ein seitens der Physik nicht weiter erklärbarer Tatbestand, der, als mathematisch Seiendes, einer immateriellen Wirklichkeit zugehört“.**

Im Folgenden seien ein paar weitere Vorsokratiker mit ihren Lehren summarisch aufgezählt:

Parmenides lebte um 500 v.Chr. in der unteritalischen Kolonie Elea. Er vertritt quasi das Gegenteil von Heraklit. Während bei Heraklit Werden und Vergehen die Grundkonstanten sind, bezeichnet Parmenides jede Veränderung als Sinnestäuschung. Für ihn ist die Welt der irdischen Erscheinungen nicht real, eine Scheinwelt. Die Wirklichkeit ist den Sinnen nicht zugänglich, nur dem Denken. Sinnliche Wahrnehmung und logisches Denken werden voneinander abgetrennt, jene verworfen, diese als einziges Kriterium der Wahrheit anerkannt. Werden hat keinen realen Sinn – von etwas zu sagen, dass es wird, was es nicht ist, ist ein Unsinn! Die Welt, alles was existiert, muss also eine unveränderliche, unbewegliche, aus *einer* Substanz bestehende Masse in ewiger Ruhe sein.

Im Bild des meyerschen Brunnens: Für Parmenides ist die letzte Aussage massgebend: „und ruht“, für Heraklit die zweitletzte: „und strömt“ – wahrscheinlich sind die beiden gar nicht weit auseinander!

Weitere Stationen auf dem Weg zum griechischen Atomismus sind Empedokles und Anaxagoras.

Empedokles aus dem sizilischen Agrigent sieht keinen einheitlichen Grundstoff mehr, sondern alle vier bisher für sich gültigen Elemente treten nun gemeinsam als Grundprinzipien in Erscheinung: Feuer, Luft, Wasser und Erde. Diese haben aber nicht rein materielle Natur, sondern, wie bei den meisten Vorsokratikern, steckt auch noch etwas Göttliches dahinter. Feuer ist gleichzeitig Zeus, leuchtend und warm, Erde ist Hera, lebensspendend und trocken, Luft ist Hades und kalt, Wasser ist Nestis (eine Wassernymphe) und feucht. Diese Elemente sind sowohl Stoff wie Kraft.

Werden und Vergehen sind Mischung und Austausch von Teilchen dieser Grundstoffe, die immer dieselben bleiben. Die entscheidende Neuerung ist die Mischung.

Anaxagoras, in Milet aufgewachsen, postuliert unendlich viele Samen, Keime, wobei die einzelnen Stoffe überwiegend aus den für sie typischen Teilen bestehen, wie z.B. die Haare überwiegend aus Haarteilen.

Er soll der erste prinzipielle Dualist gewesen sein. Neben den materiellen Teilchen existierte für ihn ein Nus, ein lenkender Weltgeist.

Aus einem Meteorfall folgerte er, dass die Gestirne Steinklumpen seien, die die schnelle Bewegung zum Glühen gebracht habe.

Die **Atomisten Leukipp und Demokrit** lebten im 5. Jh. v.Chr. Sie erklärten das Weltgeschehen nicht mehr dualistisch, sondern rein materialistisch. Sie haben ein Lehrgebäude errichtet, das an Geschlossenheit einzigartig ist.

Epikur (um 300 v.Chr.) hat die Lehre übernommen und weiterentwickelt, und der Römer **Lukrez** (1. Jh. v.Chr.) hat sie in einem umfangreichen Lehrgedicht in Hexametern in lateinischer Sprache dargestellt. Dank ihm sind wir relativ gut unterrichtet.

Grundlage ist ein Gesetz, von dem wir die originale Fassung kennen: „Nichts entsteht planlos, sondern alles aus Grund und unter Notwendigkeit“. Dies ist die antike Formulierung des Kausalgesetzes.

Nach dieser Lehre existieren nur die Atome und der leere Raum.

Der leere Raum erstreckt sich **unbegrenzt** in alle Richtungen.

Nichts entsteht aus nichts.

Nichts wird zu nichts.

Die Summe der Materie ist konstant.

Entstehen und Vergehen sind Mischung und Entmischung der Atome.

Die Körper oder Moleküle (concordia) unterscheiden sich durch:

- Gestalt der Atome: A / B
- Anordnung in der Reihe: z.B. ACB / ABC
- Einzellage: A) B (wobei das mittlere Zeichen ein nach links gerichtetes C sein sollte! Man könnte auch ein normales C schreiben und dann den Bildschirm ganz kurz auf den Kopf stellen).

„Tragödie und Komödie bestehen aus denselben Buchstaben.“

Die Dichte der Atome bestimmt die Härte des Körpers.

Es existiert eine dauernde Bewegung der Atome: in festen Körpern harmonisch in einer Gitterstruktur, in Flüssigkeiten und Gasen chaotisch – von dieser chaotischen Molekularbewegung kommt das Wort „Gas“, frz. für „chaos“. Diese Vorstellungen über die Atombewegung haben sich bewahrt, ausser bei Temperaturen unter dem absoluten Gefrierpunkt; dort hört sie bekanntlich auf.

Auch die Brownsche Bewegung wurde cum grano salis vorweggenommen: Lukrez illustriert die Atombewegung mit dem Tanz von Stäubchen, die man in einem in ein verdunkeltes Zimmer einfallenden Sonnenstrahl wahrnimmt. Dieses Experiment wurde uns im Physikunterricht an der Kanti noch gezeigt.

Demokrit und seine Nachfolger versuchten schon gar nicht, die Ursache für die dauernde Bewegung der Atome zu erklären. Aristoteles kritisiert Demokrit deswegen. Samuel Sambursky schreibt in seinem Buch „Das physikalische Weltbild der Antike“ dazu: „Die Atomisten vermieden es, das Problem der Bewegung zum Ausgangspunkt ihrer Überlegungen zu machen. So verloren sie sich nicht im Dickicht des Theoretisierens wie Aristoteles. Es ist niemals ratsam, den gesamten Fragenkomplex eines wissenschaftl. Problems auf einmal in Angriff zu nehmen. Es zeugt im Gegenteil von wissenschaftlichem Spürsinn, die Fragestellung zu Beginn einer Theorie einzuschränken, indem man einen Teil der Erscheinungen als primäre Gegebenheiten hinnimmt, um dann andere aus ihnen abzuleiten“.

Diese Lehre ist der vollendete Materialismus. Man stellte sich die Seele ebenfalls aus körperlichen Atomen bestehend vor. Deren Form soll rund und glatt sein und unendlich fein, ähnlich den Feueratomen. Auch das Sehen wurde rein mechanistisch erklärt: Von allen Gegenständen lösen sich dauernd ganz feine Filme ab, die durch die Luft fliegen und auf unser Auge treffen. Dank dieser Vorstellung konnten die Atomisten auch die Existenz von

Fabelwesen wie Kentauren zwanglos erklären: Wenn sich die abgelösten Filme eines Menschen und eines Pferdes dummerweise in der Luft verheddern, trifft eben das Bild eines Kentauren auf unser Auge!

Die Vorstellung von sich ablösenden ganz dünnen Folien basiert auf der Beobachtung, dass sich bei z.B. Düften oder der Verdunstung auch dauernd unsichtbare Teile von Stoffen lösen und umherschwirren.

Es ist nicht so, dass sich die Atomisten rein durch geistige Schau in ihrer Studierstube diese Dinge ausgedacht haben. Wir kennen einige „Experimente“ oder jedenfalls empirische Ansätze in der antiken Atomphysik. Alfred Stückelberger aus Bern hat sie gesammelt und kommentiert. Ich erwähne nur drei Beispiele aus Lukrez:

1. Die Gewalt des Sturmwindes, der Bäume entwurzelt und das Meer aufpeitscht, zeigt, dass Luft Materie ist und daher, weil sie ja unsichtbar ist, aus kleinsten unsichtbaren Teilchen besteht.
2. Gerüche steigen in unsere Nase, Wärme und Kälte berühren uns, Laute dringen an unser Ohr: zweifellos materielle Vorgänge, die dennoch unsichtbar sind.
3. An der Küste aufgehängte Kleider werden feucht und trocknen im Sonnenschein wieder, ohne dass dieser Vorgang vom Auge festgestellt werden könnte: also löst sich Wasser in kleinste Teilchen auf.

Zum Schluss ein bekanntes und erstaunlich modernes Zitat, das Demokrit zugeschrieben wird: „Nur der Meinung nach gibt es Farbe, Süßes, Bitteres; in Wirklichkeit aber gibt es nur Atome und leeren Raum“.

Und wie Friedrich Dürrenmatt die Arbeitsweise des ersten Atomisten sah („Kunst und Naturwissenschaft“):



Eine schier unlösbare Aufgabe ist es nun, Platon und Aristoteles kurz zu resümieren, um möglichst schnell zu den ganz wichtigen hellenistischen Wissenschaften zu gelangen.

Platon lebte von 427 – 348 v.Chr. in Athen. In seinem *Timaios* versucht er, ein umfassendes Konzept des Universums zu entwerfen. Er setzt der materialistischen Atomlehre Demokrits eine eigene, aus mathematischen Elementen aufgebaute Atomlehre gegenüber. Die ganze Weltauffassung Platons ist erfüllt von dem Gedanken, dass der Kosmos eine

sinnhaft und zweckmässig geordnete, beseelte Einheit bildet, die von einer geistigen Instanz, dem Nus, gestaltet und durchwaltet ist (vgl. Anaxagoras). Der Kosmos kann nicht im Zufallsprinzip der Atomisten seinen Ursprung haben; er muss das Werk eines Schöpfers sein, des platonischen Demiurgos.

In seiner Ideenlehre setzt er gleichsam der realen Welt eine ideale gegenüber, die Welt der Ideen. Die realen Dinge sind Ausprägungen der Ideen – um es ganz kurz und recht unexakt zu sagen!

Aristoteles lebte im 4. Jh.v.Chr. in Athen. Er gründete eine eigene Schule im Hain des Apollon Lykeios, woraus sich der Begriff und die Institution des Lyzeums (lycée) entwickelte, analog zu Platons Schule im Hain des Heros Akademos, woraus die neuzeitliche Akademie entstand.

Das naturphilosophische Denken des Aristoteles ist einerseits demjenigen Platons verwandt, was die ganzheitliche Auffassung des Kosmos und den unerschütterlichen Glauben an die Sinnhaftigkeit betrifft; auf der anderen Seite aber unterscheidet sich Aristoteles grundsätzlich von Platon darin, dass er von den Dingen der Sinneswelt ausgeht und gelegentlich mit unglaublicher Sorgfalt den einzelnen Erscheinungen der Natur nachspürt, während für Platon letztlich einzig die Welt der Ideen existierte und die Dinge der Sinnenwelt lediglich Abbilder waren.

Beide Philosophen wurden für die Folgezeit bis heute sehr wichtig, sowohl der starke Dualismus von Platon wie die stärkere Hinwendung zu den Phänomenen des Aristoteles. Das naturphilosophische Denken von Aristoteles unterscheidet sich grundsätzlich von jedem modernen naturwissenschaftlichen Denken durch die absolute Vorrangstellung apriorischer Grundsätze, die bald scharfsinniger Logik, bald mehr kühner Spekulation entstammen. Am Beispiel der Bewegung: Aristoteles sagt, dass ein in Bewegung versetzter Gegenstand früher oder später zum Stillstand kommen müsse, da er die Vorstellung eines leeren Raumes ablehnt. In solchen Fällen wären für ihn etwas mehr Idealismus und Dualismus von Platon hilfreich gewesen.

Aristoteles hat als Universalgelehrter auf vielen Gebieten Grossartiges geleistet, man denke nur an die Logik, die er begründet und gültig ausformuliert hat.

Hellenismus – die Entstehung der Fachwissenschaften

Bis Aristoteles und bis zur Stoá, auf die wir schon gar nicht eingehen können, herrschte eine ganzheitliche, philosophische Naturbetrachtung vor. Ab ca. 300 v.Chr. verselbständigten sich aber die einzelnen Wissenszweige und wurden zu Fachwissenschaften. Schon Ende des 5. Jh. v.Chr. hat sich die programmatische Schrift „*de vetere medicina*“ in polemischem Ton von aller philosophischer Spekulation losgesagt und eine eigenständige, pragmatische Medizinwissenschaft propagiert. In der Folgezeit hat denn auch die medizinische Wissenschaft das umfangreichste fachwissensch. Schrifttum der Antike hervorgebracht - das *Corpus Hippocraticum* zum Beispiel umfasst über 70 Schriften. Vollständig neu gegenüber der alten Medizin war das Sezieren von Leichen. Von Celsus wissen wir, dass der König Herophilus auch zum Tode verurteilte Straftäter für experimentelle Vivisektion zur Verfügung stellte.

Entscheidend war das Vermögen, die Natur der Krankheiten als Zustand des Physischen zu erkennen und es naturgerecht und systematisch zu erforschen. Dadurch erhebt sich die antike Medizin über die Vorgängerinnen des alten Orients.

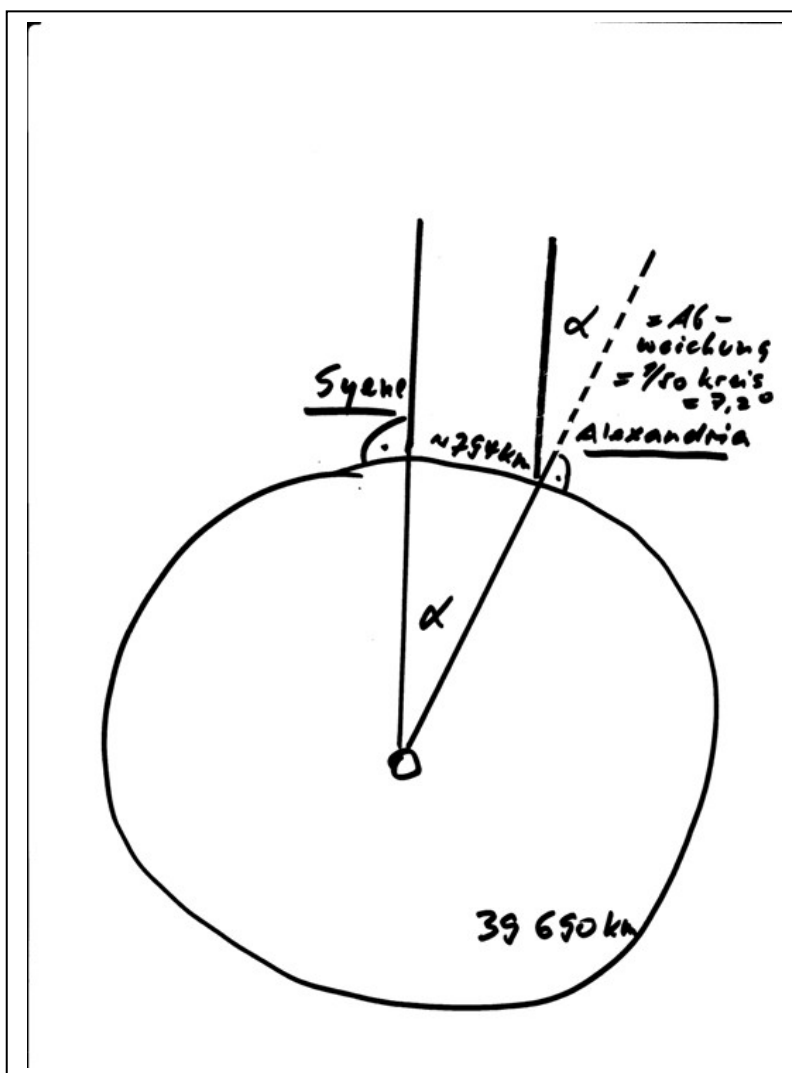
Im Hellenismus war nun Alexandrien mit seiner Universität und der berühmten Bibliothek (Mouseion) führend und bestimmend geworden. Die meisten wichtigen Wissenschaftler arbeiteten dort. Vor allem die Mathematik, die Naturwissenschaften und die Technik erreichten eine Höhe, wie sie in vielen Gebieten erst wieder im 17. – 19. Jahrhundert erreicht

wurde.

Ich kann nur ganz oberflächlich auf diese wichtige Zeit eingehen und verweise Interessenten auf das sehr interessante Buch von Lucio Russo, Die vergessene Revolution oder die Wiedergeburt des antiken Wissens. Springer-Verlag 2005.

Einer der wichtigsten Wissenschaftler der hellenistischen Zeit war sicher **Euklid**. Sein Handbuch *Elemente* war über 2000 Jahre lang Grundlage für den Geometrieunterricht. Erst im 19. Jh. wurde seine Lehre durch die nichteuklidische Geometrie ergänzt.

Eratosthenes berechnete mit einfachen Mitteln den Erdumfang. Diese Berechnung stellt eine Glanzleistung antiker Wissenschaft dar, die deshalb von besonderer Bedeutung ist, weil wir dank der Beschreibung von Kleomedes die Berechnungsmethode genau kennen. Eratosthenes mass zur Zeit der Sommersonnenwende die Winkeldifferenz der einfallenden Sonnenstrahlen in Alexandria und Syene, welches fast genau auf dem Sommerwendekreis liegt. Die Differenz entsprach einem Fünzigstel des Kreisbogens. Mit diesem Winkelwert, welcher genau dem Winkel des betreffenden Erdkreissegments entspricht, multiplizierte er die 5000 Stadien, die er zwischen Alexandria und Syene ermittelt hatte, und erhielt so einen Wert von 252 000 Stadien. Rechnet man mit dem wahrscheinlichsten Wert des ägyptischen Stadions zu 157,5 m, dann ergibt das einen Erdumfang von 39 690 km. Damit kam Eratosthenes dem heute gültigen Wert von 40 010,6 km schon sehr nahe. Der Wert von Eratosthenes wurde bis Ende des 17. Jh. nicht verbessert (s. Zeichnung unten).

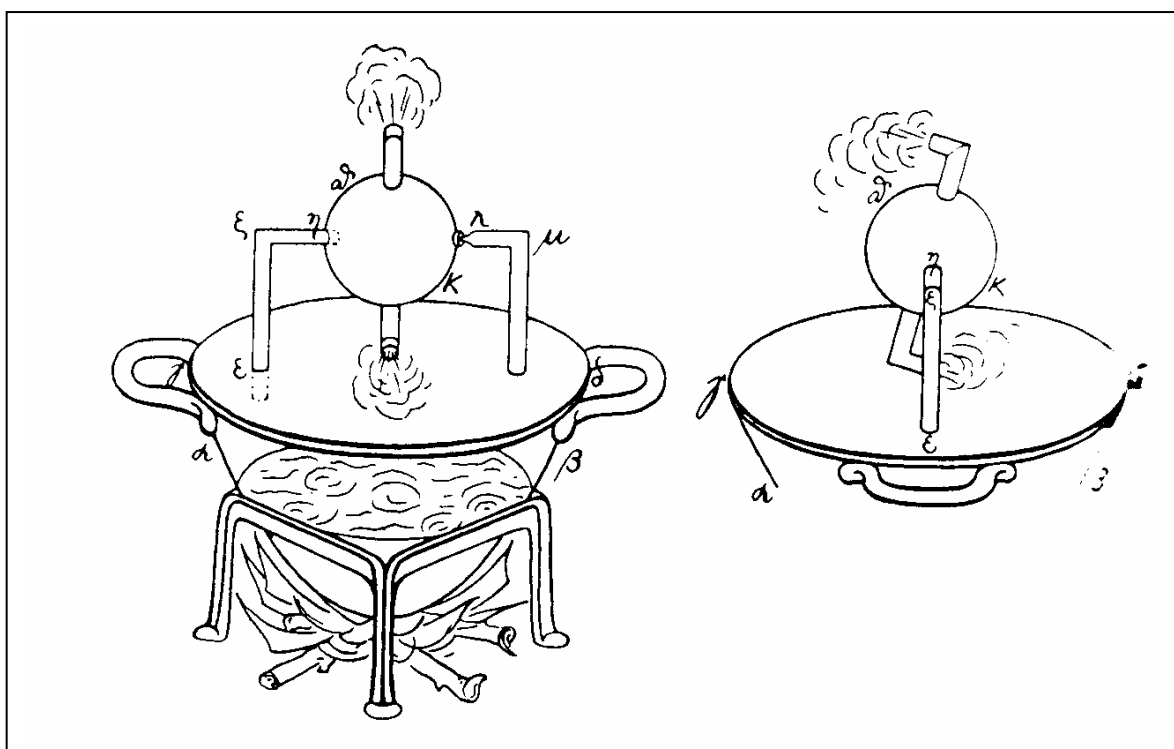


Archimedes von Syrakus war eine überragende Forscherfigur des Hellenismus. Er war wohl der berühmteste Mathematiker und Ingenieur der Antike. Es ist das grosse Verdienst von

Archimedes, dass er als Mathematiker physikalische Fragen nach Hebelwirkungen, Auftriebskräften, spezifischen Gewichten usw. mit mathematischen Methoden anging, klare Lehrsätze aufstellte und sie in folgerichtigen Schritten herleitete. Von ihm sind zwei wichtige Schriften erhalten, eine über schwimmende Körper und eine über die Hebelgesetze.

Die griechische Astronomie erlebte ihren Höhepunkt in **Aristarch** von Samos und in **Hipparch**, die beide wenigstens zeitweise in Alexandria wirkten. Die kühnste Leistung des Aristarch bestand darin, dass er das hergebrachte geozentrische Weltbild verwarf und durch seine Lehre einer doppelten Bewegung der Erde um ihre eigene Achse und um die Sonne zum erstenmal klar ein heliozentrisches System vertrat, das leider bei seinen Nachfolgern unberücksichtigt blieb und erst wieder von Kopernikus aufgegriffen wurde.

Von **Heron** ist eine Dampfkugel überliefert, die durch den Austritt von Wasserdampf, der durch die Achse eingeführt wird, in Drehung versetzt wird und letztlich bereits das Prinzip einer Dampfmaschine vorwegnimmt (s. Zeichnung unten, aus Stückelberger, S. 96)



Lucio Russo 182f.:

„**Theophrastos**, jahrzehntelang Aristoteles Lieblingsschüler und Nachfolger von Aristoteles als Leiter des Lyzeums, beschäftigte sich mit zahlreichen Fachgebieten, darunter der Meteorologie, der Mineralogie und vor allem der Botanik. Seine beiden erhaltenen botanischen Abhandlungen *Historia plantarum* und *De causis plantarum* enthalten die Elemente einer Theorie der botanischen Physiologie, die sowohl auf der Sammlung von altem, empirischem Wissen als auch auf zeitgenössischen Beobachtungen und Experimenten basierte.

Theophrastos setzte sich ausführlich mit den Veränderungen auseinander, denen Lebewesen von Generation zu Generation unterworfen sein können. Dabei unterschied er präzise zwischen durch Veränderungen des Bodens oder des Klimas hervorgerufenen, morphologischen Variationen und spontanen Veränderungen. Theophrastos stellte heraus, dass Mutationen der zweiten Art, die sowohl bei Pflanzen als auch bei Tieren auftreten, nicht im schon geformten Individuum sondern im Samen ausgelöst werden, dass sie erblich sind und nach vielen Generationen zu graduellen aber weitreichenden Veränderungen führen können.

Von besonderem Interesse ist Theophrastos' Kritik der Aristotelischen Theorie der Finalursachen. Die spannendste Passage zu diesem Thema findet sich jedoch nicht bei Theophrastos sondern erstaunlicherweise bei Aristoteles selbst, im 2. Buch seiner *Physikvorlesung*: Mit großer Genauigkeit wird hier die Möglichkeit diskutiert, den teleologischen Rahmen durch ein Prinzip der natürlichen Selektion zu ersetzen: Aristoteles, *Physica* II, VII, 198b, 16-32:

Da tritt die Frage auf: Warum soll es denn undenkbar sein, dass die Natur ohne alle Finalität und Rücksicht auf das Bessere arbeite ... wie beispielsweise Zeus es regnen lasse, nicht um das Getreide wachsen zu lassen, sondern aus reiner Notwendigkeit - denn die aufgestiegene Luft müsse abkühlen und die abgekühlte Luft müsse, zu Wasser geworden, herunterfallen ... Was soll demnach die Annahme unmöglich machen, dass die Dinge auch bei der Gestaltung der Organe in der Natur ebenso liegen, dass z. B. die zum Schneiden der Nahrung tauglichen Vorderzähne aus reiner Notwendigkeit als scharfe Zähne, die Backenzähne (aus gleicher Notwendigkeit) als breite und zum Mahlen der Nahrung zweckmäßige Zähne hervorgekommen seien? Denn dies sei ja nicht etwa mit solcher Zwecksetzung geschehen, sondern es habe sich beides eben so zusammengefunden; und nicht anders lägen die Dinge bei allen Organen, bei denen zunächst eine Zweckbestimmtheit (der Gestaltung) vorzuliegen scheine. Alle Gebilde, bei deren Entstehen sich alles gerade so ergeben habe, wie es auch ein zweckbestimmtes Werden hervorgebracht haben würde, **hätten sich nun am Leben erhalten können, da sie dank dem blinden Zufall einen lebensdienlichen Aufbau besessen hätten. Das Übrige aber sei zugrunde gegangen und gehe stets zugrunde.**

Wissenschaftler der Moderne kennen diesen Abschnitt gut. So zitiert ihn beispielsweise **Darwin** im Vorwort von *Die Entstehung der Arten* und fügt hinzu: „Wir finden hier ... eine dunkle Ahnung des Prinzips der natürlichen Zuchtwahl“.

Die theoretisch-spekulative Komponente, das begriffliche Denken

Der unbeirrbare Wille, vom Gegenständlichen zu abstrahieren, vom Einzelding zum Allgemeinen und Grundsätzlichen vorzustoßen, hatte zur Geburt der frühgriechischen Philosophie geführt. Man mag den Denkern der ionischen Naturphilosophie vorwerfen, daß sie sich allzu unbekümmert um die sinnliche Erfahrungswelt in seltsame Spekulationen verstiegen hätten; man wird aber zugeben müssen, daß ohne den Mut zur Abstraktion von den Einzeldingen und ohne die Fähigkeit, allgemeingültige Lehren aufzustellen und auch sprachlich zu formulieren, unser heutiges wissenschaftliches Denken und Forschen nicht möglich wäre.

Wie hoch diese Leistung zu veranschlagen ist, allgemeingültige Aussagen zu machen und Lehrsätze zu formulieren, zeigt uns ein Vergleich mit den Hochkulturen des Vorderen Orients: In der Vielzahl von Zeugnissen aus der sumerisch-babylonischen Wissenschaft - so bezeugen Kenner der Materie - ist nicht ein einziger Beleg für die Formulierung eines allgemeingültigen Lehrsatzes zu finden. Zwar gibt es reichhaltige Tiernamen- und Pflanzennamenlisten, aber keine allgemeingültigen Beobachtungen, finden sich Ortsnamenlisten und Itinerarien, aber kein Versuch, sich ein Bild von der Oikumene zu machen, kennt man hochentwickelte Berechnungen und Lösungen mathematischer Probleme vor allem im Hinblick auf praktische Verwendung (oft nur in brauchbaren Annäherungswerten), aber keine mathematischen Lehrsätze wie etwa einen Pythagorassatz.“

Dazu ein Teil eines Zitates von Albert Einstein, eines ehemaligen Maturanden unserer alma mater in Aarau:

„Es gibt keine empirische Methode ohne spekulative Begriffs- und Systemkonstruktion; und es gibt kein spekulatives Denken, dessen Begriffe bei genauerem Hinsehen nicht das empirische Material verraten, dem sie ihren Ursprung verdanken“. Mit anderen Worten: Bei

wissenschaftlicher Tätigkeit ist nicht nur analytischer Scharfsinn wichtig, sondern ebenso Spekulation, Intuition. Zwischen beiden besteht ein dauerndes Wechselspiel.

Die jahrhundertelange Wiederentdeckung

kann auch nur sehr summarisch dargestellt werden.

Die Römer müssen wir leider übergehen, da sie an den Wissenschaften generell wenig interessiert waren.

Im 2. Jh. n.Chr. (also in römischer Zeit) lebte in Alexandria **Klaudios Ptolemaios**. Er hat sich intensiv mit der mathematischen Astronomie beschäftigt und den *Almagest* geschrieben, ein umfangreiches Werk über Astronomie in 13 Büchern. Darin verwertete er überlieferte Erkenntnisse, hat aber auch Eigenes zu bieten. Dummerweise übernahm er das heliozentrische Weltbild von Aristarch nicht, obwohl er es kannte, sondern blieb beim geozentrischen, was zur Folge hatte, dass die Welt über 1300 Jahre auf Kopernikus (15.Jh.) warten musste. Doch erst Galilei (anfangs 17. Jh.) konnte eine breitere Öffentlichkeit überzeugen, dass die Planeten, und damit auch die Erde, um die Sonne kreisen.

Ptolemaios hat auch ein Handbuch der Geographie mit den Karten der damals bekannten Welt geschrieben. Forscher der Universität Bern mit dem Altphilologen Alfred Stückelberger an der Spitze haben sich des unerschlossenen Werks von Ptolemaios angenommen. Ihre Ptolemaios-Forschungsstelle hat als erstes Resultat die Geographie von Ptolemaios aufgearbeitet und zum ersten Mal ins Deutsche übersetzt. Als Grundlage verwendeten und erschlossen sie die beste Handschrift des Werks, die sich in Istanbul befindet. Das umfangreiche Buch mit vielen Karten ist im September 2006 erschienen und kostet Fr. 250. Auf der Homepage der Berner Ptolemaios-Forschungsstelle erfährt man viel Interessantes.

Das Interesse an den Wissenschaften erwachte im **Islam** während des 8. Jh. und erreichte die Blüte im 9. Jh. Damals wurden unter anderem die *Elemente* des Euklid ins Arabische übersetzt, aber auch in Byzanz wuchs das Interesse an den Wissenschaften.

Das arabische Interesse an den hellenistischen Wissenschaften verlief parallel zu der Entwicklung verschiedener Industrien, der Textil-, Papier-, Metall- und Schiffsindustrie. Auch die Landwirtschaft war gegenüber dem christlichen Westen damals deutlich weiter entwickelt. Für die Bewässerung brauchte man Maschinen, die mit Wasser, Wind und sogar Gezeiten angetrieben wurden.

In Westeuropa war das 12. Jh. eine frühe Renaissance. Damals wurden beispielsweise erstmals wissenschaftliche Texte vom Griechischen ins Lateinische übersetzt. Damals fasste Bernhard von Chartres das Verhältnis seiner Generation zur Antike im berühmt gewordenen Aphorismus zusammen: „**Wir selber sind Zwerge. Aber da wir auf den Schultern von Riesen stehen, die vor uns kamen, können wir weiter sehen als sie**“.

Im 12. und 13. Jh. waren die iberische Halbinsel und Sizilien, die man dem Islam entrissen hatte, und Süditalien, das stets in Verbindung mit Konstantinopel geblieben war, wichtige Kontaktpunkte zwischen der europäischen Kultur und der wissenschaftl. Tradition des Hellenismus. Arabische Übersetzungen von Euklid, Galen und Ptolemäus verbreiteten sich in ganz Europa. Die Plünderung Konstantinopels 1204 während des 4. Kreuzzuges brachte eine starke Verbreitung von dort aufbewahrten Manuskripten. Viele technologische Neuerungen waren die Folge, so sind z.B. bezeugt: eine Schraubenwinde zum Heben schwerer Gewichte, eine wassergetriebene Säge, ein einfacher Automat.

Diese wissenschaftlichen Kenntnisse verhalfen Spaniern und Portugal zu einem mehrere Jahrhunderte anhaltenden Vorsprung, der in der Seefahrt am deutlichsten wurde. Noch im 14. Jahrhundert waren die Spanier und Portugiesen, dank der von den Arabern gelernten mathematischen Geographie, die einzigen Europäer, die in der Lage waren, verlässliche geographische und nautische Karten zu zeichnen. Der portugiesische Prinz Heinrich der Seefahrer (1394-1460) förderte als einer der ersten den Einsatz astronomischer Methoden in

der Navigation auf offenem Meer.

Die Wiederentdeckung der mathematischen Geographie hauchte einer alten hellenistischen Idee neues Leben ein: auf der Westroute nach Indien zu segeln. **Kolumbus** kannte Aristoteles' Aussage in *de caelo*, dass das Meer zwischen der Westküste Spaniens und der Ostküste Indiens klein sei, ausserdem diejenige des älteren Seneca, dass dieses Meer in wenigen Tagen durchquert werden könne, wenn der Wind günstig sei. Beide Zitate unterstrich Kolumbus eigenhändig in seinem Exemplar und resümierte sie am Rand!

Die Renaissance

Mitte des 14. Jahrhunderts begann ein Strom griechischer Dokumente **aus Konstantinopel** nach Italien und von dort aus ins restliche Europa zu fließen, der das heute als Renaissance bekannte Phänomen auslöste. Zu Beginn des 15. Jahrhunderts wurde der Strom kräftiger. Die Gelehrten der Renaissance konnten die wissenschaftlichen Theorien des Hellenismus aber nicht nachvollziehen. Wie aufgeweckte Kinder, deren lebhaftes Neugier durch den ersten Besuch in einer Bibliothek geweckt wurde, entdeckten sie viele fesselnde Themen in den Manuskripten, besonders, wenn diese auch Abbildungen enthielten: Anatomische Sektionen, die Perspektive, Zahnräder, pneumatische Apparaturen, große Bronzefiguren, Kriegsmaschinen, hydraulische Geräte, Automaten, Musikinstrumente.

Der berühmteste der von diesen „Neuheiten“ faszinierten Gelehrten war **Leonardo da Vinci**, der sich nicht nur für alle gerade aufgezählten Dinge interessierte, sondern sogar versuchte - wenn auch leider ohne Erfolg - Archimedes' Werke zu verstehen. Mehr Erfolg hatte er mit seinen Versuchen, einige Ideen aus den antiken Werken in die Praxis umzusetzen, vor allem wenn er seine außergewöhnliche Beobachtungs- und Darstellungsgabe einsetzen konnte, wie etwa bei dem Versuch, durch das Sezieren von Leichen die Anatomie wiederaufleben zu lassen, oder bei Beobachtungen in der Hydraulik.

(Russo:) Schon seit einiger Zeit wird Leonardo da Vinci nicht länger als einsames Genie gesehen, sondern als wichtigster Vertreter eines Milieus, in dem über Jahrzehnte dieselben Themen verfolgt, dieselben Bücher gepriesen und ähnliche Zeichnungen gemacht wurden. Viele von Leonardos bevorzugten technologischen Themen hatten in der ersten Hälfte des 15. Jahrhundert schon den Sieneser Mariano Taccola beschäftigt, der sich besonders für die Werke Philon von Byzanz' zur Pneumatik und zur Militärtechnologie interessierte. Zur gleichen Zeit entstand auch die wohl erste Übersetzung eines wissenschaftlichen Werks in eine moderne europäische Sprache: Die italienische Fassung von Philons *Pneumatik*, die das anonyme Manuskript *Hydraulische und Kriegsmaschinen* eröffnet. In der zweiten Hälfte des Jahrhunderts erschien das *Traktat über die Architektur, die Technik und die Kunst des Krieges* des Bildhauers, Architekten und Ingenieurs Francesco di Giorgio Martini, ebenfalls aus Siena. Darin finden sich Zeichnungen von durch Druckleitungen versorgten Wasserrädern, Vakuum- und Druckpumpen, Endlosgewinden, Zahnstangenmechanismen, vielen anderen Elementen aus der hellenistischen Technologie und sogar eines Fahrzeugs mit einem Lenkrad.

Während sich Taccola und Francesco di Giorgio hauptsächlich auf Philon und Vitruv konzentrierten, interessierte sich Leonardo, wie andere Ingenieure seiner Zeit, auch sehr für Heron. Oft zeigten sich in der Vergangenheit dieselben Kritiker, die über Herons „nutzlose Spielereien“ die Nase rümpften, hingerissen von Leonardos „futuristischen“ technischen Zeichnungen, von denen viele sich als Kopien oder Ableitungen von Heron entpuppten: Schrauben, Reduktionsgetriebe, Gewindeschneider, automatische Stampfer, Windräder, Siphons, „Heronische“ Springbrunnen, Geräte, die durch aufsteigende, warme Luft bewegt wurden, Wasserwaagen ... Bei anderen Gegenständen, wie dem engmaschigen Fließband und der Repetierarmbrust, hielt sich Leonardo an Philon von Byzanz. In zahlreichen Anmerkungen sagt er offen, wie viel er den antiken Quellen verdankt. Etwa in seinen Beobachtungen zur Optik oder in den Bemerkungen zur Herkunft von Meeresfossilien im Binnenland, sowie in seinen Zeichnungen von Schaufelbooten, Brennsiegeln, Armbrüsten,

hydraulischen Sägen, Kugellagern ... Diese Liste ließe sich beliebig erweitern.

Der oft geäußerte Kommentar, Leonardos Genie sei es gelungen, über die Kultur seiner Zeit hinauszugehen, ist berechtigt. **Aber seine Reise war weniger eine fantastische Expedition in die Zukunft als vielmehr ein Eintauchen in ferne Vergangenheiten.** Oft finden sich in Leonardos Zeichnungen Gegenstände, die zu seiner Zeit nicht gebaut werden konnten, da die notwendige Technologie dazu fehlte. Der Grund dafür ist jedoch nicht seine außergewöhnliche Fähigkeit, die Zukunft vorauszuahnen, sondern die schlichte Tatsache, dass hinter diesen Zeichnungen ältere standen, aus einer Zeit, als die Technologie viel weiter entwickelt war.

Auffällig war die Rückständigkeit der Metallbearbeitung. Viele hellenistische Entwürfe sollten in Metall ausgeführt werden. Sie konnten in der Renaissance nicht nachgebaut werden, da die Techniken für das Schmelzen, Gießen, Drehen und Glätten von Metallen verloren gegangen waren. Ludovico Sforza holte Leonardo nach Mailand und beauftragte ihn mit der Schaffung einer großen Bronzestatue. Die Herstellung dieses Kolosses blieb jedoch ein über Jahre vergeblich verfolgter Wunschtraum. Das Interesse der Sforzas an der Weiterentwicklung von Gusstechniken war kein rein ästhetisches. Viele Fortschritte, vor allem in der Artillerie, waren blockiert, da man nicht in der Lage war, die antike Technologie der Herstellung von Kolossalstatuen aus geschmolzenem Metall nachzuvollziehen.

Obwohl die wissenschaftliche Methode von den Intellektuellen der Renaissance nicht erfasst werden konnte, gab es ein weit verbreitetes Interesse an bestimmten wissenschaftlichen Theorien; insbesondere denen, die, wie die mathematische Geographie und die Astronomie, für die Seefahrt von Nutzen waren.“

Die Wiederaufnahme der Atomistik in der Renaissance und der Neuzeit wäre ein weiteres spannendes Kapitel. Sie kann nachgelesen werden bei Alfred Stückelberger, Einführung in die antiken Naturwissenschaften, s. 179ff.

Wir sind in diesen Ausführungen fast nur auf die Mathematik und die Naturwissenschaften eingegangen. Aber auch diese Gebiete wurden nur oberflächlich gestreift. Bei Russo und Stückelberger erfährt man teilweise im Detail, wie unglaublich weit die antiken Wissenschaften vorgedrungen waren.

Nicht berücksichtigt blieben hier z.B. die Logik, ein sehr wichtiges und interessantes Gebiet, Grammatik, Medizin, Recht und viele andere. Auch sie basieren praktisch ohne Ausnahme auf der griechisch-römischen Antike.

Bibliographie

Lucio Russo: Die vergessene Revolution oder die Wiedergeburt des antiken Wissens. Springer-Verlag, ca. 30 € Sehr empfehlenswert.

Alfred Stückelberger : Einführung in die antiken Naturwissenschaften, Wissenschaftliche Buchgesellschaft, ca. 20 €

G.S. Kirk, J.E. Raven, M. Schofield: Die vorsokratischen Philosophen; Einführung, Texte und Kommentare, Metzler-Verlag, 1994