

Fritz Krafft:

Naturwissenschaft – eine ‚Erfindung‘ der Griechen

(unveröffentlichter Beitrag, Digitalisat 2016).

Eingereichter Text für:

Joachim Herrmann / Erik Zürcher (Hrsgg.):

History of Humanity: Scientific and Cultural Development

Volume III A: From the Seventh Century BC to the Seventh Century AD. Paris: UNESCO und London/New York: Routledge 1996 [Neubearbeitung von: History of the Scientific and Cultural Development of Mankind. Paris: UNESCO 1963 ff.].

Mit anderen Beiträgen verarbeitet zu den Kapiteln

Debiprasad Chattopadhyaya / Leslie Gunawardana / Joachim Herrmann / Fritz Krafft / David W. Phillipson / William T. Sanders / Nathan Sivin / Erik Zürcher:

Chapter I: Concepts of Nature, Philosophy and Science. S. 11–24 / Les concepts de nature, de philosophie et de science. S. 39–74,

und:

Johannes G. de Casparis / Debiprasad Chattopadhyaya / Leslie Gunawardana / Joachim Herrmann / Fritz Krafft / Michael Loewe / Domenico Musti / David W. Phillipson / William T. Saunders / R. S. Sharma / Nathan Sivin / Erik Zürcher:

Chapter II: Applied Sciences and Technology. S. 25–40.

Naturwissenschaft – eine ‚Erfindung‘ der Griechen

(unveröffentlichter Beitrag)

Fasst man die im Laufe der Geschichte entwickelten Formen von Naturwissenschaft begrifflich zusammen, so lässt sie sich definieren als „System von auf einander bezogenen, jeweils mehr oder weniger allgemeingültigen Aussagen, durch die konkrete Einzelfälle des natürlichen Geschehens auf allgemeine, nicht-außernatürliche Prinzipien, die sich bewährt haben (bis ins 20. Jahrhundert nahm man fälschlich an, sie auch ‚beweisen‘, zu können), zurückgeführt und aus ihnen abgeleitet werden.“ Voraussetzung hierfür ist ein mehr oder weniger formalisiertes Verfahren, das die Regeln für die Rückführung (Reduktion, Induktion) der Phänomene auf diese Prinzipien und die eindeutige Ableitung (Deduktion) der Phänomene/Einzelfälle aus den Prinzipien liefert: Logik, Mathematik. Unter der Voraussetzung einer logisch/mathematischen Struktur der zu erfassenden Wirklichkeit, hier der ‚Natur‘ oder bestimmter Teilbereiche daraus, besteht dann eine Analogie (oder Identität) zwischen den aus Allaussagen (Naturgesetzen, Prinzipien, Axiomen) logisch/mathematisch abgeleiteten Partikularaussagen und den wirklichen Phänomenen und Prozessen.

Eine solche Wissenschaft tritt in der Geschichte der Menschheit erstmals bei den alten Griechen auf; sie wurde in Ansätzen entwickelt von den so genannten Vorsokratikern (7.–5. Jh. v. Chr.) und als systematisiertes Wissen vollendet von Platon und Aristoteles, welcher letzterer auch die Grundlagen der Wissenschaftslogik und -methodologie schuf. Seitdem haben sich eigentlich nur die Inhalte der Prinzipien und die Vorstellungen über die sicherste Art ihrer Gewinnung verändert.

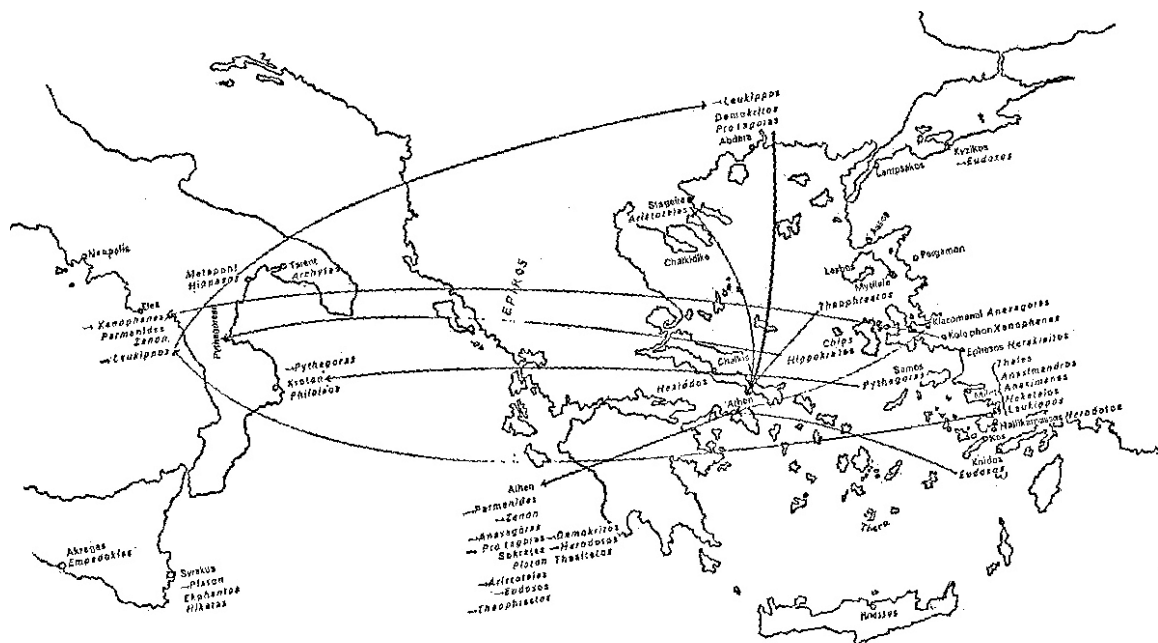
Eine solche Art, Wissen über die ‚Natur‘ zu erlangen und anzuwenden, ist zwar nicht die einzige Art (nicht einmal die einzige ‚richtige‘ Art), etwas über die ‚Natur‘ zu erfahren und der ‚Natur‘ zu begegnen, sie ist aber die einzige rational und systematisch vorgehende und abgesicherte, die einzige logisch nachvollziehbare und daraufhin lehrbare. Naturwissenschaft in diesem strikten Sinne gab und gibt es deshalb auch nur in Kulturen und bei Völkern, die diese zusammen mit dem Begriff ‚Natur‘ direkt oder indirekt von den Griechen übernommen haben.

Die Griechen ihrerseits verwerteten zwar durchaus die Einzelerkenntnisse (etwa über Gestirnskonstellationen) und Rechenvorschriften, die von den sie umgebenden Kulturen des Mittelmeerraumes aus und für die Praxis gewonnen und teilweise über Jahrhunderte verfeinert worden waren (sie sahen deshalb – fälschlicherweise – die Ägypter und ‚Babylonier‘ als ihre ‚Lehrer‘ in der Geometrie beziehungsweise Astronomie an); aber die Widersprüchlichkeit und Unterschiedlichkeit der Verfahren und des ‚Wissens‘ ihrer verschiedenen Nachbarn regte sie andererseits an und führte sie

erst auf die Notwendigkeit, dieses ‚Wissen‘ auf neuartige Weise, systematisch im Sinne einer logischen Vernetzung zusammenzufassen – woraus die Mathematik sowie die anfangs parallel dazu und später nach deren Muster entwickelten Wissenschaften entstanden.

Grundvoraussetzung für jegliches wissenschaftliche Erfassen der außersubjektiven Welt, von den alten Griechen ‚Natur‘ genannt, ist die weitgehend unreflektiert gesetzte Annahme, dass die ‚Natur‘ überall gleich ist und die Prozesse überall und stets nach denselben Regeln ablaufen, dass also etwas an und in der ‚Natur‘ Erkanntes nicht nur für den konkreten Einzelfall gilt, an dem es erkannt wird, sondern für alle gleichartigen Fälle zu allen Zeiten und überall auf der Welt gilt, galt und gelten wird.

Diese Annahme findet sich erstmals bei den Griechen des 7./6. vorchristlichen Jahrhunderts und erklärt sich aus ihren aufgeklärten religiösen Überzeugungen. So umschrieb schon Hesiodos (um 700) den von ihm noch in der Form einer ‚Theogonie‘ (Götterwerdung) dargestellten, aber durch die Umformung vorgegebener Mythen erstmals als abgeschlossen aufgefassten ‚Entstehungsprozess‘ der Welt und ihre gegenwärtige, unveränderliche ‚Ordnung‘ als das, „was sowohl ist als auch sein wird und vorher war“ (Theog. 38). Gemeint ist das hinter der sich vielfältig und wandelnd darbietenden Welt stehende ‚Unvergängliche‘ und ‚Unveränderliche‘, das Hesiodos noch in der Gestalt von Göttern denken und beschreiben musste. Diese stellen bei ihm aber einerseits schon weitgehend bloße Naturhypostasen (‚Wasser/Meer‘, ‚Erde‘, ‚Himmel‘, ‚Berge‘, ‚Tag‘/‚Nacht‘, ‚Bäume‘ etc.) dar und sind andererseits abstrakte Ordnungsmächte (‚Liebe‘, ‚Streit‘, ‚Recht‘ etc.), die nach dem Sieg des seitdem höchsten und seinerseits nicht wieder besiegbaren Gottes Zeus diesem unterstehen; und Zeus repräsentiert den ‚Geist‘.



Hierin sind eine Reihe von Grundpositionen griechischer Wissenschaft von der Natur vorgezeichnet, die in der Folgezeit – teilweise in kritischer Auseinandersetzung mit Hesiodos – konkretisiert wurden. Die Begründer wissenschaftlichen Denkens, die vorsokratischen Naturphilosophen und Mathematiker, stammten allerdings nicht vom griechischen Mutterland, sondern aus den Randgebieten der Magna Graeca, vor allem aus Jonien, von den griechischen Inseln und Städten an der kleinasiatischen Westküste (Abb. 1), zwischen denen neben Handelsbeziehungen offenbar auch enge geistige Kontakte bestanden: Milet, Kolophon, Samos, Klazomenai, Halikarnassos sowie den medizinischen Zentren Knidos und Kos (Hippokrates).

Historische und geographische Bedingungen

Das ist historisch und geographisch bedingt und eine der Folgen jener Umgruppierung in Griechenland, die durch die Dorische Wanderung ausgelöst wurde, die ihrerseits wohl eher eine Folge denn eine Ursache des Unterganges der mykenischen Staatenwelt mit ihrer festgefügtten Verwaltung und hohen Kultur gewesen war. In einem mehrere Jahrhunderte währenden Zug drangen griechische Stämme von Nordwesten her immer tiefer ins Mutterland ein und überlagerten die Urbevölkerung oder verdrängten sie auf die Inseln und an die jonische Küste (Jonische Wanderung oder Erste Kolonisation). Das Ergebnis war eine teilweise regional abgegrenzte, teilweise überlagerte Vielfalt von Völkern und Stämmen ohne einheitlichen Staatsverband und deshalb auch ohne einheitliche Religion (oder vielmehr: ohne einheitliche Kultformen), die wegen der ungewöhnlichen geologischen Vielfalt der Geländeformen und der beispiellos reichen geographischen Gliederung des gesamten Siedlungsraumes in kleine und kleinste, gegen einander fast hermetisch abgeschlossene Lebensräume auch noch jeweils eigene kulturelle und staatliche Entwicklungen durchmachten und unterschiedliche Dialekte sprachen. Wegen der schon von Natur her kargen Bodenbeschaffenheit hatte die Störung des seit dem vor etwa 6000 Jahren einsetzenden Klimawechsel sehr labilen mediterranen Ökosystems durch intensive Waldnutzung und -rodung (Schiff- und Hausbau, Erzverhüttung und Metallverarbeitung) sowie Land- und Weidewirtschaft rasch zu weitgehender Verkarstung und Auswaschung der Böden geführt. Zunehmende Überbevölkerung war die Folge, der man nur durch ein mehr oder weniger organisiertes Kolonisieren Herr werden konnte.

Diese ‚Zweite Kolonisation‘ vom achten bis sechsten Jahrhundert hatte vorwiegend landwirtschaftlichen Charakter und ging von fast allen Küstenstädten des Mutterlandes und Joniens sowie den Inseln aus. Die Kolonisten nahmen Religion, Sitten und bewährte gesellschaftliche und staatliche Einrichtungen ihrer jeweiligen Mutterstadt (Metropole) mit in die neue Heimat und blieben mit ihr meist auch in engem Kontakt, der durch rege Handelsbeziehungen noch intensiviert wurde. In einer Metropole wie Milet kamen so die verschiedensten Eindrücke aus ganz heterogenen Gegenden der Küsten des östlichen Mittelmeeres, des Schwarzen Meeres und Süditaliens, später auch des westlichen und südlichen Mittelmeeres zusammen.

Die Kolonisten kamen nicht als Eroberer, sondern als Bauern und Händler, sie waren also auf die Duldung durch die Herren des Landes angewiesen; und das galt insbesondere für die Pflanzstädte Milets an der Südküste des Schwarzen Meeres und im Nildelta, die im Gebiet staatlich organisierter Großreiche lagen und deshalb zum großen Teil von vornherein nur als Handelsniederlassungen gegründet und zugelassen werden konnten, solange sie einen für beide Teile vorteilhaften Warenaustausch organisierten. Das im westlichen Nildelta um 650 v. Chr. von Milesiern als Stapel- und Handelsplatz gegründete Naukratis war zum Beispiel seit König Amasis (568–526) die einzige in Ägypten zugelassene griechische Handelsniederlassung. Der Handel mit den orientalischen Reichen selbst war zuvor schon im 8. Jahrhundert besonders von den jonischen Städten aus wieder intensiviert worden, und mit den Waren war seitdem auch geistiges Kulturgut in den Westen gelangt. Diese fremden und verschiedenartigen Einflüsse konnten aber erst stärker zur Wirkung kommen, seitdem der griechische Händler selbst im direkten Einflussbereich dieser alten orientalischen Kulturen sesshaft geworden war.

Nach der Entdeckung und Entzifferung babylonischer und ägyptischer mathematischer, astronomischer und medizinischer Texte lässt sich heute in etwa auch ermessen, welches auf Erfahrung beruhende und deshalb ohne weiteres reproduzierbare Wissen von den Griechen – vorerst bis zum Ausbruch der Feindseligkeiten mit dem Perserreich – übernommen werden konnte und auch übernommen wurde. Man kann solches Wissen erstmals bei Hesiodos und den Milesiern Thales (Vorhersage der Sonnenfinsternis von -584 für dieses Jahr) und Anaximandros greifen; besonders bei letzterem wurde es mit spezifisch griechischen Anschauungsweisen verschmolzen. Es waren zwar noch keine Wissenschaften, welche die Griechen hier übernehmen konnten, sondern Sammlungen von Beobachtungen und Rechenregeln (wie sie ähnlich in der außerwissenschaftlichen Praxis auch von den Griechen und Römern weiterhin benutzt wurden), ohne den Versuch einer Erklärung oder Begründung, ohne eine zugrunde liegende umfassende Theorie, wie sie erst Griechen schufen; aber durch die Übernahme blieb diesen ein jahrhundertlanges Beobachten und Erproben erspart, zu dem sie außerdem von der Art ihrer Religion und von den Bedingungen ihres Siedlungsraumes her kaum die Anregung erhalten hätten.

Solche Übernahmen waren in diesem Maße aber wohl nur möglich, weil die geographisch und historisch bedingte Zersplitterung die Griechen selber über die Welt und die darin wirkenden Götter schon so verschieden denken ließ, dass in ein Weltbild, das für alle gelten sollte – wie das der Rhapsoden (besonders des Hesiodos) – ebensogut Nichtgriechisches einbezogen werden konnte, und weil überhaupt nur eine vereinfachende und übergreifend abstrahierende Betrachtungsweise an den unterschiedlichen Göttergestalten und Kultformen der einzelnen kleinen und kleinsten Kultur- und Religionsgemeinschaften das Gemeinsame und Verbindende erkennen und erfassen konnte. Die allen Griechen gemeinsamen Götter waren eben schon in

hohem Maße abstrakte, vergeistigte Gottheiten geworden; und wie diese Götter in den verschiedenen Kultgemeinschaften der Griechen selbst schon jeweils anders benannt und verehrt wurden, so schienen ihnen auch die Götter der anderen Völker nur scheinbar und nur deshalb anders zu sein, weil sie anders benannt und verehrt wurden. Im Grunde sah man sie als dieselben Götter an – weshalb die Griechen (später auch die Römer) alle fremden Götter mit den eigenen identifizierten. Anders als in den in sich geschlossenen und nach außen hin gegen fremde Einflüsse sich abschirmenden anderen Kulturreichen im Mittelmeerraum dieser Zeit galt den Griechen daraufhin die Welt überall als gleichartig, weil überall dieselben Götter herrschten. Fremdes Wissen über diese Welt ließ sich somit auch ohne weiteres übernehmen; und Abweichungen von der den Griechen aus der Heimat bekannten Norm konnten nicht auf lokale Götter zurückgeführt werden, sondern mussten auf ‚natürliche‘ Weise erklärbar sein. Ägypten mit seinen Gegensätzen reizte deshalb immer wieder zu Besuchen, und fast alle Naturphilosophen von Thales bis hin zu Herodotos versuchten sich an solchen ‚natürlichen‘ Erklärungen des dortigen Ungewöhnlichen.

Erst wenn so das Gemeinsame an den Dingen und Vorgängen im ganzen geographisch sehr weit gespannten und recht heterogenen Bereich griechischer Erfahrung allmählich immer bewusster gesehen wird, können auch die Unterschiede erfasst und als bloß unterschiedliches Zusammenwirken derselben Ursachen, also gleichermaßen ‚natürlich‘ erklärt werden. So ist es ganz natürlich, dass die Griechen die gesamte natürliche Welt – und das heißt für sie stets einschließlich der Götter oder des Gottes – als (organische, vernünftige) Einheit auffassten, die überall nach denselben Prinzipien aufgebaut ist – im Kleinen wie im Großen. Waren sie doch schon durch die historischen Geschehnisse gezwungen, nach dem Allgemeinen, Einheitlichen und Übergreifenden zu suchen, um sich in ihrer so heterogenen Welt überhaupt zurechtfinden zu können.

Die Suche nach den Prinzipien der Natur

Alle Erscheinungsformen mussten deshalb auch umgekehrt aus denselben Prinzipien erklärt werden: Was sich später zu Theologie, Philosophie und Naturwissenschaft ausdifferenzierte, war ursprünglich eine Einheit. Sie unterschieden sich auch später bei den Griechen nur durch eine verschiedene Akzentuierung. Und dasselbe galt innerhalb der Wissenschaft von der Natur: Aus der Kosmogonie entstanden seit Hippokrates, Platon und Aristoteles Kosmologie/Astronomie und Physik sowie die biologischen Wissenschaften Medizin, Zoologie und Botanik, jeweils unter Einbeziehung vorwissenschaftlicher empirischer Kenntnisse auch fremder Völker. Sie alle legen nur jeweils den Akzent auf eine andere Lebensform, wozu diese verschiedenen Lebensformen aber nach der Aufteilung der allein Leben gewährenden Seele in ihre den verschiedenen Formen des ‚Lebendigseins‘ zugewiesenen Bestandteile (vegetativ, sensitiv, rational) erst ‚entdeckt‘ worden sein mussten. Das geschah zu Beginn des vierten vorchrist-

lichen Jahrhunderts. Vorher, aber auch noch bei Platon und Aristoteles oder bei Poseidonios und Epikuros, umfasste die Philosophie alle diese Bereiche in gleichem Maße. Sie war wirklich eine Wissenschaft von der Natur. Beschränkte sie sich aber vornehmlich auf den außermenschlichen Bereich, so war sie gleichzeitig Kosmogonie und Kosmologie, so hatte sie Entstehen und gegenwärtigen Zustand der gesamten Welt zu beschreiben und zu erklären.

Keimzelle für solche Kosmogonien und damit für eine Wissenschaft von der Natur waren Theogonien wie die des Hesiodos, aus der Anaximandros nachweislich starke Anregungen erhielt. Sein ‚Apeiron‘, das noch in jeder Beziehung ‚Unbestimmte‘, das als Prinzip die sich konkretisierenden Gegensätze wie ein Lebewesen gebiert, setzte die hesiodischen Vorstellungen vom uranfänglichen ‚Chaos‘ prosaisch um. Anaximenes machte daraus die ‚unbestimmte Luft‘ als hylozoistisches Prinzip, dessen unterschiedlicher Dichtezustand die verschiedenen Dinge und Stoffe bilden soll, und bereitete damit den späteren Begriff ‚Materie‘ vor. Nach Aristoteles soll Thales das Wasser als das stoffliche Prinzip angesehen haben. Gemeinsam war allen milesischen Naturphilosophen die Vorstellung von der Wandelbarkeit der ‚Natur‘, deren Prinzipien diese Fähigkeit als eine Art Lebendigkeit in sich tragen (Hylozoismus).

Eine andere Weiterführung der Gedanken der hesiodischen „Theogonie“ wurde dem entgegengehalten, die Betonung des unveränderlichen, geistigen Ordnungsprinzips. Die ‚Ordnung‘ des Universums war schon bei Hesiodos eine ‚geistig‘ geformte, eine ‚rationale‘, die der Mensch deshalb mit seinem Geiste erfassen kann – gemäß der Überzeugung, dass ‚Gleiches Gleiches erkennt‘. Herakleitos von Ephesos deutete das der sich wandelnden Welt zugrundeliegende Ordnungsprinzip deshalb als den *logos* (lat.: ‚ratio‘); und noch vor der Mitte des 5. Jahrhunderts wurde das griechische Wort für ‚(rationale) Ordnung‘/‚Zierde‘ als Begriff für das durch sie zu einer ‚Einheit‘ (‚Universum‘) zusammengefasste Ganze eingeführt: *kosmos*.

Der faktische Monotheismus des Hesiodos war rasch zu einem tatsächlichen geworden, wobei bereits Xenophanes gleichzeitig auch den alleinigen Gott völlig entpersonalisierte (von Mythen befreite) und als reinen Geist auffasste, dem jegliche Emotion und Willkür abzusprechen sei. Folglich könne auch in der von einem solchen Gott erschaffenen oder nur ‚verwalteten‘ Welt keinerlei Willkür herrschen. Es wäre Blasphemie, sich etwas anderes vorzustellen, als dass es daraufhin nicht auch die beste aller möglichen Welten wäre; wobei dieses in dem ‚Muster‘ für die Schöpfung (für Pythagoreer und Platon die Mathematik) oder in der ‚Natur‘ selbst (Aristoteles) begründet sein oder durch das ‚Vorwissen‘ des Weltgeistes (Anaxagoras) beziehungsweise die ‚Vorsehung‘ des Schöpfergottes (Stoiker, Neuplatonismus) bewirkt werden soll. – Auch diese Form eines Monotheismus ist Grundvoraussetzung für das Entstehen einer Wissenschaft von der Natur gewesen; und die Vorstellung vom alleinigen und vorsorgenden Schöpfergott ermöglichte in der Spätantike eine Verschmelzung von christlichen Glau-

bens- und griechisch-heidnischen Naturvorstellungen (Neuplatoniker, Nestoreaner), eine christlich modifizierte Weiterführung griechischer Naturwissenschaft (so schon bei Ioannes Philoponos im 6. Jh. n. Chr.) sowie ihre Übernahme durch die arabisch-islamische Geisteswelt (seit dem 7. Jh.) und das lateinische Mittelalter, aber auch ihre Umformung zur neuzeitlichen Naturwissenschaft im europäischen Renaissance-Humanismus.

Parmenides, Schüler des Xenophanes, erhob das den verschiedenen Zeitstufen der hesiodischen Umschreibung zugrunde liegende ‚sein‘ zu dem ungewordenen, unvergänglichen, unveränderlichen, nur durch Denken erfassbaren, einheitlichen (einen) ‚Sein‘ (griechisch: *on*; die Lehre vom Sein heißt deshalb ‚Ontologie‘). Das schon bei Hesiodos über die bloß verknüpfende Kopula erhobene ‚sein‘ führte dann auch rückwirkend zu der bewussten Frage nach der Aussagbarkeit, das heißt nach dem Sein im Werden, nach dem Bleibenden in der Veränderung, der Substanz, dem Wesen (der ‚Natur‘) der Dinge. Es wird von und seit Parmenides als das alleinige und nur mittels Denken Erkennbare aufgefasst. Nach Ansätzen bei Platon führt die unterschiedliche Art der Prädikation mit Hilfe der Kopula später bei Aristoteles zu einer Differenzierung dessen, was von der Kopula grundsätzlich zu einer Aussage verknüpft werden kann und zu einer Differenzierung der Verknüpfung als solcher, des Seins, in den so genannten ‚Kategorien‘. Erst damit wurden die logischen Grundlagen für ein exaktes Urteilen gelegt, das auch den Wissenschaften zugrunde liegt.

Schon Hesiodos hatte durch die Umformung der vorgegebenen Mythen eine Willkür und überhaupt eine Veränderung im jetzigen Zustand des Kosmos ausgeschlossen. Beides sind Grundvoraussetzungen für eine Erkennbarkeit der Weltordnung und damit für eine Naturwissenschaft; denn die ‚göttlichen‘ Ursachen werden damit zu stets gleichwirkenden, zu ‚natürlichen‘ Ursachen. Hinterfragt man nämlich den in einem anderen natürlichen Geschehen oder Gegenstand erkannten Verursacher eines Geschehens oder Dinges nach dessen Ursachen und führt diesen Prozess sukzessive weiter, so gelangt man über die jeweiligen Ursachen der Ursachen zur höchsten und letzten (beziehungsweise ersten) Ursache, und zwar sowohl in zeitlichem Sinne (als Uranfang) als auch in logisch-kausalem Sinne (als Urursache). Die erste Ursache als Zusammenfassung sämtlicher Ursachen ist so zeitlich entweder mit dem Weltbeginn (bei Hesiodos: ‚Chaos‘), der Weltschöpfung und/oder dem Weltschöpfer gleichzusetzen, oder sie ist permanent gegenwärtige erste, das heißt höchste Ursache, die durchaus als mit dem Weltschöpfer identisch gedacht werden kann (bei Hesiodos zeitlich zuletzt: Zeus/ Geist).

Der entscheidende Ansatzpunkt hierfür ist der Ausschluss jeglicher Willkür zwischen dem konkreten Einzelding oder -vorgang und seinem/n direkten Verursacher(n) (wie Vater und Mutter) auf der einen Seite und der letzten Ursache oder ‚Natur‘ auf der anderen Seite. Stattdessen muss vielmehr angenommen werden, dass etwas, das zeitlich

stets und immer vorangeht, notwendig vorangeht, dass der immer wiederkehrende ‚Anfang‘ auch ‚Ursprung‘ und ‚Ursache‘ für das ist, was ihm (unter gleichen Bedingungen) stets folgt – woraufhin dann auch aus einem einmaligen Auftreten auf das immer wieder erfolgende Auftreten geschlossen werden kann: Aus ‚stets und immer‘ wird ‚notwendig‘ erschlossen, so dass auch der einmalige Nachweis dafür ausreicht. – Man kann die Berechtigung dieser Gleichsetzung allerdings nicht beweisen; doch ist sie Grundvoraussetzung jeglicher Naturwissenschaft, so dass sie von Anfang an mehr oder weniger bewusst als Axiom vorangesetzt werden musste. Schon Thales von Milet schloss aus der regelmäßigen Gleichzeitigkeit von Ereignissen (wie Etesien und Nilschwelle) auf einen kausalen Zusammenhang.

Die Griechen nannten die Ursachen entsprechend ‚Anfang‘, das ‚Erste‘ (ἀρχή) – so schon Anaximandros – oder das ‚Schuldige‘ (αἰτία, αἴτιον); die Römer übersetzten diese Begriffe mit ‚principium‘ (Anfang) und ‚causa‘ (Grund, Ursache). Diese Wörter sind mit ihren Begriffsinhalten wiederum meist als Lehn- oder Fremdwörter in die europäischen Sprachen eingegangen.

Der Begriff ‚Natur‘ (φύσις)

Analog der selberlebten, anfangs als mehrteilig empfundenen und später auch so gedachten ‚natürlichen‘ Einheit des Menschen galt den Griechen die ‚All-Einheit‘ Kosmos von Anfang an auch als organisch und beseelt, als ein beseeltes Lebewesen. Diese Vorstellung – die schon Hesiodos’ Darstellung der Welt als Generationenabfolge von göttlichen Lebewesen und deren Sozialgefüge anstelle einer Erschaffung der Welt zugrunde liegt – war der griechischen Geisteswelt so geläufig, dass sie bereits vor den ältesten erhaltenen literarischen Schriftzeugnissen verbal zu dem Begriff ‚Natur‘ hatte verdichtet werden können. ‚Natur‘, griechisch φύσις/*physis*, eine Entdeckung, ja fast Erfindung der frühen Griechen, ist dabei nirgends konkret zu fassen. *physis* ist vielmehr ein höchst abstrakter Begriff, der das gemeinsame ‚Herkommen‘ und die gemeinsame ‚Wurzel‘ der aus sich heraus und ohne fremdes Zutun ‚wachsenden‘ beseelten und vernünftigen organischen All-Einheit bezeichnet.

Das Wort *physis* hängt inhaltlich mit dem Verb φύειν/φύεσθαι zusammen, das soviel wie ‚hervorbringen‘, im Passiv ‚hervorgehen‘, ‚wachsen‘ bedeutet. Es ist derselbe Wortstamm, der auch in *phyton* (‚Gewächs‘, ‚Pflanze‘) enthalten ist. Die Gesamtnatur soll also analog der organischen Einheit ‚Gewächs‘ Eigendynamik besitzen; sie ist so etwas wie das ‚Hervorbringen‘ und die ‚Herkunft‘, jeweils in organologischem Sinne, der aus sich heraus die natürlichen Dinge hervorbringende ‚Ursprung‘ und ‚Lebensquell‘, und zwar sowohl für ein einzelnes Ding als auch in abstrahierender Zusammenfassung der ‚Naturen‘ aller einzelnen Dinge für alle Dinge. Dabei soll deren Konstitution und Verhalten von diesem ‚Ursprung‘ her geprägt und bestimmt sein. – Die spezifisch griechische Art naturwissenschaftlichen Denkens zeigt, dass diese

Grundbedeutung von *physis* stets bewusst blieb – was auch dadurch deutlich wird, dass die Römer im ersten vorchristlichen Jahrhundert diesen Begriff nicht einfach mit der Wissenschaft von der Natur als Fremdwort übernahmen, sondern ihn übersetzten. Dazu benutzten sie den entsprechenden gleichbedeutigen Wortstamm ihrer Sprache, der auch dem Verb (*nascere*)/*nasci* zugrundeliegt, das dieselbe Bedeutung hat wie das griechische. Auch der lateinische Begriff *natura*, den die modernen europäischen Sprachen als Fremd- oder Lehnwort übernahmen, bedeutete also in der Antike ‚Ursprung‘, ‚Herkommen‘ in biologisch-organologischem Sinne, das ‚Entspringen‘, der ‚Lebensquell‘ – ohne dass allerdings nach der christlichen Umformung des Denkens dem späteren Fremdwort ‚Natur‘ diese Bedeutung noch anhaftete.

‚Natur‘ ist ein höchst abstrakter Begriff, der durch sukzessive Abstraktionsschritte gewonnen wurde als dasjenige, das hinter dem konkreten Einzelding und Einzelvorgang steht, das aber deshalb andererseits auch das Wesen dieses Einzeldinges und Einzelvorganges ausmacht und bewirkt, dass etwas so ist, wie es ist, und so abläuft, wie es abläuft. ‚Natur‘ als Zusammenfassung aller Allgemeinbegriffe und Prinzipien ist nicht das Erschaffene, die Schöpfung (etwa in platonischem oder in christlichem Sinne), sondern es ist die der Schöpfung zugrunde liegende, aber gleichzeitig auch in ihr realisierte Schöpfungs-Planung. Sie ist sozusagen Schöpfung und Schöpfer in einem, weshalb sie etwa auch dort, wo es die Vorstellung eines Schöpfergottes nicht gibt, in personifizierter Form auftritt, als handelnde, ordnende, bewahrende und überwachende Person ‚Natur‘; und so stellten die aufgeklärten Griechen sie sich nach Platon auch nicht mehr ausschließlich als von einem oder mehreren Göttern erschaffen vor (wie es die christlichen Naturwissenschaftler des Mittelalters und der Neuzeit bis ins 19. Jahrhundert wieder taten).

Abstraktionen und ihr Ausdrucksmittel bei den Griechen

Durch Abstraktion werden im Geiste bestimmte übereinstimmende Eigenschaften von den Dingen ‚abgezogen‘ und zusammengefasst (verallgemeinert). Durch die Zusammenfassung so gewonnener abstrakter Begriffe wird immer weitergehende Vergleichbarkeit erreicht, wenn auch jeweils nur unter dem ausgewählten Aspekt (etwa dem des Lebendigseins: Lebewesen, Leben, Natur), woraufhin alle anderen Gesichtspunkte außer Betrachtung bleiben und ausgeschlossen werden. Erfassbar durch Abstraktion ist nur etwas gleichbleibend Wiederkehrendes; es muss also stets soweit vom Einzelding und Einzelvorgang abstrahiert werden, bis eine gleichbleibende und vergleichbare Stufe erreicht ist. Das durch Abstraktion Erkennbare ist also notwendig etwas, das dem konkreten Einzelfall zeitlich vor- oder logisch übergeordnet ist, das ‚vorher‘ oder ‚zuerst‘ da war.

Dieses Aufsteigen zu immer ‚früheren‘ und ‚allgemeineren‘ Ursachen, bis hin zu den allgemeinen ‚Prinzipien‘ (wie etwa Materie, Sein, Naturgesetze), erfordert ein sehr

großes Abstraktionvermögen, wie es die alten Griechen erstmals in der Geschichte der Menschheit – soweit Quellen und Zeugnisse einen solchen Schluss zulassen – in ausreichend und ungewöhnlich hohem Maße besaßen. Sie haben erstmals diese Schritte vollzogen, und sie haben sich dazu mit dem aus dem Demonstrativpronomen entwickelten (generellen) bestimmten Artikel ziemlich früh ein sprachliches Hilfsmittel geschaffen, mit dem man nicht nur Eigenschaften, Tätigkeiten und ganze Sätze, sondern auch solche durch Abstraktion gewonnenen ‚Ursachen‘ und Allgemeinbegriffe substantivieren und damit zu konkreten ‚Dingen‘ machen kann, über die Aussagen getroffen werden und die hinterfragt werden können. Solche abstrakten ‚Dinge‘ sind etwa das Kalte, das Warme, die Wärme; die Luft, das Feuer, das Wasser, die Erde, das Element; das Gewächs, das Sich-Bewegen, das Lebewesen, das Leben, die Natur. Die Ansätze hierzu finden sich bereits in den ältesten literarischen Schriftzeugnissen (Ilias, Odyssee), voll ausgebildet tritt dieser Artikel etwa ab der Mitte des 5. vorchristlichen Jahrhunderts auf.

Andere Sprachen wie etwa das klassische Latein hatten dieses Sprachmittel nicht entwickelt, dagegen semitische Sprachen (wie das Hebräische und das Arabische) sowie die spätmittelalterlichen Umformungen des Lateinischen und die daraus entstandenen und andere europäische Volkssprachen. – So musste Cicero etwa den griechischen Begriff τὸ θερμὸν übersetzen mit ‚id quod re vera calidum est‘, ‚that what is truly hot‘; wobei ‚id quod est‘ (‚das, was ist‘) den bestimmten Artikel wiedergibt und ‚re vera‘ (‚wirklich‘) anzeigt, dass es sich nicht um die spezielle (der = dieser), sondern um die generelle Verwendung handelt. – Sehr wahrscheinlich ist das einer der Gründe dafür, dass die Römer nur die Ergebnisse der griechischen Wissenschaften übernahmen, ohne selbst kreativ gewesen zu sein und die Wissenschaften weitergebildet zu haben (wie es später etwa im arabischen Kulturkreis geschah).

Kommunikation: Rhapsoden – Schrift – Literatur

Das sukzessive Wechselspiel zwischen Wahrnehmungsbereich (‚Natur‘) und abstrahierendem Sehen ist zwar an sich auch innerhalb einer kleinen menschlichen Gemeinschaft und ohne schriftliche Fixierung des Erfassten möglich. Doch sind diesem Wechselspiel dann eben auch enge Grenzen gesetzt, zumal Kommunikabilität des Wissens Voraussetzung für Wissenschaft ist; zur vollen Wirksamkeit und schnellen sukzessiven Entfaltung kann es nur dann kommen, wenn die einzelnen Etappen auf mobilen Trägern und von jedem Kundigen lesbar fixiert sind, so dass sie eine weite Verbreitung finden können. Es setzt also eine Schrift voraus, die Wörter vollständig Laut für Laut und unmissverständlich mittels einfacher Ideogramme wiedergibt. Eine Schrift, die alle diese Bedingungen erfüllte und mit einer begrenzten, kleinen Anzahl von Ideogrammen statt Bildern die einzelnen sämtliche Laute (Konsonanten und Vokale) wiedergibt, war erstmals um 1000 v. Chr. aus der phönizischen Bilderschrift für das Griechische entwickelt worden.

Schreiben und Lesen war damit auch sehr viel leichter zu erlernen, schriftlich Aufgezeichnetes nicht mehr allein einem kleinen Kreis von Eingeweihten erkennbar – wie in den benachbarten assyrisch- babylonischen und ägyptischen Kulturbereichen, wo nur die königlichen Priester, Archivbeamten und Schreiber dazu in der Lage waren. Die großen Epen des 9./8. Jahrhunderts, Ilias und Odyssee, wurden zwar in der Öffentlichkeit der Polis und der Höfe mündlich von Rhapsoden vorgetragen („gesungen“) ihre Komposition setzt aber trotz der gebundenen Sprache schriftliche Fixierung voraus, wenn auch eine schriftliche Verbreitung für die Zeit vor dem 7. Jahrhundert umstritten ist.

Handelte es sich nicht um bloße Archivierungen und Kodifizierungen auf Stein oder Holz, so schrieben die frühen Griechen auf Leder und Rinde sowie wohl seit dem 8. Jahrhundert mehr und mehr auf aus Ägypten importiertem Papyrus.

Von Anaximandros stammt die erste Prosaschrift, vermutlich schon mit dem später häufigen Titel Περὶ φύσεως („Über Natur“; im Lateinischen: „De rerum natura“). Ob sie weit über seine engere Heimat hinaus bekannt wurde, ist zweifelhaft; denn erst ab dem 5. Jahrhundert kann man von frei zugänglicher „Literatur“ als auch materiellem Besitz sprechen. Platon berichtet (Apologia 26D) für das ausgehende Jahrhundert, dass die Schriften des Anaxagoras im Athener Theater für eine Drachme zu erwerben waren.

Aber die als Wegbereiter der Wissenschaft bedeutenden Denker Hesiodos, Xenophanes, Parmenides und Empedokles hatten ihre Gedanken ebenfalls in die gebundene Sprache des epischen Lehrgedichtes gefasst und so für deren (unverfälschte) Verbreitung durch eigenen oder fremden Vortrag gesorgt. Bis auf Parmenides reisten sie auch als Rhapsoden durch die griechischen Lande; und die Protagonisten einer Wissenschaft von der Natur Thales, Anaximandros, Anaximenes, (Hekataios) und Leukippos stammten alle aus Milet, so dass sie auch ohne persönliche Bekanntschaft und weite Verbreitung ihrer Prosaschriften die Vorstellungen des anderen kennenzulernen und auf einander Bezug zu nehmen vermochten.

Geistige Zentren und Schulen

Die politischen Umwälzungen im Zuge der Westexpansion des Lyder- und Perserreiches bis hin zum Jonischen Aufstand der griechischen Städte (500–494), der in die Perserkriege mündete (aus denen Athen als politische und kulturelle Großmacht hervorging), hatten viele Griechen veranlasst, die engere jonische Heimat zu verlassen und in den Kolonien des Westens neue Freiräume für ihr Denken zu suchen – das sie in der noch vorliterarischen Phase dadurch auch verbreiten konnten:

- Xenophanes verließ Kolophon um 545 und ließ sich in hohem Alter im unteritalienischen Elea nieder, wo er eine eigene Schule gründete und den einheimischen Parmenides zu seinem bedeutendsten Schüler heranzubildete, dessen Schüler Zenon

mittels der berühmten Paradoxien die umstrittene, aber damals unwiderlegliche Ontologie seines Meisters abzusichern suchte. (Beide hielten sich auch zeitweilig in Athen auf.)

- Um 530/25 verließ Pythagoras seine Heimat Samos, ging nach Unteritalien und gründete in Kroton eine religiös-philosophische Gemeinschaft, aus der heraus später besonders die Mathematik große Förderungen erfuhr. Pythagoreer wirkten vor allem in Tarent, Metapont und Syrakus am Hofe Dionysios I und II (ab 405), wo Platon mit ihnen zusammentraf.
- Leukippos verließ Milet und ging nach Elea, wo aus der Konfrontation seiner in Milet erlernten Naturphilosophie mit eleatischer Ontologie die Atomistik entstand, für deren Verbreitung er um 450 im thrakischen Abdera eine eigene Schule gründete, in der der heimische Demokritos sein berühmtester Schüler wurde.
- Um 460 kam Anaxagoras von Klazomenai nach Athen, wo er jedoch um 430 wegen seiner aufklärerischen Lehren der Gottlosigkeit angeklagt wurde, so dass er sich nach Lampsakos absetzen musste.

Dennoch war Athen seit der Mitte des 5. Jahrhunderts kulturelles und geistiges Zentrum der griechischen Welt, das eine große Anziehungskraft auf deren geistige Elite ausübte, die hier teilweise auch als Lehrer eigener kleiner Schulen wirkte (vor allem die Sophisten). Durch die öffentlichen Aufführungen der Tragödien und Komödien von Aischylos, Sophokles, Euripides, Aristophanes und anderen war hier auch die gesamte freie Bevölkerung in die Diskussion des neuen aufklärerischen Denkens einbezogen, das, von der politischen Führung (Perikles) gefördert, in der Konfrontation mit konservativen, altgläubigen Vorstellungen der Opposition nur reifen konnte. So sollte der gegen Anaxagoras angestrebte Prozess wie beim Sophisten Protagoras auch in erster Linie dem ihnen befreundeten Perikles gelten, dem man politisch nichts anhaben konnte. Ein ähnliches Schicksal erlitt hier später nicht nur Sokrates, der sich aus ethischen Gründen als einziger dem Prozess stellte und zum Tode verurteilt und hingerichtet wurde (399), sondern auch Aristoteles aus Stageira (384–322), der als ehemaliger Schüler Platons hier 334 mit Unterstützung des makedonischen Statthalters eine eigene Schule, das ‚Lykeion‘ (auch ‚Peripatos‘ genannt), gegründet hatte. Auch er war nach dem Tode des in den griechischen Städten verhassten Alexander als Sohn eines makedonischen Hofarztes, Erzieher des Prinzen Alexander und Günstling des Statthalters *persona ingrata* geworden und deshalb von der nationalistischen Opposition (unter Führung des Redners Demosthenes) angeklagt worden (323).

In Athen war von dem einheimischen Platon um 375 auch eine erste stationäre und über den Tod ihres Gründers hinaus bestehende Philosophenschule, die ‚Akademie‘, gegründet worden, an der neben (platonischer, später neuplatonischer, aber auch aristotelischer) Philosophie insbesondere die Mathematik gepflegt wurde. Sie bestand etwa 900 Jahre, bis sie von Kaiser Justinianus im Jahre 529 als Bollwerk nicht-christlicher

Philosophie geschlossen wurde. Von nicht ganz so langer Dauer waren die hier 307/306 zur Verbreitung seiner auf einem Atomismus beruhenden Lebenslehre von Epikuros gegründete und bis etwa 400 n. Chr. bestehende Schule – mit der als einer Art Lehrzentrale allerdings die an vielen Orten der griechisch-römischen Welt eingerichteten Epikureer-Zirkel in Kontakt standen – und die um 300 von Zenon von Kiton gegründete Schule der Stoa (in der 1. Hälfte des 1. Jahrhunderts v. Chr. unterhielt der Stoiker Poseidonios in Rhodos eine eigene Schule), deren Lehren spätestens im 3. Jahrhundert n. Chr. vom Neuplatonismus aufgesogen wurden. Solange die Schulen in Athen bestanden, wirkten bedeutende Stoiker (Seneca, Marcus Aurelius) und Epikureer (Lucretius) auch in Rom.

Das ‚Lykeion‘ wird nach der Eroberung Athens durch Sulla (86 v. Chr.) nicht mehr als Schule erwähnt. Die ehemals athenischen Peripatetiker wirkten seitdem in Rom. Die dort von Andronikos von Rhodos veranstaltete erste Aristoteles-Ausgabe löste eine wahre Renaissance aristotelischer Philosophie und Wissenschaft aus, die vor allem an der von Ptolemaios I. Soter im 3. Jahrhundert v. Chr. in Alexandria gegründeten und von seinem Nachfolger zur bedeutendsten antiken Forschungsstätte ausgebauten ‚Museion‘ gepflegt wurden, das erst im Jahre 642 nach der Eroberung durch die Araber zerstört und aufgehoben wurde. Seine riesigen, fast 1 Million Rollen umfassenden Buchbestände (teilweise untergebracht im ‚Serapeion‘) hatten allerdings erste große Verluste bereits bei Caesars Eroberung Alexandrias erlitten (48/47), die in der Kaiserzeit durch die Zusammenlegung mit der Bibliothek Pergamons noch einigermaßen hatten ausgeglichen werden können, unwiderbringliche Einbußen aber beim Brand des ‚Museion‘ (273) und der Zerstörung des ‚Serapeion‘ durch den aufgewiegelten christlichen Mob (390); den größten Teil der der Erhebung zur Residenzstadt des Restbestände hatte Kaiser Justinianus dann nach Konstantinopel überführt, wo im (ost-)römischen Reiches (seit 330) ein neues Zentrum der Gelehrsamkeit entstanden war.

Von Anfang an waren am ‚Museion‘ auch experimentelle medizinische, naturwissenschaftliche und technische sowie mathematische Forschungen betrieben worden. Hier wirkten unter anderen:

- im 3. Jahrhundert v. Chr. Erasistratos und Herophilos, die Begründer der empirischen beziehungsweise dogmatischen Schule der Medizin, aber auch im 7. Jahrhundert n. Chr. Paulos von Aigina, dessen kompilatorisches Handbuch der praktischen Medizin im 9. Jahrhundert ins Arabische und Lateinische übersetzt wurde und starken Einfluss auf die Medizin des Mittelalters ausübte;
- in den ersten beiden Jahrhunderten die Mathematiker Euklid, Aristarchos von Samos, Hypsikles und Apollonios von Perge, die Ingenieure Ktesibios und Philon von Byzanz sowie der Universalgelehrte Eratosthenes, der von 246 bis zu seinem Tode (um 205) Vorsteher der Bibliothek war, und standen andere wie Archimedes und Hipparchos in engem Kontakt mit den dortigen Gelehrten;

- in römischer Zeit Heron von Alexandria (1. Jahrhundert), Klaudios Ptolemaios (2. Jahrhundert), Diophantos (3. Jahrhundert), Pappos, Theon von Alexandria und seine Tochter Hypatia (4. Jahrhundert) – sowie eine große Zahl von Kommentatoren mathematischer, naturwissenschaftlicher und philosophischer Schriften.
- Die (neuplatonischen) Philosophen wechselten häufig als Lehrer nach Athen (beispielsweise Proklos Diadochos) und umgekehrt, wobei die ‚alexandrinische Schule‘ weniger spekulativ ausgerichtet war. – Plotinos ging nach Rom und gründete dort nach 242 eine eigene neuplatonische Schule, die von Porphyrios und Iamblichos bis um 320 fortgeführt wurde.

Ein weiteres, weniger bedeutendes Wissenschaftszentrum mit großer Bibliothek war von den Attaliden in Pergamon eingerichtet worden; hierher stammten unter anderen Galenos (2. Jahrhundert n. Chr.) und Oreibasios (4. Jahrhundert), die Leibärzte der Kaiser in Rom beziehungsweise Konstantinopel wurden.

Wissenschaftssprache

Innerhalb der Philosophie und der Wissenschaften blieb das Griechische die Wissenschaftssprache nicht nur in Griechenland und in den hellenisierten Kulturgebieten des ehemaligen Alexanderreiches, auch nachdem sie römische Provinzen geworden waren, sowie im späteren Oströmischen Reich (Byzanz), sondern auch in den römischen Stammländern und vor allem in Rom selbst – trotz der Bemühungen etwa eines Cicero um die Lateinisierung der Begriffswelt griechischer Philosophie. Hierdurch wurde eine nicht von Sprachbarrieren behinderte Migration von Wissenschaftlern und ihrer Wissenschaft (aber auch etwa der christlichen Religionslehren) durch das gesamte Römische Reich und seine Nachfolgestaaten ermöglicht.

In lateinischer Sprache wurden deshalb lediglich enzyklopädische Kompendien verfasst (von Varros *Disciplinae*, Vitruvs *De architectura*, Plinius' *Naturalis historia*, Senecas *Naturales quaestiones* und Celsus' Enzyklopädie, aus der sich nur der medizinische Teil erhalten hat, bis hin zu Cassiodors *Institutiones* sowie Isidors von Sevilla *Etymologiae* und *De rerum natura*) oder nach hellenistischen Vorbildern (Aratos' *Phainomena* und anderes) dichterische Werke (Lucretius' *De rerum natura*, Manilius' *Astronomica* und Martianus Capellas *De nuptiis Mercurii et Philologiae*) – wobei allerdings auch im griechischen Sprachraum während der späteren Kaiserzeit, vor allem in praktischen Disziplinen der Medizin und Astrologie, weitgehend kompilatorisch gearbeitet wurde. Ins Lateinische übersetzt wurde lediglich die erste Hälfte des Dialogs *Timaios*, in dem Platon seine mathematische ‚Naturwissenschaft‘ entwickelt hat, durch den Neuplatoniker Chalkidios (4. Jh. n. Chr.) – hieran orientierte sich deshalb später im lateinischen Westen die christliche Naturwissenschaft des Mittelalters. Ein Bedarf an Übersetzungen und monographischen Darstellungen in lateinischer Sprache bestand aufgrund des Rückgangs des Griechischen als Bildungssprache offensichtlich erst seit dem ausgehenden 5. Jahrhundert n. Chr., als Boethius (480–524) seine Handbücher der mathematischen Disziplinen des Quadriviums verfasste (in der Originalfassung erhalten: Arithmetik und Musiklehre, in mittelalterlichen Fassungen: Geometrie, verloren: Astronomie) sowie die über die logischen Schriften nicht hinaus gediehene Übertragung und Kommentierung der Werke des Aristoteles in Angriff nahm. Diese Übersetzungen bildeten dann die Grundlage der Erneuerung der Wissenschaften im lateinischen Westen insbesondere seit der Karolingischen Renaissance des ausgehenden 8. Jahrhunderts, der sich zwar auch eine Erneuerung der Medizin anschloss (programmatisch im so genannten Lorsch'schen Arzneibuch, um 795), die aber

daraufhin im wesentlichen mathematisch und logisch (Scholastik) ausgerichtet war, bevor seit dem 11. Jahrhundert auch die naturwissenschaftlichen und die über Plinius hinausgehenden naturhistorischen Inhalte durch Übersetzungen der griechischen Werke vorwiegend auf dem Umweg über das Arabische (auf Sizilien auch direkt) wieder bekannt wurden.

Der Überlieferungsweg über die muslimisch-arabische Rezeption war eingeleitet worden durch die Ausbreitung des Christentums in den Osten mit griechischsprachiger Bildungsschicht, das seit dem 4. Jahrhundert hier eine chismatische Sonderentwicklung erfuhr (Nestorianer gegen Arianer, Dyophysitismus der Christologie gegen alexandrinischen Monophysitismus). In Konkurrenz zu Alexandria wurden deshalb nach dem Konzil von Nikäa (325) Schulen in Syrien – unter anderen in Antiochia, Nisibis, Edessa (bis 489) und Emesa – sowie im persischen Gondischapur (mit Hospital und Ärzteschule) gegründet, wo die Lehrer der Athener Akademie nach der Schließung durch Justinian für einige Jahre Aufnahme fanden. Wegen der Durchdringung christlicher Lehren mit griechischer Philosophie wurden hier unter der Leitung von nestorianischen Christen auch Philosophie und Wissenschaften gelehrt, wozu volkssprachige Übersetzungen anfangs theologischer, später auch philosophischer und wissenschaftlicher Schriften ins Syrische (und Persische) vorgenommen wurden. Nach der Eroberung durch die Araber (637) ging die Rolle dieser nestorianischen Schulzentren nach und nach auf die in Bagdad und anderen arabischen Städten gegründeten Schulen über. Den anfänglichen arabischen Übersetzungen der griechischen Schriften aus dem Syrischen und Persischen folgten hier später auch solche direkt aus dem Griechischen.

Griechische Mathematik

Die Ansätze zu einer Mathematik mit allgemeinen Aussagen (Sätzen) über geometrische Sachverhalte, die zudem durch ein Beweisverfahren abgesichert werden (hier das der Deckungsgleichheit), finden sich erstmals bereits bei Thales (Satz des Thales, Satz des Pythagoras, dessen Sachverhalt als solcher für Sonderfälle – Zahlentripel – auch schon den Babyloniern und Indern bekannt gewesen waren). Im Anschluss an die parmenideische Ontologie und Zenons Paradoxien wurden für die Mathematik das indirekte Beweisverfahren (Widerlegung des Gegensatzes der zu beweisenden Aussage) sowie die axiomatische Methode entwickelt. Als Prinzipien (Axiome, Postulate) gelten hier einfache und jedermann einleuchtende Sachverhalte und Sätze, die ‚gesetzt‘ werden, da sie nicht beweisbar sind. (Der lange Streit um die scheinbare Beweisbarkeit des Parallelen-Axioms von Euklid veranlasste im 19. Jahrhundert schließlich die Erstellung ‚nicht-euklidischer‘ Geometrien.)

Die Entdeckung der Irrationalität von Quadratseite und -diagonale durch Pythagoreer führte einerseits zu ersten zahlentheoretischen Abhandlungen, andererseits wegen

der damit verbundenen ersten ‚Grundlagenkrise‘ zur geometrischen Algebra; ihre Entdeckung der ganzzahligen Verhältnisse harmonischer Tonfolgen zur Proportionslehre. (Zahlen galten als aus ‚Einheiten‘ zusammengesetzt, weshalb die griechische Mathematik statt mit Brüchen mit Proportionen ganzer Zahlen arbeitete.) Erste streng axiomatisch-deduktiv aufgebaute *Elemente* der ebenen Geometrie mit Definitionen, Axiomen und Postulaten entstanden im ausgehenden 5. Jahrhundert; die Methode wurde in der Platonischen Akademie verfeinert (hier schuf Theaitetos eine erste Stereometrie) und erreichte ihren Höhepunkt in den *Elementen* des Euklid (um 300 v. Chr.), in die ältere Schriften aufgingen. Näherungsmethoden (Neusis und anderes) waren verpönt, nur mit Zirkel und Lineal entsprechend den geometrischen Prinzipien Kreis und Gerade konstruierbare Sachverhalte galten als beweisbar.

Auf dieser Basis wurde eine Kegelschnittlehre (Aristaios, Apollonios von Perge), Trigonometrie (Hipparchos, Menelaos, Ptolemaios), Harmonik (Aristoxenos, Ptolemaios, Boethius) und Zahlentheorie (Nikomachos von Gerasa, Boethius) entwickelt. Archimedes bestimmte den Inhalt von nicht durch ebene Flächen begrenzten Körpern und die Verhältnisse von Flächen und Volumina derartiger Körper und von Umfang und Durchmesser (des Kreises: die Größe π), wozu er die Exhaustionsmethode entwickelte (zur Heuristik bediente er sich des von ihm mathematisch abgeleiteten Hebelgesetzes). Einen späten Höhepunkt erlebte die Algebra im Werk des Diophantos von Alexandria (3. Jahrhundert n. Chr.).

Die praktische Mathematik der Flächen- und Volumenberechnung erfuhr Förderung durch Heron und Pappos von Alexandria sowie die römischen Agrimensoren; hier befruchteten sich ältere approximative Rechenverfahren (der Ägypter und Babylonier) und strenge griechische Mathematik. Neben der Geographie als Kartographie und astronomische Ortsbestimmung – die Kugelgestalt der Erde war seit Mitte des 5. Jahrhunderts v. Chr. bekannt – (Dikaiarchos, Eratosthenes, Marinus, Ptolemaios) zählten zur Mathematik auch die Disziplinen, die vom bewegten Körper abstrahierte Bewegungen durch analytische Zerlegung auf einfache, immer wieder auftretende Komponenten reduzierten, die ihrerseits mathematische Berechnungen erlaubten: die aus der (Theater-)Perspektive entwickelte geometrische Optik (Euklid: Katoptrik; Ptolemaios: Dioptrik), die Mechanik der Hebezeuge und Automaten (Archytas, Aristoteles, Archimedes, Heron) und die Astronomie (Eudoxos: System homozentrischer Sphären, Apollonios von Perge: Epizykeltheorie, Hipparchos: Exzentertheorie) mit der von Ptolemaios um 150 n. Chr. entwickelten, bis um 1600 gültigen Synthese für ein geozentrisches Weltbild, die durch die Kombination gleichförmig rotierender Kreise (vielmehr Sphären) mittels hipparchscher Trigonometrie recht genaue Vorausberechnungen der Planetenörter erlaubte. Hierzu war seit dem ausgehenden 5. Jahrhundert v. Chr. ein System der Himmelskoordinaten entwickelt worden.

Aristotelische Physik

Seit Aristoteles galt die Mathematik und galten deshalb diese mathematischen Disziplinen nicht als ‚(Natur-)Wissenschaft‘, sondern als ‚Künste‘, weil ihre Prämissen (Prinzipien) nicht empirisch der Natur entnommene, sondern ‚künstlich‘ vom Menschen gesetzte (Axiome) sind. Hatte Platon noch die Mathematik als abbildenden Bereich zur Vermittlung zwischen seienden ‚Ideen‘ und dem werdenden (und daraufhin nicht erkennbaren), dinglichen Bereich angesehen und deshalb eine idealistische, mathematische Naturwissenschaft entwickelt (mit rein mathematischen Deduktionen und einer auf den regulären Körpern beruhenden Vier-Elementen-Lehre), so verlegte sein Schüler Aristoteles die ‚Ideen‘ als ‚Form‘ und ‚Wesen‘ in die konkreten, sinnlich wahrnehmbaren Dinge selbst. Hatte Platon wegen der Unmöglichkeit der Verwirklichung idealer mathematischer Gesetzmäßigkeiten und Formen in der sinnlichen Welt streng zwischen dieser und dem Reich der Ideen und der Mathematik unterschieden und nur letzterem bleibendes Sein und Erkennbarkeit zugesprochen, so sah Aristoteles gerade deshalb die Mathematik als ungeeignet an, Erkenntnisse über die Natur des sinnlich wahrnehmbaren Seins zu erlangen. Die Physik, der diese Aufgabe zukam, war für ihn und seitdem daraufhin eine qualitative Wissenschaft, deren Prinzipien empirisch zu gewinnen seien (wenn sie auch wie jede Wissenschaft dem Muster der Mathematik als logischem System folge: ihre Prinzipien entsprächen als Prämissen den Axiomen). Die Mathematik diene in den genannten Disziplinen lediglich der Beschreibung von nicht-wesentlichen Eigenschaften – wie der Bewegung –, dürfe dabei aber nicht den wesentlichen Eigenschaften und Verhaltensweisen widersprechen. So hatte die Astronomie, weil die Physik der Himmelsmaterie (Äther) allein rotierende Sphärenbewegungen zulasse, sämtliche Bewegungen am Himmel als Kombinationen gleichförmiger Kreisbewegungen darzustellen – ohne allerdings damit etwas über die Physik der Gestirne aussagen zu können.

In der Wahl der Prinzipien (Ursachen) der Dinge und Prozesse sieht Aristoteles sich am Ziel einer historischen Entwicklung. Die parmenideische Ontologie hatte dem Hylozoismus der sich wandelnden Stoffe in der Natur ein Ende gesetzt; Erkennbarkeit setze gleichbleibendes Sein voraus. Daraufhin waren im 5. Jahrhundert die sich dem Augenschein nach wandelnden und vergehenden Dinge als Mischungen und Trennungen von gleichbleibenden Teilchen gedeutet worden: Empedokles nahm vier Partikelarten an (die späteren ‚Elemente‘ Erde, Wasser, Luft und Feuer), Anaxagoras unendlich viele verschiedene, jeweils bis ins Unendliche teilbare Stoffe (mit der Grundaussage: „alles ist in allem enthalten“) und die Atomisten Leukippos und Demokritos unendlich viele, nur in der Gestalt unterschiedene und ‚nicht teilbare‘ Teilchen, die ‚Atome‘ (= ‚Nicht-teilbares‘). Die zur Mischung und Entmischung erforderliche Bewegung solcher unveränderlicher Teilchen sollte nach Empedokles durch die kosmischen Kräfte ‚Liebe‘ und ‚Streit‘ (Sympathie und Antipathie) bewirkt werden, nach Anaxa-

goras durch den Weltgeist (der anfängliche Wirbel setze sich dann ‚mechanisch‘ fort) und nach den Atomisten durch die (planlose) Eigenbewegung der Atome und durch sie verursachte Stöße. Die ersten beiden unterschieden also ein aktives und ein passives Prinzip, sie waren Dualisten; die Atomisten vereinten beide, ließen dadurch aber ein bewusstes und planvolles Handeln in der Natur nicht zu. Hier setzte vor allem Platon mit seiner Kritik an; gemäß der pythagoreischen Lehre, wonach die Prinzipien der Dinge die Prinzipien der Mathematik seien, konstruierte er ein Reich mathematisch strukturierter Ideen, die Muster und ‚Form‘ für die sinnlichen Dinge sein sollten. Damit war aber wiederum dieser Aspekt überbetont worden.

Aristoteles unterschied deshalb zwischen Materie (als Prinzip der Veränderlichkeit im Rahmen der ‚Natur‘ des Dinges) und Formprinzip, wobei es zusätzlich eines ‚Bewegers‘ als Ursache für diese bestimmte Formgebung (oder -wegnahme) bedürfe – sowie eines ‚Zieles‘/‚Zwecks‘, wozu dies geschehe. Jedes Ding und jeder Prozess beruhe auf diesen (ihm jeweils spezifischen und eigentümlichen) vier Prinzipien/Ursachen, der *causa materialis*, *causa formalis*, *causa movens* (allein diese wird von der modernen Physik seit Immanuel Kant noch als ‚Ursache‘ anerkannt) und der *causa finalis*. Dabei sollten die ‚natürlichen Dinge‘ sich spontan bewegen, weil sie das Prinzip zur ihnen eigentümlichen Bewegung in sich selbst hätten (bei den Lebewesen in Form der Seele), während die ‚künstlichen‘ Dinge stets von außen, gewaltsam und ‚künstlich‘, durch den Menschen bewegt würden, die sich dazu allerdings auch der ‚natürlichen‘ Ursachen bedienen, und deshalb nicht im Rahmen der Physik erklärbar seien. (Mechanik, Technik sind deshalb mathematische ‚Künste‘.)

Aristoteles unterschied auch vier Arten von Bewegung, die Ortsbewegung (allein diese wird noch von der modernen Physik anerkannt), die qualitative Veränderung, das quantitative Wachsen und Schwinden sowie das essentielle Entstehen und Vergehen. Letzteres tritt ein, wenn eine für das betreffende Ding ‚wesentliche‘ Eigenschaft verändert wird, so dass es nicht mehr dieses Ding ist. Ist dagegen die veränderte Eigenschaft nicht-wesentlich, so ändert sie sich lediglich an dem Ding, das als solches unverändert bleibt. Durch das Umschlagen einer der wesentlichen Eigenschaften der vier irdischen Elemente, die – in der Regel als Mischung – die ‚materielle‘ Grundlage der sinnlichen Dinge bilden (Erde: trocken und kalt, Wasser: feucht und kalt, Luft: feucht und warm, Feuer: trocken und warm), wandelt sich das betreffende Materie-Form-Konglomerat in ein anderes Element. Die dazu erforderliche gemeinsame, unveränderliche ‚Materie‘ aller vier Elemente kommt nach Aristoteles allerdings niemals ‚formlos‘ vor, sondern stets schon in der ‚Form‘ eines dieser Elemente. – Die im 3./4. Jahrhundert im hellenistischen Ägypten entstandene griechische (das heißt ‚wissenschaftliche‘) Alchemie, die diese Elementenlehre als naturphilosophisches Fundament übernahm, ging jedoch davon aus, dass die (unedlen) Stoffe durch entsprechende Manipulationen, mit denen die ‚Natur‘ überlistet und besiegt werde, ihrer sämtlichen Eigenschaften beraubt werden könnten, so dass der dann eigenschaftslosen (schwarzen) Materie die gewünschten

Eigenschaften (vornehmlich des Goldes und Silbers) als Ferment übertragen werden könnten. (Der bedeutendste namentlich bekannte Alchemist der Antike war Zosimos von Panopolis aus dem 4. Jahrhundert.)

Die spontane Ortsbewegung der Elemente erfolge zu dem ihnen ‚natürlichen‘ Ort als Ziel; für die ‚schweren‘ Elemente sei dies das Zentrum der Welt, so dass sich die Geozentrik aus der aristotelischen Elementenlehre ergibt (Stoa und Neuplatonismus setzten dafür die von Gott vorgesehene ‚Ordnung‘). Den Abschluss des endlichen Kosmos bilde der allein kreisbewegte und sonst eigenschaftslose (deshalb auch unveränderliche) Äther als fünftes Element (‚Quintessenz‘), der als Körper allein rotierende konzentrische Sphären darstellen könne: Die Himmelsbewegungen müssten deshalb aus Drehungen (‚Revolutionen‘) solcher Äthersphären resultieren. (Diese Vorstellung wird erst durch den deutschen Astronomen Johannes Kepler nach 1600 revidiert.) – Dieser Dualismus von wandelbarer irdischer und unwandelbarer himmlischer Welt wurde zwar in der stoischen Physik und im Neuplatonismus gelehrt, kam jedoch christlichen Vorstellungen entgegen und blieb letztlich im Rahmen eines modifizierten Aristotelismus bis ins 17. Jahrhundert erhalten.

Biowissenschaften

Die empedokleische Elementenlehre, insbesondere in der aristotelischen Gestalt mit den ihnen zugewiesenen Grundeigenschaften, und die aristotelische Ursachenlehre eigneten sich auch gut für eine wissenschaftliche Behandlung des Tier- und Pflanzenreiches. Das morphologische Form-Prinzip lieferte Aristoteles zusammen mit seiner Kategorienlehre Klassifikationsmerkmale, die er allerdings über die Erfassung von Arten hinaus noch nicht in einer einheitlichen Systematik des Tierreiches auswertete, sondern nur benutzte, um gleichartige Fortpflanzungs-, Verhaltens- oder Ernährungsweisen, Körperbau, Organe und anderes artübergreifend gemeinsam behandeln und von unähnlichem unterscheiden zu können (Diagnostik). Auch sein Schüler, Freund und Nachfolger in der Schulleitung, Theophrastos von Eresos (371–287), der die von Aristoteles nicht in eigenen Schriften bearbeitete Botanik nachlieferte, hat nur die niedersten (Arten) und die allgemeinsten Gruppen der Pflanzen (Bäume, Sträucher, strauchartige Pflanzen, Kräuter) eingeführt. Er nennt etwa 500 Pflanzenarten, Aristoteles etwa 550 Tierarten, die er wie bereits Demokritos in Blutlose und Bluttiere unterteilte.

Für die Biowissenschaften – einschließlich der Medizin seit Hippokrates – spielte daneben die Lehre vom ‚Pneuma‘ als dynamischem Lebensprinzip (in der Stoa auch des Makrokosmos) eine große Rolle. Während Aristoteles seinen Transport durch die ihm blutlos geltenden Arterien und linken Herzkammern erfolgen ließ (am Puls fühlbar), war für Galenos und die Pneumatiker (wie für Empedokles) das Blut sein Vehikel. Das Herz galt durchaus als Zentralorgan, das deshalb sehr früh entstünde (als

„springender Punkt“ von Aristoteles in kurz bebrüteten Hühnereiern entdeckt); in ihm wird nach Aristoteles das in der Leber entstehende Blut gekocht, im Gehirn dagegen gekühlt, während Galenos das gesamte Gefäßsystem in die Stoffwechselphysiologie und den Transport durch das Blut einbezog – ohne einen Kreislauf des Blutes anzunehmen (das Blut trete durch die poröse Herzscheidewand von der rechten in die linke Herzkammer). Das Pneuma galt auch als Mittler zwischen göttlichem und irdischem Leben und gab dadurch im römischen Synkretismus die aitiologische Grundlage für die Magie.

Förderung erfuhr die Botanik in der Antike insbesondere wegen der Nutzung vieler Pflanzen zu Heilzwecken, was zwar auch bei Theophrastos und Plinius eine Rolle spielte, systematisch aber erstmals im 1. Jahrhundert n. Chr. von dem in Rom wirkenden Pedanios Dioskurides aus Anazarba (Kilikien) in seinem Werk über die *materia medica* behandelt wurde. Neben der Erfahrung gab die Säftelehre die theoretische Grundlage der Arzneimittellehre. Sie wurde in der Medizin zur Ergänzung der hippokratischen Diätetik mit der aristotelischen Elementenlehre zu einer seit Galenos kanonisierten umfassenden Humoralpathologie verknüpft und besagt, dass die Störung des Gleichgewichts der vier Körpersäfte, deren Übergewicht sich auch in den vier Temperamenten äußern soll (Blut: Sanguiniker, Schleim: Phlegmatiker, gelbe Galle: Choleriker, schwarze Galle: Melancholiker), Krankheit bedeute und durch ausgleichende Therapie (Diät, Drogen aus den drei Naturreichen, Ableitung überschüssiger Säfte) beseitigt werden müsse – was allerdings nur Maßnahmen sein könnten, die „Natur“ eines Körpers bei der Wiederherstellung (Gesundung) oder Verwirklichung zu unterstützen. – Die Gemeinsamkeiten überbetonende „Form“-Lehre des Aristoteles führte zur Gleichsetzung der inneren Anatomie höherer Lebewesen; die der Medizin zugrunde gelegte Anatomie blieb deshalb trotz der großen Fortschritte in späthellenistischer Zeit, als in Alexandria die Sektion von Leichen erlaubt war, Tieranatomie (Schweine, Affen). Die Chirurgie erfuhr wesentliche Impulse durch die Übernahme der Errungenschaften gleichzeitiger Mechanik der Hebezeuge. Risikoreiche tiefere Eingriffe (Steinschneiden) verbot allerdings die ärztliche Ethik („Eid des Hippokrates“); sie wurden den Badern überlassen.

„Natur“ – „Kunst“ / Naturwissenschaft – Technik

Die meisten im Alltag verwendeten technischen Möglichkeiten fanden die Griechen und Römer in ihrem Siedlungsraum und in den Nachbarkulturen bereits vor; Neuerungen im technischen Bereich sind auch durch Handel und Kriegszüge am ehesten interkulturell zu transferieren. Die Zeit spielte bei den einzelnen Arbeitsvorgängen in der gesamten vorabendländischen Technik auch kaum eine Rolle; großtechnische Projekte wurden in der Regel durch den Einsatz großer Heere unterprivilegierter Arbeiter geschaffen (was allerdings logistische Versorgungsprobleme ergab). Es hat sich auf die

Entwicklung der Technik insgesamt nivellierend und stagnierend ausgewirkt, dass zumindest in den Großreichen vom Mittelmeerraum bis China grundsätzlich kein Bedarf an zeit- oder arbeitssparender Technik bestand. Anders wurde die Sachlage aus den genannten Gründen in der griechischen Welt; dennoch ist auch deren Technik in erster Linie durch die intensivste Ausnutzung der relativ einfachen Errungenschaften und die Entwicklung von besonderen Fertigkeiten bei der Anwendung des Übernommenen geprägt.

Aus der Sicht des 19. Jahrhunderts hätte die Entwicklung der Naturwissenschaften zu einem gegenseitig befruchtenden Wechselspiel mit der Technik führen müssen; dass dieses nicht der Fall war, wurde dann auf das fast unbeschränkt zur Verfügung stehende Arbeiterpotential der Sklaven zurückgeführt, welche Sehwiese von der marxistischen Technikgeschichtsschreibung stereotyp übernommen wurde, ohne zu bedenken, dass die Möglichkeit einer Wechselwirkung eine sich von den abstrakten Naturwissenschaften unterscheidende Verwissenschaftlichung der Technik voraussetzt, wie sie erst mit dem 18. Jahrhundert einsetzte, wozu nun wieder die Umdeutung des Objekts der Naturwissenschaft Voraussetzung war, die seit dem ausgehenden 16. Jahrhundert vorgenommen wurde. Erst daraufhin konnte die Technik eine durch die Wechselwirkung dann nur geförderte Eigendynamik entwickeln.

Die griechisch-römische Antike sah zwar die menschliche Technik als Nachahmung der ‚Natur‘, nicht aber als vom Menschen nur in bestimmte Bahnen gelenkte ‚Natur‘ – wie das christliche Denken des Abendlandes, vorbereitet von spätantiken Kirchenvätern: Bereits Augustinus (354–430) rechtfertigte die Technik damit, dass Gott dem Menschen die ‚ars mechanica‘ verliehen habe, um die durch den Sündenfall erlittenen Mängel und auferlegten Strafen ausgleichen zu können. Der als Ebenbild Gottes erschaffenen Mensch vermöge damit den göttlichen Schöpfungsakt nachzuvollziehen und nachzuahmen, ja sogar seinen Bedürfnissen entsprechend zu vollenden. Die ‚Natur‘ konnte daraufhin umgekehrt analog einem menschlichen Schöpfungsakt (das heißt der Technik) gesehen werden (ansatzweise bei Ioannes Philoponos im 6. Jahrhundert).

Im Anschluss an Platon und Aristoteles bestand dagegen zwischen ‚Natur‘ und (menschlicher) ‚Kunst‘ der Artefakte eine ontologische Zäsur. ‚Technik‘ galt (wie dann im abendländischen Denken bis um 1600) als ‚Überlistung‘ der Natur; ein dazu erforderliches ‚Mittel‘ hieß griechisch ‚List‘: μηχανή (*mechanê*), welchen Begriff die Römer als Fremdwort (*machina*) übernahmen – ohne dass sich diese Einschätzung negativ auf das Ansehen der Ingenieure (‚Mechaniker‘, ‚Techniker‘) ausgewirkt hätte, das während der gesamten griechisch-römischen Antike sehr hoch war (wenn auch nicht das der Handwerker). ‚Natur‘-Wissenschaft (‚Physik‘) betraf aber nur das als eine Art biologisches Ökosystem aufgefasste Wesen und ‚natürliche‘ Verhalten der Dinge in der ‚Natur‘; jede gewaltsame (‚künstliche‘) Einflussnahme verändere diese soweit, dass nicht mehr

‚Natur‘, sondern nur noch menschliche ‚Kunst‘ bestehe und betrachtet werden könne. Der Gegensatz ‚gemäß der Natur‘ (natürlich)/‚gegen die Natur‘ (gewaltsam, künstlich) bildete die ontologische Grundlage für die Antinomie ‚Natur‘/‚Kunst‘ (griechisch: τέχνη = Technik).

Auch ein systematischer Eingriff in Form eines Experiments war daraufhin für die Wissenschaft von der ‚Natur‘ ohne Erkenntniswert und ist deshalb selten angewandt worden. Das Feld des Experimentierens und Probierens war dagegen die Technik, in der es teilweise mit großem Aufwand und staatlicher Unterstützung Anwendung fand, literarisch überliefert für Syrakus während des ersten Drittels (Pythagoreer) und gegen Ende des 3. Jahrhunderts v. Chr. (Archimedes) im Zusammenhang mit dem Bau von Kriegsmaschinen, für das Museion in Alexandria zur Zeit der ersten Ptolemäer (Ktesibios, Philon von Byzanz) im Zusammenhang mit pneumatischen Maschinen, im 2. nachchristlichen Jahrhundert in der Optik und beim Bau astronomischer Instrumente (Ptolemaios) sowie für die Alchemie. Erst seitdem christliches Denken die Welt nicht mehr als Lebewesen, sondern als von Gott konstruierte Maschine („machina mundi“) auffasste und seit zu Beginn des 16. Jahrhunderts (Galileo Galilei, Johannes Kepler) auch natürliche Bewegungen statt durch innere durch die Einwirkung äußerer Kräfte (wie bis dahin nur in der Technik) verursacht werden, die quantitativ erfasst werden können, hielt neben dem Quantifizieren und Mathematisieren auch das Experimentieren Einzug in die Wissenschaft von der Natur.

Neuerungen in der griechisch-römischen Technik

Neuerungen der griechischen Technik beruhen vor allem auf der Anwendung von Mathematik, insbesondere wenn die Geometrie leitende Grundlage der Konstruktion war.

Auf diese Weise kam es zu ersten Konstruktionen von Stundenlinien auf Sonnenuhren: Anaximandros projizierte die als kreisförmig angenommenen Sonnenbahnen der verschiedenen Monate in die innere Hohlfläche einer Kugelschale und bestimmte so den Zeitpunkt der Sonnenwenden und Tagundnachtgleichen. Eine Unterteilung dieser Linien in jeweils 12 Abschnitte entsprechend den von den Ägyptern übernommenen temporären Tagstunden, so dass der Schatten der im Kugelzentrum befindlichen Spitze des Gnomon die Stunde, seine Tageslinie die Jahreszeit anzeigt, erfolgte wohl erst gegen Ende des 5. Jahrhunderts. Eudoxos von Knidos schuf dann auf der Basis seiner astronomischen Theorie der homozentrischen Sphären eine Theorie zur geometrischen Konstruktion („Analemma“) des Netzes der Stunden- und Monatslinien einer solchen, „Skaphe“ genannten Sonnenuhr. Von ihm oder kurz nach ihm wurde sie erweitert für konische („Konarachne“) oder beliebig geneigte ebenen Fläche. Solche Uhren wurden auch bei den Römern benutzt, allerdings von Griechen konstruiert, wie die griechischen Monatsinschriften bezeugen. Sie sind nur für die geographische Breite verwendbar, für die sie konstruiert wurden. Abhilfe schuf die Erfindung einer Reise-

Sonnenuhr mit drehbaren Elementen zur Einstellung der geographischen Breite und des Monats (in Form von Scheiben oder Ringen). Solche Uhren sind auch mit römischer Beschriftung erhalten und werden schon bei Vitruvius (30 v.Chr.) erwähnt. – Auf Hipparchos (ca. 190 – ca. 120) geht das Verfahren der stereographischen Projektion der Koordinaten des Himmels sowie der Stunden- und Monatslinien auf eine Kreisscheibe und deren Verwendung im ‚Astrolabium‘ (‚Planisphäre‘) zurück. Verbunden mit einem drehbaren Diopter ließen sich so durch Beobachtung von Sternen oder der Sonne Nacht-, Tages- und Jahreszeiten bestimmen. Vitruvius beschreibt einen Typ von Wasseruhren, der diese Projektion als Indikator benutzt, hinter der sich eine Scheibe mit der Projektion der Sternbilder und des Tierkreises befindet, die mittels einer präzisen Wasseruhr, wie sie Ktesibios konstruiert hatte, einmal innerhalb von 24 Stunden gedreht wird. Bei diesem Uhrentyp, von dem sich mehrere Bruchstücke erhalten haben, werden die mittels ‚Astrolabium‘ bestimmbaren Daten mechanisch angezeigt. Er bildet die Grundlage für die astronomischen Tisch- und Turmuhrn des späten Mittelalters. – Ptolemaios beschreibt als wichtigstes, ebenfalls ‚Astrolab‘ bezeichnetes Beobachtungsinstrument ein verkleinertes Modell der Himmelskreise (Armillarsphäre), das ebenfalls als Uhr und Kalender benutzt werden konnte.

Durch die Verknüpfung technischer Probleme mit der Mathematik wurden nach 400 v. Chr. von Pythagoreern in Syrakus neuartige, mehrere 100 Meter reichende Geschütze konstruiert und deren günstigsten Proportionen erprobt, die nach ihrer Verfeinerung gegen Ende des Jahrhunderts in Alexandria bis ins Mittelalter unverändert in denselben Abmessungen in Gebrauch blieben (als Weiterführung der Steinschleuder: Onager; des Bogens: Katapulte für Pfeile und Steinkugeln – in Alexandria zum Mehrfachlader weiterentwickelt). Zum Spannen der Bogenarme dienten zusammengedrehte Bündel von Sehnen oder Haaren. Später von Ktesibios hierzu erprobte Bronzefedern oder Pressluftzylinder vermochten sich nicht durchzusetzen, wahrscheinlich weil ihre Technik für den praktischen Einsatz zu kompliziert und anfällig war.

Durch die Rückführungen von Hebe(werk)zeugen auf den Hebel als das durch die dynamische (Aristoteles) und statische (Archimedes) Ableitung des Hebelgesetzes abgesichertes Prinzip, konnten nicht nur die damals schon bekannten Einfachen Maschinen in ihrer Wirkweise berechnet und entsprechend eingesetzt und kombiniert werden (Rolle, Wellrad, Keil, Schraube, Schiefe Ebene), sondern konnte Archimedes (ca. 285 bis 212) mit dem Flaschenzug auch eine völlig neue ‚Maschine‘ erfinden. Nach der schon Vitruvius bekannten Abänderung der Anordnung der Rollen im Kloben (unter einander statt, wie bei Archimedes, neben einander) fand er vor allem in Form von Lastkränen (statt bloßer Umkehrrolle), deren Antriebswelle mittels riesiger Treträder betrieben wurden, bei der Errichtung der Riesenbauten in Rom

Verwendung, aber auch etwa als Spanner bei Torsionsgeschützen im römischen Heer sowie in der griechischen Medizin zum Einrenken oder Strecken von Gliedern bei Luxationen oder Brüchen.

Die theoretische Einsicht in Konstruktion und Wirkung einer Schraube überführte diese von der wohl älteren künstlerischen in die technische Nutzung: Archimedes verband ihr Prinzip mit dem in Ägypten kennengelernten achtkammrigen Wasserrad zur Wasserschnecke, die sich zur Be- und Entwässerung schnell durchsetzte, wobei die ursprünglich acht Schraubenwindungen im praktischen Gebrauch auf zwei reduziert wurden. Das Prinzip des Einzahns war schon von Ktesibios in seiner Erfindung des Hodometers mit Zählleinrichtung verwendet worden; auf ihn geht vermutlich auch die Erfindung des Zahnrades zurück, das er in seiner Wasseruhr mit Anzeige mit einer Zahnstange kombinierte. Archimedes verband es mit einer Schraube ohne Ende zum Schneckentrieb, der aber wegen der mangelnden Einsicht in das richtige Zahnprofil in der Praxis als Winkelgetriebe beim Lastenheben ebensowenig Einsatz finden konnte wie ein Getriebe mit Zahnrädern unterschiedlichen Durchmessers auf Wellen (beschrieben bei Heron im 1. Jahrhundert n. Chr.), das in der Praxis mit Seilen betrieben wurde (*barulkos*). Beides findet sich jedoch in der Präzisionsfeinmechanik (literarisch: *Dioptra* Herons; archäologischer Fund: Planetarium beziehungsweise Kalendarium als Analogrechner mit Zeigern für die Planetenbewegungen aus einem um 75 v. Chr. vor Antikythera gesunkenen Wrak, wie sie ab etwa 1000 n. Chr. auch aus der arabischen Tradition bekannt sind). Verwendung fand die (Holz-)Schraube zur Kraftübertragung über Führstift beziehungsweise Mutter darüber hinaus bei neuartigen Öl-, Wein- und Tuchpressen, die in Europa bis in die Gegenwart in Gebrauch blieben (um 100 v. Chr. mit Pressbaum, etwa 70 Jahre später als direkt wirkende Ein- oder Zweischraubenpresse).

Griechen entwickelten im hellenistischen Ägypten auch über Paddel durch die Wasserströmung beziehungsweise durch Treträder oder Göpel (hier erhielt das Winkelgetriebe Zapfen an den Radumfängen statt Zahnräder) angetriebene Schöpfräder mit horizontaler Welle, die das Wasser in Wasserkammern, Tonkrügen oder Leder Säcken beziehungsweise Eimerketten (Paternoster-Prinzip) in größere Höhen hoben. Unterschlächtige Wasserräder mit horizontaler Welle wurden im Römischen Reich auch zum Antrieb von Mühlen (Schiffsmühlen werden erstmals im Jahr 536 n. Chr. in Rom erwähnt), Sägen (Mosel) usw. verwendet. Die im 2. Jahrhundert v. Chr. in Etrurien entwickelten typisch römischen Kornmühlen (mit spitzem Rundkegel als Unterstein und hohlem Doppelkegel als Oberstein) wurden allerdings in der Regel durch Esel, Maulesel oder Sklaven gedreht, ebenso wie die in Großbäckereien Pompejis gefundenen Teigknetmaschinen und der Kollergang als Ölmühle – sowie die in römischen Bergwerken zur Wasserführung ausschließlich benutzten hintereinander geschalteten Wasserschnecken. Seit dem 2. Jahrhundert v. Chr. wurden für Mühlen auch

Wasserräder mit vertikaler Welle und Schusssrinne (Turbinenmühlen) gebaut. – Der von Heron im 1. Jahrhundert n. Chr. vorgeschlagene Antrieb mittels Windmühlen ließ sich in der Antike allerdings technisch noch nicht verwirklichen.

Vorbilder der griechisch-römischen Wasserversorgung der Städte waren Leitungsbauten wie die unter König Salomon (1018–978), König Hiskin (727–669) und Herodes (37–04) in Jerusalem gebauten mit einem umfangreichen Teichsystem und langen Gefäll-Leitungen, zum Teil durch einen 533 m langen s-förmigen Tunnel, der bei Siloah von beiden Seiten gleichzeitig vorgetrieben worden war. Ein ähnlicher Tunnel von 1040 m Länge und einem Gefälle von 5 m wurde unter Polykrates auf Samos durch Eupalinos von Megara vorgetrieben, um das Wasser einer 52 m über dem Meeresspiegel liegenden Quelle auf direktem, aber zur Geheimhaltung überall überdachtem Wege durch einen Berg über eine Tonrohrleitung in die Stadt zu leiten – jedoch in gerader Richtung und nicht nach dem Gehör, sondern aufgrund einer Vermessung mittels Wasserwaagen ähnlichen Nivelliergeräten, wie sie von Vitruvius (*chorobates*) und Heron (*dioptra*) beschrieben werden. Auf kürzeren Strecken wurden in kleinasiatischen Städten auch tönernen Druckleitungen zur Überwindung kleinerer Steigungen angelegt; ein Meisterwerk stellt jedoch die um 200 v. Chr. errichtete Druckwasserleitung von Pergamon dar, die den Burgberg immerhin über einen Taleinschnitt von 200 m Höhenunterschied versorgte. In den griechischen Städten wurden jedoch vorwiegend Sisternen zum Sammeln des Regen- oder Quellwassers angelegt. Die Wasserversorgung der römischen Städte erfolgte dagegen ausschließlich in abgedeckten Rinnen über viele Kilometer lange Gefäll-Leitungen, wozu Taleinschnitte und Geländesenken durch teilweise mehrstöckige Aquädukte überspannt wurden. Der Wasserbedarf war hier durch die seit der Mitte des 2. Jahrhunderts v. Chr. (Pompeji) nach dem Vorbild der von warmen Quellen gespeisten Badeanlagen in den Villen begüterter Römer in Kampanien überall in den Städten entstandenen öffentlichen Badeanlagen (Thermen) sprunghaft gestiegen; das innerstädtische Verteilungsnetz war deshalb so eingerichtet, dass bei Wasserknappheit eine Rationierung zur Gewährleistung der Versorgung der öffentlichen Brunnen gewährleistet war (von denen es im frühen 4. Jahrhundert rund 1350 gab). Der Metropole Rom flossen über 10 Aquädukte täglich etwa 1 Million cbm Wasser zu, was um 150 n. Chr. einem durchschnittlichen Verbrauch von täglich ca. 650 Liter pro Einwohner entspricht, wovon ein großer Teil natürlich den Thermen zufluss, deren Anzahl um 33 v. Chr. 170 betrug und später auf etwa 1000 anwuchs. Sie dienten nach und nach auch weniger dem ‚Baden‘ als der persönlichen Begegnung sowie der kulturellen und sportlichen Betätigung, so dass die prunkvollen öffentlichen, von Kaisern gestifteten Anlagen riesige Ausmaße annahmen (die mehrstöckigen Diokletianthermen bilden ein Quadrat mit über 600 m Kantenlänge). Aber selbst eine Provinzstadt wie das römische Köln am Rhein wurde über mehrere Leitungen mit täglich etwa 17 000 cbm Quellwasser aus weiter Entfernung (Eifel) versorgt, was bei rund 30 000 Einwohnern zu seiner Blütezeit im 2. und 3. Jahr-

hundert einem Durchschnittsverbrauch von etwa 550 Liter pro Kopf entspricht. Ein solch hoher Wasserverbrauch erforderte auch eine entsprechend dimensionierte Abwasserentsorgung; auch das bildete nur wegen der ungeheuren Ausmaße (Rom: Cloaca maxima) eine neue technische Herausforderung. – Zur Erwärmung der Bäder hatten die Römer eine Fussbodenheizung (Hypokausten) entwickelt, die insbesondere im waldreichen Gebiet nördlich der Alpen mit seinen kalten Wintern in fast allen größeren Wohnhäusern eingeführt wurde (in Italien wurden demgegenüber in Wohnräumen tragbare Kohlebeckenöfen benutzt, wie zahlreiche Funde aus Pompeji zeigen).

Die wachsende Ausdehnung des Römischen Reiches mit schließlich unter Trajan und Hadrian mehr als 5 Millionen Quadratkilometern warf in erster Linie organisatorische und logistische Probleme auf (auch für die sich nicht selbst versorgende Metropole), zu deren Lösung auch Technik eingesetzt wurde, die auf diese Weise bis in die letzten Winkel des Reiches Verbreitung fand, wo man auf die zivilisatorischen Annehmlichkeiten Roms nicht verzichten wollte und sollte. Hierfür sorgten insbesondere die Grenztruppen (Legionen) selbst, die nicht nur Pioniereinheiten besaßen (der Begriff ‚Ingenieur‘ erfasst in erster Linie den Kriegingenieur), sondern sich auch weitestgehend selbst zu versorgen hatten. Grundvoraussetzung für den Zusammenhalt war ein insgesamt etwa 100 000 km langes Netz gut ausgebauter Straßen, die durch festen Unterbau, Entwässerungsgräben und Raststationen sowie steinerne Brückenwerke (die teilweise noch heute in das Verkehrsnetz integriert sind) für witterungs- und bodenunabhängige Dauerbelastung (Truppenbewegung, Kurierdienst, Warentransport) eingerichtet wurden und insbesondere nach der Vermessung und Neuordnung nördlich der Alpen unter Kaiser Augustus ohne Rücksicht auf das Gelände auf fast geraden Linien die Orte und Kastelle zwischen Alpen und Grenzwall (Limes) mit einander verbanden. – Die so genannte Peutingersche Tafel, die ohne Winkeltreue das (Fern-)Straßennetz von Irland bis China mit Entfernungsangaben zeigt, ist die Kopie einer römischen Weltkarte aus dem 1. Jahrhundert v. Chr. und dokumentiert gut die damalige Einschätzung der Rolle des Straßennetzes. Küstenorte wurden darüber hinaus durch Seeverkehr verbunden (Last-, Post- und Kriegsschiffe), der von Griechen und Römern als reine Küstenschiffahrt durchgeführt wurde, obgleich der Schiffbau selbst von den Phöniziern übernommen worden war.

Als Baustoffe wurden in den Provinzen die jeweils anstehenden Materialien genutzt, daneben mit Mörtel verbundene Lehmziegel, wie sie nördlich der Alpen unbekannt und in Griechenland nur als gebrannte Dachziegel verwendet worden waren. Die Ziegel wurden ursprünglich wie im Vorderen Orient luftgetrocknet, aufgrund der steigenden Bevölkerungszahl Roms, die mehrstöckige Wohnanlagen erforderte, jedoch seit dem Ausgang der Republik auch für den Mauerbau gebrannt. Diese Technik beherrschten auch die Legionen in eigenen Ziegeleien; sie war Voraussetzung für die Großprojekte (Thermen, Paläste, Basiliken, Amphitheater, Circusanlagen, Kuppelbau-

ten: Pantheon) seit Beginn der Kaiserzeit in Rom und in den Provinzstädten (nach hellenistischem Muster mit Mosaikböden und -wänden neben Fresken, sowie Marmorverkleidungen versehen).

Eine Eigenart römischer Bautechnik stellt auch die Wiedereinführung auf Drehbänken bearbeiteter monolithischer Säulen dar, nachdem die Griechen im Sakralbau weitestgehend Säulentrommeln verwendet hatten. Grund dafür war allerdings die nicht zylindrisch-konische Form der griechischen Säulen, deren Schäfte vielmehr, wie sämtliche Linien am gesamten Bau (Kurvatur), außen eine leichte, asymmetrische Wölbung aufweisen (Entasis). Die klassische Schönheit der griechischen Tempel beruht aber gerade auf derartigen Abweichungen von der Senkrechten und Vertikalen, deren Konstruktion ein hohes Maß an Mathematik erfordert und keine monolithische Herstellung der Säulen erlaubt. Man wusste zwar von entsprechenden Programmschriften griechischer Baumeister durch die pauschale Erwähnung bei Vitruvius (um 30 v. Chr.), doch sind vor kurzem solche Konstruktions-Ritzzeichnungen an den glatten Wänden des Apollon-Tempels von Didyma (südlich Milet) identifiziert worden, mit dessen unvollendetem Bau kurz nach 333 v. Chr. (Befreiung durch Alexander) begonnen wurde. Als Baumeister fungierte neben Daphnis aus Milet Paionios aus Ephesos, der damals an der Vollendung des Artemis-Tempels seiner Stadt arbeitete, der wohl nicht nur als der größte Tempel der griechischen Welt zu den sieben Weltwundern gezählt wurde. – Auch in der plastischen Kunst wurde der menschliche Körper mathematisch proportioniert; die berühmteste diesbezügliche Programmschrift stammte von Polyklet (2. Hälfte des 5. Jahrhunderts v. Chr.).

Eine Errungenschaft früher alexandrinischer Ingenieure, die sich aber im gesamten Römischen Reich durchsetzte, war der Einsatz von Luftunter- und -überdruck zu allerlei Spielzeug und technischem Gerät. Auch hier erfolgte eine Reduktion auf das Prinzip des Saug- und Stechhebers beziehungsweise des Heronsballs, die Grundlage für die Erklärung, Erfindung und Weiterbildung von Automaten aller Art und Misch- und Trinkgeräten mit Überraschungseffekten, aber auch der mit Luftdruck arbeitenden Wasserorgel und Feuerspritze (Ktesibios) bildete. Eine Weiterentwicklung erfolgte nach Vitruvius offenbar nicht mehr.

Um die Mitte des 1. Jahrhunderts v. Chr. wurde in Syrien oder Phönizien die Glaspfeife erfunden, um Glas in Hohlformen oder frei zu Gefäßen zu blasen, womit die ältere Technik mit in die Glasmasse getauchtem Sand- oder Tonkern abgelöst wurde. Auch die lange bekannte Gieß- und Presstechnik, die bis dahin nur für kleinere dickwandige Gefäße und reliefverzierte flache Plättchen Verwendung gefunden hatte, wurde weiterentwickelt und in die Herstellung von neuen Formen integriert. Im Zuge dieser Techniken wurden dann auch chemische Verfahren entwickelt, das Glas zu entfärben, die Gefäße ‚glasklar‘ zu machen. Die Folge war ein ungeheurer Anstieg der

Glasimporte in Griechenland und Rom, sowie noch in den letzten Jahrzehnten v. Chr. der Transfer der Herstellungstechniken von Alexandria nach Rom und Süditalien. Vorher Luxusartikel, wurde Glas Gebrauchsgegenstand. Manufakturen sorgten für die Massenherstellung von Flaschen und anderen Hohlgefäßen; Glas wurde zu Fensterscheiben und vereinzelt zu Spiegeln gegossen. Alle glastechnischen Verfahren waren bereits um 100 n. Chr. soweit bekannt, dass ohne technische Neuerungen, wie sie erst die neuzeitliche Naturwissenschaft ableiten konnte, nur stilistische und künstlerische Verfeinerungen möglich waren. Dabei war die Güte des Glases von dem verwendeten Rohstoff abhängig. Die Manufakturen der nördlichen Provinzen (etwa in Bonn und Köln) erzeugten fast zwei Jahrhunderte lang lediglich naturfarbenes (blaugrünes) Glas, Gefäße aus farblosem Glas wurden weiterhin aus Alexandria nach Südgallien und Britannien sowie ins Rheinland exportiert. Schlagartig änderte sich die Situation um die Mitte des 2. Jahrhunderts, als man südlich von Köln bei Frechen einen fast ausschließlich aus Kieselsäure bestehenden Sand entdeckte. Die Kölner Glasmanufakturen nahmen daraufhin einen ungeheuren Aufschwung, was neben der Herstellung von Gebrauchsglas zu künstlerischen Meisterleistungen insbesondere durch Schleifen und Gravieren (mit der alten Technologie der Steinschneider) führte, deren herausragendste Beispiele die so genannten Diatretgläser oder Netzbecher aus dem frühen 4. Jahrhundert sind; Mitte des Jahrhunderts kamen die rheinischen Goldemaillegläser hinzu, in denen die ebenfalls in Alexandria entwickelte Kunst des Vergoldens durch Emaillefarben ergänzt wurde.

Eine andere, in der Antike nicht weiter entwickelte Erfindung stellt die lediglich in Gallien verwendete Getreide-Erntemaschine dar, die bereits Plinius (um 70 n. Chr.), dann wieder Palladius (um 400) beschreiben und von der mehrere Reliefdarstellungen gefunden wurden. Sie ersparte Arbeitskräfte, erforderte jedoch großflächigen Anbau, ließ das Stroh auf dem Acker und führte auch zu Körnerverlusten. Ihr Einsatz lohnte sich also nur auf großzügig wirtschaftenden Latifundien – die es jedoch auch außerhalb Galliens gab, so dass nicht dieser Umstand für die bloß regionale Verbreitung der Erfindung verantwortlich gemacht werden kann.

Dennoch zeigt auch diese Erfindung, dass auch die Technik der griechisch-römischen Welt spätestens ab dem Ende des 2. nachchristlichen Jahrhunderts ebenso wie die Naturwissenschaft, Mathematik und Medizin in einen eigenartigen Zustand der Stagnation geriet. Innovationen blieben weitgehend aus. Die griechische Auffassung von den Aufgaben einer Naturwissenschaft und ihrer Stellung zur Technik und das daraufhin ausgeschlossene gegenseitige Aufschaukeln scheinen damit deren Grenzen erreicht zu haben.

Bibliographie

A) Bio-Bibliographies:

- SARTON, George. 1927. Introduction to the History of Science. Vol. 1 (of 5): From Homer to Omar Khayyam. Baltimore: Williams & Wilkins. XI, 839 pp.
- MICHEL, Paul-Henri. 1950. De Pythagore à Euclide: Contribution à l'histoire de mathématiques préeuclidiennes. (Collection d'Etudes anciennes) Paris: Les belles lettres. 700 pp.
- GILLISPIE, Charles Coulston, ed. 1970–1980. Dictionary of Scientific Biography. 16 Vols., New York: Scribner's Sons.

B) Source Books:

- COHEN, Morris R. / DRABKIN, Israel Edward, eds. 1948, repr. 1969. A Source Book in Greek Science. (Source Books in the History of Sciences) New York: McGraw-Hill / Repr. New York: Harvard University Press and London: Oxford University Press. XXI, 581 pp.
- VERA, Francisco, ed. 1970. Científicos Griegos. 2 Vols. Madrid: Aguila. 2188 pp.
- MÜRI, Walter (ed.). 1986. Der Arzt im Altertum. Griechische und lateinische Quellentexte von Hippokrates bis Galen mit der Übertragung ins Deutsche. (Sammlung Tusculum) 5th edition, München/Zürich: Artemis. 530 pp.

C) Literature:

- HEATH, Thomas. 1921. A History of Greek Mathematics. 2 vols. Oxford: Clarendon Press. XV, 446 and XI, 586 pp.
- HEIBERG, Johan Ludvig. 1925, repr. 1960. Geschichte der Mathematik und Naturwissenschaften im Altertum. (Handbuch der Altertumswissenschaft, Sect. 5, Pt. 1, Vol. 2) Münche: C. H. Beck. 121 pp.
- REY, Abel. 1930–1948. La science dans l'antiquité. (L'évolution de l'humanité, Série complémentaire) 5 vols. Paris: A. Michel.
- HEIDEL, William Arthur. 1933, repr. 1971. The Heroic Age of Science: The Conception, Ideals, and Methods of Science among the Ancient Greeks. Baltimore: Williams & Wilkins; repr. New York: AMS Press. VII, 203 pp.
- O'LEARY, De Lacy. 1949, repr. 1979. How Greek Science Passed to the Arabs. London: Routledge & Kegan Paul. VI, 196 pp.
- SIGERIST, Henry E. 1951/1961. A History of Medicine. Vol. 1/2 (all published): Primitive and Archaic Medicine./ Early Greek, Hindu and Persian Medicine. New York/ London: Oxford University Press. XXI, 564 and XVI, 352 pp. – Deutsche Übersetzung: Anfänge der Medizin. Von der primitiven und archaischen Medizin bis zum Goldenen Zeitalter in Griechenland. Zürich: Europa-Verlag (1963). XIII, 783 pp.
- SARTON, George. 1952/1959, paperback ed. 1964-1965. A History of Science. 2 Vol. (Ancient Science through the Golden Age of Greece. – Hellenistic Science and Culture in the last three Centuries B.C.), New York: Harvard University Press (Pb. ed.: John

- Wiley & Sons). XXVI, 646 and XX, 554 pp.
- SINGER, Charles Joseph, et al. (eds.). 1954(–1958). *A History of Technology*. Vol. 1 (of 5): *From Early Times to Fall of Ancient Empires, c. 500 B.C.* Oxford: Clarendon Press. 827 pp.
- FORBES, Robert James. 1955-1964; Sec. ed. 1964-1972. *Studies in Ancient Technology*. 9 vols. Leiden: Brill.
- CLAGETT, Marshall. 1955. *Greek Science in Antiquity*. NEW York/London: Abelard Schuman. XII, 217 pp.
- TATON, René (ed.). 1957(–1964); Sec. ed. 1966. *Histoire générale des sciences*. Vol. 1 (of 4): *La science antique et médiévale (des origines à 1450)*. Paris: Presses universitaires de France. VIII, 627 pp. – English translation: *A General History of Science*. Vol. 1 (of 4). London: Thames and Hudson, 1963(–1966); reprint London: Arrowsmith, 1967. XVII, 551 pp.
- STAHL, William Harris. 1962; repr. 1978. *Roman Science. Origins, Development, and Influence to the Later Middle Ages*. Madison: University of Wisconsin Press; repr. Westport: Greenwood. X, 308 pp.
- DAUMAS, Maurice (ed.). 1962(–1979). *Histoire générale des techniques*. Vol. 1 (of 5): *Les origines de la civilisation technique*. Paris: Presses universitaires de France. CXVI, 652 pp. – English translation: *A History of Technology and Invention. Progress through the Ages*. Vol. 1 : *The Origins of Technological Civilization*. New York: Crown. XII, 596 pp.
- SAMBUSKY, Shmuel. 1965. *Das physikalische Weltbild der Antike*. (Die Bibliothek der Alten Welt, Series: *Forschung und Deutung*) Zürich/Stuttgart: Artemis. 646 pp. – New, one-volume-version of the books, published by Routledge & Kegan Paul, London: *The Physical World of the Greeks* (1956, originally in Hebrew language 1956), *Physics of the Stoics* (1959), and *The Physical World of Late Antiquity* (1962).
- BADAWI, Abdurrahman. 1968. *La transmission de la philosophie grecque au monde arabe*. Paris: J. Vrin. 197 pp.
- SCABO, Árpád. 1969. *Anfänge der griechischen Mathematik*. Budapest: Akademiai Kiado and München/Wien: Oldenbourg. 494 pp.
- KIECHLE, Franz. 1969. *Sklavenarbeit und technischer Fortschritt im Römischen Reich*. (Forschungen zur antiken Sklaverei, vol. 3) Wiesbaden: Franz Steiner. VIII, 188 pp.
- LLOYD, Geoffrey Ernest Richard. 1970. *Early Greek Science: Thales to Aristotle*. (Ancient Culture and Society) London: Chatto & Windus. XVI, 156 pp.
- PARTINGTON, James Riddick. 1970. *A History of Chemistry*. Vol. 1, Pt. 1 (all published): *Theoretical Background*. London: Macmillan. XLV, 370 pp.
- KRAFFT, Fritz. 1971. *Die Begründung einer Wissenschaft von der Natur durch die Griechen*. (Geschichte der Naturwissenschaft, Vol. 1) Freiburg: Rombach & Co. 370 pp.
- WEST, Martin L. 1971. *Early Greek Philosophy and the Orient*. Oxford: Clarendon Press. XV, 256 pp.
- LLOYD, Geoffrey Ernest Richard. 1973. *Greek Science after Aristotle*. (Ancient Culture and Society) London: Chatto & Windus. XIV, 189 pp.

- PEDERSEN, Olaf / PIHL, Morgens. 1974. Early Physics and Astronomy: A Historical Introduction. London: Macdonald and New York: American Elsevier. 413 pp.
- NEUGEBAUER, Otto. 1975. A History of Ancient Mathematical Astronomy. 3 vols. Berlin/Heidelberg/New York: Springer-Verlag. XXI, 1457 pp.
- LLOYD, Geoffrey Ernest Richard. 1979. Magic, Reason, and Experience: Studies in the Origin and Development of Greek Science. Cambridge: Cambridge University Press. XII, 335 pp.
- JÜRSS, Fritz, et al. 1982. Geschichte des wissenschaftlichen Denkens im Altertum. (Veröffentlichungen des Zentralinstituts für Alte Geschichte und Archäologie der Akademie der Wissenschaften der DDR, Vol. 13) Berlin (GDR): Akademie-Verlag. 672 + 28 (ill.) pp.
- FLASHAR, Hellmut, ed. 1983. Ältere Akademie – Aristoteles – Peripatos. (Grundriß der Geschichte der Philosophie, begründet von F. Ueberweg: Die Philosophie der Antike, vol. 3) Basel/Stuttgart: Schwabe & Co. XXII, 645 pp.
- BÄUMER, Änne. 1991. Biologie von der Antike zur Renaissance. (Geschichte der Biologie, vol. 1) Frankfurt etc.: Peter Lang. X, 266 pp.