

Die Anfänge einer theoretischen Mechanik und die Wandlung ihrer Stellung zur Wissenschaft von der Natur

Das älteste Werk über Mechanik, das wir noch besitzen, sind die innerhalb des Corpus Aristotelicum überlieferten ‚Mechanischen Probleme‘ (προβλήματα μηχανικά, Quaestiones mechanicae). Wann diese peripatetische Schrift entstanden ist, wird wohl immer umstritten bleiben. Man spricht sie heute in der Regel dem überlieferten Autoren ARISTOTELES ab — als Hauptgrund für die Unechtheitklärung wird angeführt, daß der große attische Philosoph sich nicht mit technischen und handwerklichen Fragen beschäftigt haben könne — und weist sie STRATON VON LAMPSAKOS, der etwa von 286 bis zu seinem Tode um 269 v. Chr. als Nachfolger von THEOPHRAST Schulhaupt des Peripatos war, oder gar erst einem seiner Schüler zu¹, werde doch STRATON in der Antike selbst schon als der ‚Physiker‘ bezeichnet.

Doch ist das, was die ‚Mechanischen Probleme‘ behandeln, keine ‚Physik‘ in antikem Sinne, sondern ‚Mechanik‘, und beides läßt sich für antikes Denken in der Zeit nach PLATON und ARISTOTELES im allgemeinen nicht mehr vereinen. ‚Physik‘ behandelt, wie schon das Wort selbst andeutet, die ‚Natur‘ (φύσις) der Dinge, ihr ‚Wesen‘ und ihre ‚natürlichen‘, ‚naturgemäßen‘ (Eigen-)Bewegungen, also solche Körper, die das Prinzip ihrer Bewegung in sich selbst haben, wie es ARISTOTELES definiert², während die ‚Mechanik‘, wie man schon aus der Einleitung der ‚Mechanischen Probleme‘ ersehen kann, ‚naturwidrige‘, d. h. künstliche Bewegungen³ be-

¹ Vgl. z. B. P. MORAUX, *Les listes anciennes des ouvrages d'Aristotele*. Löwen 1951, S. 120, dem sich auch H. FLASHAR (*Aristoteles*. Werke in deutscher Übersetzung. Bd. 19: *Problemata physica*, übersetzt von H. FLASHAR. Berlin 1962, S. 310 f.) anzuschließen scheint. — [Korr.-Zusatz: Zur Geschichte der Echtheitsfrage vgl. jetzt H. M. NOBIS, *Die wissenschaftshistorische Bedeutung der peripatetischen „Quaestiones Mechanicae“ als Anlaß für die Frage nach ihrem Verfasser*. Maia Nr. 5 Bd. III, Jg. 18, 1966, 265—276.]

² Vgl. W. WIELAND, *Die aristotelische Physik*. Göttingen 1962, S. 231 ff.

³ In diesem Zusammenhang ist eine Stelle aus der aristotelischen ‚Physik‘ besonders interessant (Θ 4 255^a 21 ff.): τὰ μὲν γὰρ παρὰ φύσιν αὐτῶν κινητικὰ ἔσιν, οἷον ὁ μόχλος οὐ φύσει τοῦ βάρους κινητικός, τὰ δὲ φύσει, οἷον τὸ ἐνεργείᾳ θερμὸν κινητικὸν τοῦ δυνάμει θερμοῦ.

handelt, Bewegungen, zu denen die ‚Natur‘ eines Körpers nicht von sich aus in der Lage ist, ja die der ‚Natur‘ eines Körpers entgegenwirken und für deren Zustandekommen sich der Mensch auf kunstvolle Weise ‚mechanischer Hilfsmittel‘ (μηχαναί) bedienen muß. Die ‚Mechanik‘, μηχανική τέχνη, ist für die Antike eine ‚Kunst‘, die zur wissenschaftlichen Erkenntnis der ‚Natur‘ nichts Wesentliches beizutragen vermag.

Diese Auffassung von der ‚Physik‘ und ‚Mechanik‘ hat auch für STRATON VON LAMPSAKOS noch ihre Gültigkeit⁴. Gegen seine Autorschaft würden also die gleichen Einwände sprechen wie gegen jene des ARISTOTELES, und sie hätten gleich viel und gleich wenig Gewicht.

Überhaupt wird man zu einer falschen Beurteilung antiker ‚Physik‘ und ‚Naturwissenschaft‘⁵ verleitet, überträgt man den modernen Begriff Mechanik auf die Antike und beschreibt als antike ‚Mechanik‘ neben der μηχανική τέχνη auch die Erörterung von Vorgängen, mit denen sich die neuzeitliche Mechanik als Teilgebiet der Physik seit GALILEO GALILEI beschäftigt. Gern werden dann die angeblich erlahmenden geistigen Kräfte in der Zeit des ‚Untergangs der antiken Welt‘ angeführt, um nach diesem methodisch falschen Ausgangspunkt verständlich zu machen, warum die Spätantike jene vielfältigen Ansätze antiker ‚Mechanik‘ — von der neuzeitlichen Mechanik her gesehen — nicht besser und umfassender habe anwenden können. Zwischen ‚Physik‘ und ‚Mechanik‘ stand jedoch in der Antike — und im wesentlichen auch noch bis zur späten Renaissance — eine unüberbrückbare Schranke: Die ‚Mechanik‘ war keine ‚Naturwissenschaft‘, keine Wissenschaft von der Natur in antikem Sinne und konnte deshalb auch keinen entscheidenden Einfluß auf ‚naturwissenschaftliche‘ Betrachtungsweisen der Antike ausüben.

Der Unterschied zur neuzeitlichen Naturwissenschaft Mechanik wird schon deutlich, wenn man sich einmal die Teildisziplinen antiker ‚Mechanik‘ vor Augen führt. Wir würden sie heute fast alle nicht mehr der Mechanik und Physik, sondern vielmehr der Technik und Mechanischen Technik zuweisen. Im wesentlichen übereinstimmend unterteilen nämlich

⁴ Auch die auf STRATON zurückgehende Einleitung zur ‚Pneumatik‘ des PHILON VON BYZANZ spricht von dem Gegensatz *naturalis/innaturalis*; vgl. PHILON, *Pneumatica*, in: Heronis Alexandrini opera quae supersunt omnia. Vol. I, Leipzig 1899, S. 470,3.

⁵ Vgl. dazu R. HOOYKAAS, *Das Verhältnis von Physik und Mechanik in historischer Hinsicht*. Wiesbaden 1963 (Beiträge zur Geschichte der Wissenschaft und der Technik, Heft 7), und meinen Artikel ‚Naturwissenschaft‘ im *Lexikon der Alten Welt*, Zürich und Stuttgart 1965.

GEMINOS⁶, ein Stoiker des ersten vordrchristlichen Jahrhunderts, dem sich PROKLOS in der Einleitung seines Kommentars zum ersten Buch der 'Elemente' EUKLIDS anschließt, und der spätalexandrinische Mathematiker PAPPUS⁷ die 'Mechanik' in die Baukunst, die Kunst der Hebewerkzeuge, des Geschützbaus, des Bauens von Be- und Entwässerungsmaschinen und von 'Wunderwerken' (Automaten) — mit Hilfe von Luft (Luftdruck), Sehnen und Seilen, Waagen oder Schwimmern — des Bauens von Wasser- und Sonnenuhren und schließlich die Kunst des Bauens von Sphären (Armillarsphären, Planetarien, Globen u. ä.). GEMINOS fügt das „Wissen von der Ermittlung des Gleichgewichts überhaupt und des Schwerpunktes“ hinzu, von dem PAPPUS im Anschluß an die Diskussion seiner Einleitung zum 8. Buch der 'Collectiones' sagt, daß sie Voraussetzung für alle Teildisziplinen der 'Mechanik' sei. Zur 'Mechanik' zählt letzterer dann auch noch die geometrische Konstruktion mit Hilfsmitteln, die über Zirkel und Lineal, welche den 'einfachen Figuren' Kreis und Gerade entsprechen, hinausgehen (ὁργανική sc. τέχνη: Coll. VIII 25 ff.). — Solche Konstruktionen wurden ja seit PLATON aus der eigentlichen Mathematik (Geometrie) verbannt, und auch ARCHIMEDES nannte seine heuristische Methode eine 'mechanische'⁸.

Interessant an den Bezeichnungen für die einzelnen Teildisziplinen bei PAPPUS (3./4. Jahrhundert n. Chr.) ist, daß das jüngste Teilgebiet, welches auch PHILON VON BYZANZ (1. Hälfte des 3. vordrchristlichen Jahrhunderts) noch nicht behandelt hatte, nämlich Konstruktion und Bau von Schöpfgeräten, allein als „Mechanik im eigentlichen Sinne“ bezeichnet wird: ἡ τῶν ἰδίως πάλιν καλουμένων μηχανοποιῶν (τέχνη). Von den Vertretern der anderen Teildisziplinen sagt PAPPUS dann jeweils, daß auch sie von den Alten 'Mechaniker' genannt worden seien: μηχανικῶν καὶ αὐτῶν κατὰ τοὺς ἀρχαίους λεγομένων u. ä.

Daß im Verlaufe der Zeit offensichtlich verschiedene Teildisziplinen als

„Mechanik im eigentlichen Sinne“ bezeichnet wurden, ist besonders deshalb interessant, weil uns dadurch ein sicherer Anhaltspunkt dafür gegeben ist, daß an dem Bedeutungswandel des Wortes μηχανή umgekehrt auch die Entwicklung der praktischen 'Mechanik' der Antike abgelesen werden kann:

μηχανή bedeutete ursprünglich lediglich 'Mittel', 'List', und zwar unabhängig davon, ob man sich bei der Anwendung einer solchen μηχανή nur geistiger Mittel bediente oder auf geschickte Weise auch irgendwelcher Werkzeuge. Neben dieser allgemeinen Bedeutung entwickelte sich allmählich eine speziellere, welche die allgemeine jedoch nie gänzlich verdrängen konnte. μηχανή wurde so zur 'geschickten Anwendung von Werkzeugen'⁹, dann in übertragenem Sinne auch zum 'Produkt einer solchen geschickten Anwendung von Werkzeugen'¹⁰, schließlich zum 'Werkzeug' und zur 'Verbindung mehrerer Werkzeuge', zur 'Maschine'. In den hippokratischen Schriften etwa werden chirurgische Geräte mit μηχανή bezeichnet¹¹, und bereits bei HERODOT (um 430 v. Chr.) ist es dann eine 'Hebemaschine' (II 125), wohl in der Art, wie sie der Autor der 'Mechanischen Probleme' im 18. Kapitel beschreibt, wo er sagt, eine mit einer losen Rolle über einen Seilzug verbundene feste Rolle finde, kombiniert mit einer Winde, im Bauhandwerk vielfältige Verwendung¹². HERODOT kennt μηχανή jedoch auch schon für 'Kriegsmaschinen'¹³, etwa Schutzdächer, Rammböcke, Leitern, Schleudern und dergleichen; man vergleiche besonders III 152, wo es heißt, DAREIOS habe gegen Babylon πάντα σοφίσματα καὶ πάσας μηχανάς vergebens angewendet: μηχανή ist hier in der Bedeutung bereits deutlich von σοφίσμα der 'List' geistiger Art, getrennt, während es ursprünglich beide Arten von 'Listen' umfaßte. Auch die Theatermaschinen, mit deren Hilfe in der Spätzeit der klassischen attischen Tragödie der 'deus ex machina' zur mythengerechten Wendung des festgefah-

⁶ Bei PROKLOS im Kommentar zum ersten Buch der Elemente EUKLIDS S. 41, ed. FRIEDLEIN.

⁷ Coll. VIII 2 (S. 1024 f. ed. HULTSCH). Eine ähnliche Unterteilung liegt der Bucheinteilung PHILON VON BYZANZ (manche Disziplin kennt er allerdings noch nicht oder hat er nicht bearbeitet) und der Stoffauswahl von VITRUVS *De architectura* zugrunde.

⁸ Auch PHILON VON BYZANZ behandelt im ersten Buch seiner σύνταξις μηχανική schon ein instrumentelles Verfahren (ὁργανικῶς) zum Auffinden der beiden mittleren Proportionalen (Delisches Problem), das er im 4. Buch (*Belopoiika*, Kap. 7) noch einmal anführt, woher wir es kennen, da das erste Buch verloren gegangen ist.

⁹ Vgl. AISCHYLOS, *Perser* v. 722; HERODOT I 94,6.

¹⁰ Bei AISCHYLOS (*Perser* v. 114) z. B. bedeutet μηχανή ein 'Schiff', eine 'Brücke' (λαοπόροι μηχαναί), die aber auch selbst wieder als ein geschickt angewendetes Gerät aufgefaßt werden.

¹¹ Einige Belegstellen bei G. H. KNUTZEN, *Technologie in den hippokratischen Schriften* ..., Wiesbaden 1964 (Abh. d. [Mainzer] Ak. d. Wissensch. u. d. Lit., Geistes- und sozialwiss. Kl., Jg. 1963, Nr. 14), S. 65.

¹² Dazu vgl. meine *Bemerkungen zur Mechanischen Technik und ihrer Darstellung in der Klassischen Antike*. Technikgeschichte 33, 1966, S. 142 ff.

¹³ Vgl. weiterhin THUKYDIDES II 76, IV 13 u. ö.; XENOPHON, *Kyropaideia* I 6, 38 und VIII 6,17; später z. B. POLYBIOS I 48,2.

renen Geschehens auf die Bühne geschwenkt wurde, hießen *μηχαναί*¹⁴ — es waren wohl nur an einem Galgen befestigte Rollen.

Be- und Entwässerungsmaschinen wurden dagegen erst in späthellenistischer und alexandrinischer Zeit mit dem Worte erfaßt. Sie bilden eine für den hellenistischen Bereich ungebräuchliche Maschinengattung und wurden sicherlich erst aus primitiven Anfängen (Ziehbrunnen, Schaduff, achtkammriges Wasserrad) von Griechen konstruiert, als sie in ptolemäischer Zeit in Unterägypten vor Probleme des Wasserbaus gestellt wurden¹⁵.

Da die alexandrinischen Ingenieure zu dieser Zeit in der antiken Welt des Mittelmeerraumes führend waren und ihre Aufgaben sich in den nachchristlichen Jahrhunderten des Römischen Reiches allmählich von der Kriegstechnik, die bei PHILON VON BYZANZ und den Poliorketikern bis hin zu ATHENAIOS im 1. Jahrhundert v. Chr. noch vorherrschte, mehr auf den zivilen Sektor des Tätigkeitsbereichs eines antiken Ingenieurs („Architekten“) verlagert hatten, konnte so *μηχανοποιία* (*μηχανουργία*), das noch bei ATHENAIOS nur den Bau von Geschützen und anderem Kriegsgerät umfaßte, zur ausschließlichen Bezeichnung für den Bau von Schöpfmaschinen werden.

Das Wort *μηχανή* wurde in hellenistischer Zeit dann über die in Italien gesprochene dorische Form *μαχανή* von den Römern als „machina“ übernommen. Dieses „machina“ konnte aber als Fremdwort natürlich nur die zur Zeit der Übernahme und für das Übernommene übliche Bedeutung „Maschine“ haben, wie auch in den modernen Sprachen, die dieses Fremdwort direkt oder indirekt aus dem Lateinischen übernahmen. Dem griechischen *μηχανή* dagegen haftete zu allen Zeiten noch die ursprüngliche und allgemeinere Bedeutung des „Listigen“, des „Nicht-Natürlichen“ an.

Die speziellere Bedeutung hatte sich mit all ihren Nuancen allmählich seit der ersten Hälfte des 5. vordchristlichen Jahrhunderts herausgebildet, und ihr Wandel kann somit auch die Entwicklung der antiken Technik und Ingenieurarbeit dokumentieren helfen. Daß die griechischen Ingenieure aufgrund dieser Entwicklung in Griechenland ihren Kollegen aus den anderen Kulturreichen des Mittelmeerraums trotz deren großen technischen Leistungen sehr bald weit überlegen waren, zeigt die Tatsache, daß per-

¹⁴ Vgl. z. B. ARISTOPHANES, *Frösche* v. 188, *Frieden* v. 174 und 790; PLATON, *Kratylos* 425 D.

¹⁵ Viele Belege für *μηχανή* und Verwandtes in dieser Bedeutung finden sich deshalb in ägyptischen Papyri des 1. vordchristlichen bis 6. nachchristlichen Jahrhunderts. Solche *μηχαναί* sind die Archimedische Wasserschnecke (vgl. zuletzt Verf. in: *Technikgeschichte* 33, 1966, S. 137 Anm. 36) und die aus den Werken von VITRUV und HERON VON ALEXANDRIA bekannten Schöpfmaschinen.

sische und ägyptische Herrscher für ihre großen Bauvorhaben gern und oft seit dem 6. vordchristlichen Jahrhundert griechische Ingenieure verpflichteten. Zu den bekanntesten unter ihnen gehören MANDROKLES VON SAMOS und HARPALOS, die den Bosporos für DAREIOS beziehungsweise XERXES überbrückten. — Erwähnt werden soll von den griechischen Ingenieuren dieser frühen Zeit noch EUPALINOS VON MEGARA, der für die Wasserversorgung von Samos einen langen Tunnel durch den oberhalb der Stadt gelegenen Berg Kastros trieb, wobei er von beiden Enden aus zugleich mit dem Vortrieb begann, ohne später nennenswert von der gewünschten und berechneten Richtung abgewichen zu sein¹⁶.

Diese Leistungen griechischer Ingenieure des 6. und 5. vordchristlichen Jahrhunderts setzen zumindest eine geschickte Anwendung der mathematischen Kenntnisse (Geometrie) ihrer Zeit und einfacher und zusammengesetzter Maschinen¹⁷ voraus. Sollte eine theoretische Behandlung dieser Werkzeuge, die Berechnung ihrer Wirkweise, dann erst durch STRATON VON LAMPSAKOS zum ersten Mal erfolgt sein? Auch vor ARISTOTELES, dem überlieferten Autoren jener ältesten erhaltenen Schrift, welche mechanische Probleme theoretisch behandelt, muß es eine solche Behandlung schon gegeben haben; denn sein Lehrer PLATON gibt uns Hinweise auf eine bereits zu seiner Zeit vollzogene Verknüpfung von Mathematik und Mechanischer Technik — speziell genannt wird im *Philebos* (55 DE) *ἡ στατική τέχνη* — und ARISTOTELES spricht schon von „mechanischen Beweisen“¹⁸; d. h. geometrischen Beweisen für die aufgrund geometrischer Betrachtungsweise zu abstrahierenden Größen an „mechanischen“ Bewegungsabläufen. — Von *μηχανικαὶ ἀποδείξεις* sollte später auch wieder PHILON VON BYZANZ sprechen, und seine Worte¹⁹ sind deshalb für diesen

¹⁶ Vgl. H. DIELS, *Antike Technik*. Leipzig und Berlin 1920, bes. S. 9 ff., und den Bericht über jüngste archäologische Untersuchungen an dem noch gut erhaltenen Tunnel von J. GOODFIELD und St. TOULMIN in: *Isis* 56, 1965, 46—55 (*How was the tunnel of Eupalinus aligned?*). Abbildungen findet man bei J. GOODFIELD, *The tunnel of Eupalinus*. *Scientific American* 210, June 1964, S. 104—112.

¹⁷ Vgl. für das Ende des 5. Jahrhunderts die wohl echte Schrift des HIPPOKRATES *Über Knochenbrüche*, Kap. 31 (Vol. III, S. 528, 16 ff. Littré): *ὁκόσα γὰρ ἀνθρώποις ἄρμενα μεμηχάνηται, πάντων ἰσχυρότατά ἐστι τρία ταῦτα, ὅν τε περιαγωγή καὶ μόχλευσις καὶ σκῆψις. ἀνευ δὲ τούτων, ἢ ἐνός δὴ τίνος ἢ πάντων, οὐδὲν τῶν ἔργων τῶν ἰσχυροτάτων οἱ ἄνθρωποι ἐπιτελοῦσιν.* (Vgl. Anm. 36.)

¹⁸ *Analytica posteriora* A 9 76^a 24; vgl. außerdem bes. *Metaphysik* M 3 1078^a 14 ff. (A 1 981^b 13 ff.).

¹⁹ *Belopoiika* 21, S. 59, 16 ff. THEV. in: *Philons Belopoiika* (Viertes Buch der Mechanik), Griechisch und deutsch von H. DIELS und E. SCHRAMM. Abh. Preuß. Ak. d. Wissensch., Jg. 1918. Phil.-hist. Kl. Nr. 16, Berlin 1919.

Zusammenhang von besonderem Interesse, weil er jene Beweise neben die φυσικοί λόγοι stellt, wodurch der Gegensatz von ‚Mechanik‘ und ‚Physik‘ deutlich zum Ausdruck kommt: Die ‚Mechanik‘ als angewandte Mathematik kann einen Sachverhalt ‚beweisen‘, darf andererseits aber selbstverständlich ebensowenig wie etwa mathematische Astronomie und geometrische Optik²⁰ gegen ‚Grundgesetze‘ (λόγοι) der ‚Physik‘ verstoßen, obgleich sie wie jene umgekehrt nichts Wesentliches zur Erkenntnis der ‚Physik‘ der natürlichen Körper (des Himmels, des Lichtes) beitragen kann, weil sie ja nur deren naturwidrige Bewegungen, die ihnen aufgezungen wurden, betrachtet.

Nach diesen Zeugnissen gab es also schon mindestens zur Zeit des älteren PLATON (zwischen 365 und 350 v. Chr.) eine theoretische ‚Mechanik‘ als angewandte Mathematik — welcher Art auch immer die theoretische Behandlung gewesen sein mag. PLATON sprach im Philebos speziell von der στατική τέχνη, die er im Charmides als das „Wissen vom schwereren und leichteren Gewicht“ definierte²¹. Am wichtigsten für unseren Zusammenhang ist jedoch eine Stelle aus den ‚Gesetzen‘ PLATONS. Im zehnten Buch findet sich dort eine systematische Behandlung aller Formen von ‚Bewegung‘ in antikem Sinne²²: Acht Bewegungsformen werden dihairetisch auseinander abgeleitet, Rotation, Translation durch Rollen und Gleiten und weitere ‚Bewegungen‘, die zu Wachstum, Schwund, Entstehen und Vergehen der Dinge führen. Für all diese ‚Bewegungen‘ gelten dann die beiden Formen der Ursache, Selbstbewegung und Bewegtwerden durch anderes. Also gilt auch für die Kreisbewegung, die Rotation, daß sie durch Selbstbewegung entsteht — dies sei die der Seele und den Himmelskörpern eigentümliche Bewegungsform — oder durch einen äußeren Beweger (mechanisch) verursacht wird. Sie ist als die höchste und ursprünglichste Bewegungsform in den Ausführungen des den Dialog führenden ‚Atheners‘ auch zuerst angesprochen (893 CD):

²⁰ Vgl. Verf., *Der Mathematikos und der Physikos*. In: Alte Probleme — Neue Ansätze. Drei Vorträge von ... Würzburg 1964. Wiesbaden 1965, S. 5 ff. (Beiträge zur Geschichte der Wissenschaft und der Technik, Heft 5).

²¹ *Charmides* 166 B 1 ff.: καὶ μὴν αὐτὴ ἡ στατική τοῦ βαρυτέρου τε καὶ κορυφότερου σταθμοῦ ἐστὶν στατική (sc. ἐπιστήμη). ἕτερον δὲ ἐστὶν τὸ βαρὺ τε καὶ κορυφὸν τῆς στατικῆς αὐτῆς.

²² Vgl. zu diesem Abschnitt (Gesetze 893 B ff.) zuletzt F. SOLMSEN, *Aristotle's System of the Physical World. A Comparison with his Predecessors*. Ithaca und New York 1960, S. 30 ff., und K. GAISER, *Platons ungeschriebene Lehre*. Studien zur systematischen und geschichtlichen Begründung der Wissenschaft in der Platonischen Schule. Stuttgart 1963, 173 ff.

„Steht nun nicht an einer gewissen Stelle das Feststehende fest und bewegt sich das Bewegte? — Wie sollte es denn nicht?“ antwortet sich der Athenener. — „Und das eine tut dies doch wohl irgendwo an einer einzigen Stelle, das andere aber an mehreren? — Du meinst wohl, werden wir antworten, daß sich etwas an ein und derselben Stelle bewegt, wenn es in seiner Mitte das Vermögen des Feststehenden erlangt, so wie die Peripherie von den sogenannten feststehenden Kreisen sich dreht? — Ja. — Wir lernen aber, daß eine solche Bewegung, da sie bei dieser Umdrehung den größten und den kleinsten Kreis zugleich herumführt, sich verhältnismäßig unter die kleinen und größeren (Kreise) verteilt, indem sie kleiner und größer gemäß dem Verhältnis ist (ἡ τοιαύτη κίνησις ἀνὰ λόγον αὐτὴν διαμένει μικροῖς τε καὶ μέλλοις, ἐλάττω τε οὖσα καὶ πλείων κατὰ λόγον). Deshalb ist sie ja zur Quelle aller Wunder geworden (τῶν θαυμασιῶν ἀπάντων πηγή), weil sie den großen und den kleinen Kreisen entsprechende Langsamkeiten und Schnelligkeiten zugleich in Bewegung setzt — eine unmögliche Eigenschaft (πᾶθος), wie mancher wohl erwarten würde. — Eine große Wahrheit sprichst du aus.“

Stellt man neben diese Stelle aus dem Alterswerk PLATONS die Einleitung der peripatetischen Schrift ‚Mechanische Probleme‘, so erscheint sie wie ein Hinweis auf jene Schrift, wie eine Zusammenfassung ihrer Ergebnisse; denn dort war ebenfalls von den ‚wunderbaren Eigenschaften der Kreise‘ die Rede, und die wunderbarste dieser Eigenschaften war ihrem Autoren, daß die verschiedenen großen Kreise (bei gleicher Winkelgeschwindigkeit) verschiedene (Linear-)Geschwindigkeiten haben, daß kein Punkt eines Fahrstrahls die gleiche Geschwindigkeit aufweist wie ein anderer, daß vielmehr ein Punkt desto schneller wird, je weiter er vom ruhenden Zentrum entfernt ist. Es war dann in der Schrift gezeigt worden, daß die Geschwindigkeiten der Kreise, d. h. die in gleichen Zeiten durchlaufenen Bögen, im Verhältnis ihrer Halbmesser wachsen; und diese Eigenschaft der Bewegung konzentrischer Kreise wurde als die Ursache aller Wunder ‚mechanischer‘ Bewegungen erkannt und fand durch den Autoren eine qualitativ-,dynamische‘ Erklärung²³.

Die peripatetische Schrift ist in der Form, wie sie uns vorliegt, aber sicherlich nachplatonisch, der oben zitierte Passus aus den platonischen ‚Gesetzen‘ deutet also, zumal er für den eigentlichen Zusammenhang nichts hergibt und somit kaum für diesen erstmals konzipiert worden sein kann²⁴, auf die Kenntnis einer Schrift hin, die ‚mechanische Wunder‘ auf ähnliche Weise mit der verschiedenen Lineargeschwindigkeit von konzentrischen

²³ Vgl. vorerst zu dieser Schrift und ihrem mathematischen Gehalt TH. HEATH, *Mathematics in Aristotle*. Oxford 1949, S. 227 ff.

²⁴ Vgl. bei PLATON etwa schon *Timaios* 40 B.

Kreisen verschiedenen Durchmessers mit gleicher Winkelgeschwindigkeit zu erklären versuchte wie die ‚Mechanischen Probleme‘.

•

Kann es eine solche Schrift gegeben haben? — Ich vermute, daß ARCHYTAS²⁵ eine Schrift diesen Inhalts verfaßt hatte, die dann dem Autoren der peripatetischen Schrift ‚Mechanische Probleme‘ als Anregung und Quelle diente.

Da wir aber heute keine Schriften und fast keine wörtlichen Fragmente von ARCHYTAS mehr besitzen und die Doxographie der Antike gerade für ARCHYTAS von vielem mit Sicherheit Unrechtem überwuchert ist, wird dies immer nur eine Vermutung bleiben können. — jedoch eine Vermutung mit recht hohem Wahrscheinlichkeitsgrad, wie ich, wenn in diesem Zusammenhang auch vorerst nur andeutungsweise, zeigen zu können hoffe.

Jede Wissenschaft und jede wissenschaftliche Äußerung wird nämlich durch zwei — wechselweise jeweils mehr oder weniger stark zur Geltung kommende — Faktoren unverkennbar geprägt, durch ihren Urheber und Schöpfer und durch den Historischen Raum, in dem sie entsteht. Sie läßt sich dadurch mit den methodischen Mitteln des Historikers und Philologen jeweils ihrem Schöpfer und Urheber, aber auch ihrem bestimmten Historischen Raum zuordnen, bleibt jedoch andererseits ohne jene historisch-philologischen Hilfsmittel nur verständlich, solange die sie konstituierenden Präsentabilien alle noch Bestandteil des gegenwärtigen Historischen Raumes sind oder sich doch nicht wesentlich von den entsprechenden jenes Raumes unterscheiden.

Für die Anfänge der theoretischen Mechanik ist uns der erste Faktor, die Person ihres Begründers, vorerst nicht greifbar. Wir müssen uns also indirekter Methoden bedienen, um die Hintergründe ihres Entstehens aufdecken zu können, und so bleibt uns nur der Historische Raum zu erkunden, in dem die theoretische Mechanik der Antike mit ihren spezifischen Methoden und Deutungen entstanden sein kann und muß. Diese spezi-

²⁵ Schon E. FRANK (*Plato und die sogenannten Pythagoreer*, Halle 1923, S. 379 Anm. 365) sieht als Quelle jenes „Abrisses der Mechanik bei PLATO, Ges. 893 B ff.“ ARCHYTAS an. Doch beruhen seine umfangreichen Zuweisungen überwiegend auf bloßen, stark verallgemeinernden Spekulationen, auch können wir ARCHYTAS nur für die Rotation als Vorlage wahrscheinlich machen (vgl. jedoch Anm. 24). E. FRANK weist dort auch auf PSEUDO-ARISTOTELES, *Problemata physica* XVI 9 hin (jetzt = ARCHYTAS, VS 47 A 23 a).

fischen Eigenarten sind ihrerseits jenen späteren Zeugnissen antiker theoretischer Mechanik zu entnehmen, die noch auf uns gekommen sind. Der mit deren Hilfe sondierte und näher zu kennzeichnende Historische Raum wird dann seinerseits helfen, vom Ursprung her die antiken Äußerungen zur theoretischen Mechanik besser verstehen und ihre Stellung in der Wissenschafts- und Geistesgeschichte überhaupt charakterisieren und bestimmen zu können.

Unter Historischem Raum soll hier das Ganze eines geographisch-klimatischen und geistig-kulturellen Bereiches verstanden werden, dessen Komponenten unter anderem auch die Präsentabilien für alle Arten von geistigen und sinnlichen Erfahrungen beeinflussen. Allerdings werden im Wandel der Zeit und für verschiedene Zweige der Wissenschaft jeweils auch andere Komponenten in stärkerem Maße als die übrigen wirksam, weil sie die jeweils konstituierenden Präsentabilien und den einzelnen Forscher und ‚Spezialisten‘ mehr oder weniger stark beeinflussen. Der erfahrene und beobachtete Gegenstand der sozusagen unveränderlichen ‚Natur‘ mit ihren unveränderlichen Naturgesetzen bleibt ja in der Regel derselbe oder doch der gleiche, aber der Blick- und Standpunkt des Beobachters ändert sich ständig mit dem Historischen Raum und aufgrund individuell wirksamer Faktoren. Dadurch ändern sich auch Erfahrung und Beobachtung, die ihrerseits wieder auf einzelne Komponenten des Historischen Raumes ändernd wirken können.

Sobald sich neben dieser allmählichen und wechselseitig bedingten Änderung einzelner Komponenten andere oder dieselben sprunghaft verändern, und zwar soweit, daß die Grundlagen für das Verständnis einer Erfahrung oder Beobachtung verschoben oder gänzlich genommen werden, können höchstens — eigentlich notwendig unverständliche — Ergebnisse oder Anregungen zu Beobachtungen, die auch in dem neuen Historischen Raum möglich sind, aus dem alten übernommen werden. Sind doch die geistigen Leistungen eines Historischen Raumes diesem unverkennbar eigen, nicht in einem anderen genau wiederholbar und nur so weit in anderen Räumen erkennbar, wie auch dieses Gemeinsames sie konstituierend beeinflusst. So kann aus einer Erfahrung und ihrer Deutung bei der Übernahme in einen anderen Historischen Raum etwas ganz anderes und Neues entstehen, wie besonders deutlich der Wandel der antiken Wissenschaft von der Natur und der antiken ‚Künste‘ zur neuzeitlichen Naturwissenschaft seit der Renaissance zeigt. Das gilt auch für die antike Kunst ‚Mechanik‘, die jetzt zu einer ‚Natur‘-Wissenschaft wird.

Ganz am Anfang der Traditionskette, die uns mit der griechisch-römischen Antike verbindet, beginnt der Weg dessen, was wir seitdem unter Wissenschaft verstehen. Dazu gehört von Beginn an auch und vornehmlich

die Mathematik²⁶, die — ursprünglich von empirisch gewonnenen Kenntnissen der Praxis ausgehend — wieder auf die Praxis selbst angewendet werden konnte. Ein Zweig dieser angewandten Mathematik ist schon in der Antike die theoretische ‚Mechanik‘, deren älteste Teildisziplin sich mit dem Heben und Bewegen schwerer Lasten beschäftigt, denen ihrerseits auch die älteste erhaltene ‚mechanische‘ Schrift fast ausschließlich ihre Erörterungen widmet.

Wir haben jedoch schon gesehen, daß diese Schrift wahrscheinlich nicht die älteste überhaupt gewesen ist, die ‚mechanische‘ Probleme künstlicher Bewegungen theoretisch behandelte. Es soll deshalb im folgenden der Versuch unternommen werden, durch das Aufzeigen mir für die Zeit ihres Entstehens wesentlich erscheinender Komponenten Ursprung und Entwicklung dieses ältesten Zweiges antiker Mechanik und theoretischer Mechanik überhaupt zu beleuchten und jene oben geäußerte Vermutung, daß ARCHYTAS der Begründer einer theoretischen Mechanik sei, mit einigen Argumenten zu stützen. Aus dieser ‚mechanischen‘ Betrachtungsweise ist nach Änderung einiger für ihr Entstehen ursprünglich wesentlicher geistiger Faktoren nämlich die neuzeitliche Klassische Mechanik entstanden, und so könnte der Nachweis des Ursprungs und auch nur eines der für die neue Betrachtungsweise wesentlichen Faktoren vielleicht auch zum Verständnis dieser neuen, für den Bereich der Makrophysik in Grenzbereichen noch unumschränkt ‚gültigen‘ Betrachtungsweise und zum Selbstverständnis neuzeitlicher Mechanik und Physik überhaupt beitragen.

*

Die ‚Gesetze‘ PLATONS, in denen sich der oben zitierte Hinweis auf eine Erklärung der Wirkweise ‚mechanischer‘ Geräte durch die unterschiedliche Lineargeschwindigkeit konzentrischer Kreise verschiedenen Durchmessers aber gleicher Winkelgeschwindigkeit fand, die älter als jene aus den ‚Mechanischen Problemen‘ sein muß, entstanden in seinen letzten Lebensjahren, also vermutlich zwischen den Jahren 350 und 347 v. Chr. Daß PLATON mehrmals mit ARCHYTAS zusammentraf, ist gut bezeugt — während seiner letzten Sizilienreise in den Jahren 361/360 v. Chr. war er sogar auf dessen Hilfe angewiesen. Beide scheint eine enge Freundschaft und reger Gedankenaustausch verbunden zu haben. Auch sonst ist Platonisches Denken in vieler Hinsicht durch pythagoreisches der unteritalienischen Schule um ARCHYTAS beeinflusst.

²⁶ Vgl. dazu J. MITTELSTRASS, *Die Entdeckung der Möglichkeit von Wissenschaft*. Archive for History of Exact Sciences II, Heft 5 (1965), S. 410—435.

Diese unteritalienischen Pythagoreer scheinen andererseits aber auch starken Anteil an der sprunghaften Entwicklung in der Konstruktion von großen Geschützen aus Bogen, Armbrust und Schleuder gehabt zu haben, die in Syrakus erfolgte, wohin DIONYSIOS DER ÄLTERE (405—367 v. Chr.) die besten griechischen Ingenieure berufen hatte, um unter anderem wirksame Waffen zur Abwehr der Karthager konstruieren zu lassen. Auf den Einfluß jener Pythagoreer wird dabei das später von alexandrinischen Ingenieuren zur Zeit des KTESIBIOS (1. Hälfte des 3. vordchristlichen Jahrhunderts) — wieder nach umfangreichem und aufwändigem Experimentieren und Probieren — verbesserte Einheitsmaß zur Bestimmung der Abmessungen aller Einzelteile der Geschütze zurückgehen²⁷.

Wir wissen daneben aus der Geschichte der Mathematik, daß gerade ARCHYTAS sich mit den aus verschiedenen Einzelbewegungen resultierenden Bewegungen (Bewegungskurven) beschäftigte. Auf diese Weise gelang ihm ja seine ‚mechanische‘ Lösung des Delischen Problems der Würfelverdoppelung²⁸. Sein Schüler EUDOXOS VON KNIDOS, der in der ersten Hälfte des 4. vordchristlichen Jahrhunderts wirkte und zeitweilig als Gast der Platonischen Akademie angehörte, ließ erstmals die verwinkelten Planetenbewegungen aus den verschieden gerichteten gleichförmigen Kreisbewegungen mehrerer jeweils einem Planeten zugeordneter Sphären resultieren. PLATON macht ähnliches im *Timaios*, wo jeder Planet zwei Kreisbewegungen ausführt; er kennt im Zusammenhang mit den Planetenbahnen auch die Abhängigkeit der gegenläufigen Lineargeschwindigkeit von dem Erdbestand des Planeten (‚Gesetze‘ VII 822 AB). Die Zerlegung einer Bewegung in ihre einzelnen Komponenten gibt aber auch dem Autoren der ‚Mechanischen Probleme‘ die Möglichkeit der ‚dynamischen‘ Erklärung ‚mechanischer‘ Bewegungen, indem nach dem Vorbild des Parallelogramms der Bewegungen die Kreisbewegung der konzentrischen Kreise ungleichen Durchmessers in eine ‚natürliche‘, tangential gerichtete, und eine ‚unnatürliche‘, zum Zentrum gerichtete, Komponente zerlegt werden, deren wechselnde Verhältnisse die unterschiedlichen Geschwindigkeiten auf den Kreisperipherien ergeben sollen — und eine ähnliche Zerlegung der Kreisbewegung wird auch in jener Schrift den Ausgangspunkt der Erörterung

²⁷ Vgl. H. DIELS, *Antike Technik*. Berlin und Leipzig 2 1920, S. 19 ff. und 91 ff., daneben meinen Artikel ‚Mechanik [B 4]‘ im *Lexikon der Alten Welt*. Zürich und Stuttgart 1965.

²⁸ Vgl. O. BECKER, *Das mathematische Denken der Antike*. Göttingen 1957, S. 76—82 (Studienhefte zur Altertumswissenschaft, Heft 3). Auch die Quadratrix des HIPPIAS VON ELIS (vor 400 v. Chr.) wird durch zwei Bewegungen erzeugt.

gebildet haben, deren mit jenem der ‚Mechanischen Probleme‘ übereinstimmenden Grundgedanken Platon in den ‚Gesetzen‘ wiedergab.

EUDEMOS bezeugt (fr. 60 WEHRLI = VS 47 A 23²⁹), daß ARCHYTAS im Ungleichmäßigen (τὸ ἀνόμαλον) und Ungleichen (τὸ ἀνισόν) die Ursachen (αἰτίαι) der Bewegung gesehen hat, nicht schon die Bewegung selbst, wie dann später PLATON. Die ungleichen konzentrischen Kreise sind aber letztlich die Ursache der Bewegung auch in den ‚Mechanischen Problemen‘. Besonders interessant ist für diesen Zusammenhang das 8. Kapitel, wo demnach mit τῶνς vermutlich ARCHYTAS gemeint ist (851^b 35 ff.):

Warum sind runde und kreisförmige Formen am beweglichsten? . . . Ferner behaupten einige (τῶνς), daß die Kreislinie genau so ständig in Bewegung sei, wie das Ruhende in Ruhe bleibe, weil es fest aufliegt, wie es auch für die größeren Kreise im Vergleich zu den kleineren zutrifft. Schneller nämlich werden von einer gleichgroßen ‚Kraft‘ (ισχύς) die größeren bewegt und bewegen sie die Gewichte, weil der Bogen des größeren Kreises im Verhältnis zu dem des kleineren eine gewisse ‚Bewegungskraft‘ (ein gewisses ‚Übergewicht‘: ῥοπή) besitzt, und zwar in dem Verhältnis wie der Durchmesser zum Durchmesser. Aber jeder Kreis ist ja ein größerer im Vergleich zu irgendeinem kleineren, sind es doch jeweils unbegrenzt viele, die (noch) kleiner sind. (D. h. für jeden Kreis kann man sich unbegrenzt viele kleinere vorstellen, über die er ein ‚Übergewicht‘ hat, so daß er sich von selbst bewegen muß.)

In den gleichen Zusammenhang gehört Problem 9 des XVI. Buches der unter dem Namen des ARISTOTELES überlieferten peripatetischen Schrift ‚Problemata physica‘ (915^a 25 ff. = VS 47, ARCHYTAS, A 23 a), wo der Name des ARCHYTAS auch ausdrücklich genannt ist. Noch in weiteren Fällen ist jenes für die Problemata-Literatur typische Frage-und-Antwort-Spiel für ARCHYTAS bezeugt (vgl. VS 47 A 22 und 24), und es läßt sich nachweisen, daß es die Literatur-Gattung der Problemata für die verschiedensten Gebiete bereits von der Zeit der Sophistik an gegeben hat³⁰.

Besonders unter den Mathematikern und ‚Physikern‘ scheint diese Methode der Behandlung von solchen Problemen, die als zusammenhängend gelten³¹, weil sie auf die gleiche Ursache zurückgeführt werden können, sehr

²⁹ F. WEHRLI, *Die Schule des Aristoteles*. Texte und Kommentar. Heft 8: *Eudemos von Rhodos*. Basel 1955. — VS = *Die Fragmente der Vorsokratiker*. Griechisch und deutsch von H. DIELS, hg. von W. KRANZ. Berlin 1952 u. ö.

³⁰ Vgl. H. FLASHAR, a. a. O. (s. Anm. 1), S. 298 ff., wo entsprechende Belege aus der Zeit der zweiten Hälfte des 5. vordristlichen Jahrhunderts zusammengestellt sind.

³¹ Nach diesem Gesichtspunkt sind auch die einzelnen Bücher der unter dem Namen des ARISTOTELES überlieferten unechten *Problemata physica* zum Teil noch geordnet und zusammengestellt.

beliebt gewesen zu sein. Worin sich ein ‚Problem‘ von einem bloßen ‚Theorem‘ unterscheidet, ist jedenfalls schon in der Mitte des 5. vordristlichen Jahrhunderts festgelegt; aus der Schule des OINOPIDES stammt nämlich jene bei PROKLOS³² erhaltene Unterscheidung, wonach ein ‚Theorem‘ nur nach den „Anzeichen“ für einen Sachverhalt sucht, ein Problem dagegen auch nach dem, aufgrund dessen dieser Sachverhalt besteht (. . . τὸ μὲν θεώρημα ζητεῖ, τί ἐστὶν σύμπτωμα τὸ κατηγορούμενον τῆς ἐν αὐτῷ ὕλης, τὸ δὲ πρόβλημα, τίνας ὄντος τί ἐστὶν). In der Form des Frage-und-Antwort-Spiels sucht man also schon im 5. vordristlichen Jahrhundert nach den Ursachen (αἰτίαι) eines Sachverhaltes oder Vorganges, und zwar besonders dann, wenn dieser Sachverhalt oder Vorgang seltsam (θαυμάσιος) erscheint, als ein Wunder³³.

Die in den ‚Mechanischen Problemen‘ faßbare Methode zur Behandlung gleichartiger Probleme ist demnach bereits zur Zeit des ARCHYTAS, der ja wenig älterer Zeitgenosse PLATONS war, ausgebildet gewesen; und wenn GEMINOS — bei PAPPOS, Coll. VIII 3 — sagt, ARCHIMEDES habe für alle Arten von ‚mechanischen‘ Apparaten und Automaten „Ursache und Berechnung“ (τὴν αἰτίαν καὶ τὸν λόγον) erkannt, so zielt das nicht auf die Begründung einer theoretischen ‚Mechanik‘ durch ARCHIMEDES, sondern auf die der zu seiner Zeit axiomatisch aufgebauten Statik. Daß diese nicht den Anfang einer theoretischen Behandlung ‚mechanischer‘ Probleme überhaupt bildete, haben wir bereits an der anders aufgebauten peripatetischen Schrift gesehen, die nach Problemata geordnet den Wirkweisen mechanischer Geräte eine qualitativ-,dynamische‘ Erklärung zuteil werden ließ. Damit schien sie aber wieder auf einer älteren Schrift des ARCHYTAS zu basieren.

So sagt denn auch DIOGENES LAERTIOS³⁴ nach älteren Quellen, Archytas „habe als erster die Mechanik unter Heranziehung mathematischer Prinzipien methodisch behandelt“ (οὗτος πρῶτος τὰ μηχανικά ταῖς μαθηματικαῖς προσχρησάμενος ἀρχαῖς μεθόδευσε). Das kann sich nicht — wie z. B. I. L. HEIBERG³⁵ meint — auf die ‚mechanische‘ Lösung des Delischen Problems beziehen, weil diese von DIOGENES LAERTIOS als zweite Leistung des ARCHYTAS unabhängig davon angeführt wird. Vielmehr wird man ARCHYTAS in der Tat als den Begründer einer theoretischen Behandlung

³² In *Eucl. elem. I*, S. 80,15 ff. ed. FRIEDLEIN = OINOPIDES, VS 41 fr. 12.

³³ Vgl. XENOPHON, *Symposion* VII 4.

³⁴ *Vitae philosophorum* VIII 83 = ARCHYTAS, VS 47 A 1.

³⁵ I. L. HEIBERG, *Geschichte der Mathematik und der Naturwissenschaft im Altertum*. München 1960 [1925] (Handbuch der Altertumswissenschaft. Bd. 5, Teil 1, Abteilung 2), S. 67.

„mechanischer“ Probleme anzusehen haben. — Ich hoffe, daß die vorangestellten Argumente, die sich noch um manche vermehren ließen, womit jedoch der Rahmen dieser Arbeit gesprengt werden würde, dazu ausreichen, die Aussage des DIOGENES LAERTIOS zu bestätigen und die Vermutung zu bekräftigen, daß die archyteische Schrift, mit der die theoretische „Mechanik“ begründet wurde, zum Teil frei exzerpierte Quelle der peripatetischen Schrift „Mechanische Probleme“ gewesen ist, von der ich annehme, daß sie eine wohl von späteren Peripatetikern erweiterte Schrift des ARISTOTELES selbst ist. — Doch die Entscheidung der Echtheitsfrage spielt für diesen Zusammenhang keine wesentliche Rolle.

DIOGENES LAERTIOS führt unter dem Namen des ARCHYTAS eine Schrift *περὶ μηχανῆς* an, die allerdings teilweise einem anderen ARCHYTAS, und zwar ARCHYTAS dem „Ingenieur“ (*ἀρχιτέκτων*), zugewiesen werde. Sollte es sich bei diesem Titel nicht doch um jene erschlossene Schrift des ARCHYTAS handeln? In der Einleitung zu den „Mechanischen Problemen“ heißt es nämlich — für spätere Zeit eigenartig und eigentlich unverständlich —, derjenige Teil der Kunst, welcher gegen die Natur eines Körpers Gerichtetes vollbringen könne, werde *μηχανή* (nicht *μηχανική* sc. *τέχνη*., wie dann schon bei ARISTOTELES selbst!) genannt, „Hilfsmittel“: *διὸ καὶ καλούμεν τῆς τέχνης τὸ πρὸς τοιαύτας ἀπορίας βοηθοῦν μέρος μηχανήν* (847^a 18 f.). Späteren Generationen erschien es sicherlich unwahrscheinlich, ja als Verunglimpfung, daß der Pythagoreer ARCHYTAS, Mathematiker, Philosoph und Staatsmann, sich auch als „Ingenieur“ („Mechaniker“) betätigt haben sollte, weshalb die Schrift für unecht erklärt worden sein kann: Ein neuer ARCHYTAS wurde erschlossen, um jene Tätigkeiten des Pythagoreers zu verkörpern, die in späteren Zeiten nicht mehr als mit dem Philosophen und Theoretiker vereinbar galten.

Doch wissen wir glücklicherweise aus anderen Quellen von seiner Tätigkeit als praktischer „Mechaniker“, als Ingenieur. Die mechanische Klapper oder Rassel, von der ARISTOTELES in seiner „Politik“ berichtet (Θ 6 1340^b 26 ff. = ARCHYTAS, VS 47 A 10), mag als Kinderspielzeug nicht unbedingt dafür sprechen. Doch die bei GELLIUS (Noctes Atticae X 12,8 = ARCHYTAS, VS 47 A 11) und FAVORINUS erwähnte fliegende Taube aus Holz ist der erste „Automat“, von dem wir wissen. Wie ihr Mechanismus auch immer funktioniert haben mag — GELLIUS spricht, im Anschluß an FAVORINUS (?), von Waagen und pneumatischen Einrichtungen, die in ihrem Innern verborgen gewesen seien (a. a. O.: *affirmatissime scripserunt simulacrum columbae e ligno ab ARCHYTA ratione quadam disciplinaque mechanica factum volasse; ita erat scilicet libramentis suspensum et aura spiritus inclusa atque occulta concitum.*) — ihre Konstruktion und ihr Bau setzt auf alle Fälle praktisches Können und theoretische Einsicht in

die Wirkweise und Berechnung ungleicharmiger Waagen und dergleichen voraus. — Praxis und Theorie in der *τέχνη* waren es auch, welche die Medizin dieser Zeit als gleichwertig und gleichermaßen notwendig für ihre „Kunst“ betrachtete³⁶.

*

Das Bild der Wissenschaft und Technik dieser Zeit um 400 v. Chr., das sich auf die im vorigen Abschnitt skizzierte Weise gewinnen läßt, legt nahe, die Entstehung einer theoretischen „Mechanik“ in eben dieser Zeit anzusetzen.

Die „Mechanik“ galt, wie schon gesagt wurde, in der Antike und im Mittelalter als eine Kunst und hatte als Kunst dort einzugreifen, wo die Natur das vom Menschen Erwünschte nicht von sich aus vollbringen konnte. Das Künstliche ist damit etwas Nicht-Natürliches, ja etwas Naturwidriges. Im Falle der „Mechanik“, der sich Mittel und Werkzeuge zur „Überlistung“ der Natur bedienenden Kunst der Antike, ist diese Auffassung dann endgültig erst von GALILEO GALILEI und seinen Nachfolgern überwunden worden, die aufzeigten, warum man auch mit mechanischen Hilfsmitteln nur etwas erreichen kann, wenn man der Natur folgt, sich nach ihren „Gesetzen“ richtet. Auch bei der Anwendung einer Maschine geschehe nichts Widernatürliches.

Eine entgegengesetzte Auffassung herrschte jedoch, wie oben skizziert wurde, in der Antike, und wir haben uns zu fragen, wann, d. h. in wel-

³⁶ Vgl. dazu besonders die in Anm. 11 zitierte Arbeit von G. H. KNUTZEN, in der die Autorschaft des HIPPOKRATES für die drei Schriften des Corpus Hippocraticum *περὶ διαίτης ὁρίων*, *περὶ ἀγμῶν* und *περὶ ἄρθρων ἐμβολῆς* sehr wahrscheinlich gemacht wird (s. a. oben Anm. 17). Auffallend an diesen drei Schriften ist die von KNUTZEN ermittelte gemeinsame Auffassung von der *τέχνη* (*ἐγερτική*), die als gleichzeitiges „Tun und Denken“ (*φρονεῖν καὶ ποιεῖν*) lediglich die (einzelne oder als solche allgemein aufgefaßte) „Tätigkeit des Arztes“ bezeichnet (*τέχνη* = *ἐργάζεσθαι*), jedoch noch nicht die dieser Tätigkeit zugrundeliegende und getrennt von ihr bestehende abstrakte „medizinische Kunst (Wissenschaft)“, die dann erst in der späteren (unechten?) Schrift *περὶ ἀρχαίας ἐγερτικῆς* und in den Platonischen Dialogen mit dem Wort *τέχνη* erfaßt wird. ARCHYTAS ist jüngerer Zeitgenosse des HIPPOKRATES, und auch er scheint demnach noch nicht von einer *μηχανική τέχνη* als „Mechanischer Kunst“ gesprochen haben zu können. In Verbindung mit dem oben zitierten Ausdruck in den *Mechanischen Problemen* erhielt somit der Titel *περὶ μηχανῆς* für ARCHYTAS aus dem technologischen Schrifttum seiner Zeit eine Bestätigung. (Vgl. dazu meine Besprechung der Arbeit von KNUTZEN: DLZ 88 [1967], Heft 4.)

chem Historischen Raum und vor welchem geistigen Hintergrund, diese Auffassung entstanden sein kann; denn sie ist mit einer Wertung verbunden und hat dadurch die Entwicklung antiker ‚Naturwissenschaft‘ und ‚Mechanik‘ entscheidend beeinflusst, daß sie eine Wechselwirkung zwischen beiden verhinderte.

Die ‚Physik‘ hatte als Wissenschaft von der ‚Natur‘ der Dinge in der Antike nachweisbar seit PLATON eindeutig den Vorrang gegenüber der Beschäftigung mit künstlichen Dingen, die zum Nutzen und Ergötzen des Menschen erfunden werden. Da die ‚Natur‘ als ein organisches Ganzes, der Kosmos als ein Lebewesen aufgefaßt wird, kann die ‚Natur‘ auch eines einzelnen Dinges danach nicht mehr isoliert betrachtet werden. Greift der Mensch künstlich in den organischen Zusammenhang und den natürlichen Ablauf ein, so kann er dann nicht mehr ‚Natur‘ erkennen, sondern nur noch menschliche ‚Kunst‘. Die ‚Mechanik‘ als die Herstellung und theoretische Erörterung von μηχαναί, von Mitteln zur ‚Überlistung‘ der Natur, kann für die Antike also keine ‚Naturwissenschaft‘ sein und ist es auch nie gewesen.

Diese Beurteilung und Bewertung des Unnatürlichen an der ‚Mechanik‘ kam schon in den ‚Mechanischen Problemen‘ deutlich zum Ausdruck. Wir kennen die Gegenüberstellung von φύσις und τέχνη auch aus den aristotelischen, platonischen und hippokratischen Schriften. Ihre Bewertung scheint aber noch älteren Ursprungs zu sein; denn in der zweiten Hälfte des 5. vordhrstlichen Jahrhunderts überschritt die Anwendung geschickt und listig eingesetzter Mittel die den Griechen eigentlich stets recht weit gesteckten Grenzen der Schicklichkeit so weit, daß es zu einer heftigen Reaktion kam. σοφός bedeutete um 400 v. Chr. nicht mehr ‚weise‘, sondern ‚klug‘, ‚gerissen‘; ‚Sophist‘ konnte so zu einem Schimpfwort werden, und σοφίσματα zu μηχανήματα. Diese ‚Listen‘ und Machenschaften der Sophisten, die durch ihre geistigen Mittel alles erreichen zu können meinten und versprochen, wurden verpönt: Es gebe nicht für alles und gegen alles ein Mittel, die Natur lasse sich nicht beeinflussen, man müsse ihr vielmehr Folge leisten, sich nach ihr richten. Das gilt für das Gebiet der Medizin ebenso wie für die innermenschlichen Beziehungen: Geradliniges, natürliches Verhalten und Handeln sollten an die Stelle der entarteten sophistischen Machenschaften und gewaltsamer Heilmethoden treten.

Sehr anschaulich und eindringlich wird diese aktuelle Diskussion um den Gegensatz von μηχανή beziehungsweise τέχνη und φύσις und ihre Bewertung in den attischen Tragödien und Komödien des letzten Drittels des 5. vordhrstlichen Jahrhunderts — in den Intrigendramen eines EURIPIDES, bei ARISTOPHANES, der seinen beißenden Spott sich über Wissenschaftler, Ingenieure und Politiker seiner Zeit ergießen läßt und ihre Methoden an-

prangert, aber auch bei SOPHOKLES. Sein Drama ‚Philoktet‘ mag als Beispiel besonders angeführt werden, in dem das geradlinig-natürliche, seiner φύσις (seinem Adel, seiner Herkunft) entsprechende ehrliche Verhalten des Neoptolemos sich allmählich gegen die ihm von Odysseus aufgezwungene und vorerst angenommene unlautere Haltung gegenüber dem hilflosen Philoktet durchsetzt und dann, als Neoptolemos sich ihrer bewußt wird, eindeutig über die Listen und betrügerischen Machenschaften des Odysseus triumphiert³⁷ — eines Odysseus, dessen listenreiches Handeln in früheren Zeiten und teilweise auch später wieder dem Griechen als vorbildlich gegolten hatte.

Im Geschichtswerk HERODOTS, das um 430 v. Chr. abgeschlossen wurde, werden aus der gleichen Einstellung heraus die großen und zum Teil von Griechen ausgeführten technischen Leistungen, mit denen die Perserkönige ihre Griechenlandzüge ermöglichten — nämlich die Überbrückung des Bosporos und der Kanalbau, welcher der Flotte die beim ersten Versuch so verhängnisvolle Umschiffung des Athos ersparen sollte und diese Halbinsel zur Insel machte — als frevelhafte, gottlose Eingriffe in die Natur angesehen. HERODOT sah so in diesen Eingriffen auch Mitursachen für den zweimaligen Untergang des Perserheeres³⁸.

³⁷ Durch die Überwindung der vorher nur angenommenen — allerdings bereitwillig angenommenen — List, nach dem Fehlschlagen auch der Überredung, wird sich Neoptolemos, an der Standhaftigkeit des Philoktet gewachsen, der Schlechtigkeit seiner Auftraggeber und damit auch des eigenen zum Durchbruch gekommenen Andersseins bewußt: Die φύσις triumphiert über die μηχανή; doch nicht so, daß sie sich an deren Stelle setzt — wie es vor dem Auftreten des ‚deus ex machina‘ erscheint — sondern so, daß sie trotz deren Gegenwärtigkeit in stets von neuem zu erkämpfendem Sieg über jene besteht. Herakles, der ‚deus ex machina‘, gibt mit seinem Schicksal das Beispiel dafür und führt Philoktet (und Neoptolemos) zu der Erkenntnis, daß nur der zweite Triumph ein echter Sieg ist: Philoktet und Neoptolemos fahren nicht in die Heimat, sondern nach Troja. — Vgl. dazu H. ERBSE, *Neoptolemos und Philoktet bei Sophokles*. *Hermes* 94, 1966, S. 177–201.

³⁸ Vgl. bes. VII 22,3 und 35,2, außerdem das Orakel der PYTHIA, welches die Knidier sich nach HERODOT (I 174,5) erbeten hatten, weil die Arbeiter beim Bau eines Kanals durch die Halbinsel von Knidos (Südwestecke von Kleinasien), der sie vor der Eroberung durch HARPAGOS schützen sollte, ungewöhnlich viele Unfälle erlitten:

Ἰσθμὸν δὲ μὴ πυργοῦτε μηδ' ὀρύσσετε
 Ζεὺς γὰρ κ' ἔθηκε, εἰ κ' ἐβούλετο.

(„Baut keine Mauer auf dem Isthmos, hebt keinen Graben aus; denn Zeus hätte ihn zur Insel gemacht, wenn er es gewollt hätte.“) Dazu vgl. L. HUBER, *Religiöse und politische Beweggründe des Handelns in der Geschichtsschreibung des Herodot*. Diss. Tübingen 1965, S. 34 Anm. 1, S. 139 und 161.

In dieser extremen Form findet sich die Bewertung der τέχναι auf allgemeiner Ebene jedoch nur als unmittelbare Reaktion auf die im letzten Drittel des 5. Jahrhunderts entartete Sophistik. Schon bei PLATON ist sie sehr viel positiver. Daß die Wertung für die theoretische ‚Mechanik‘ noch lange beibehalten wurde, weist doch wohl deutlich darauf hin, daß sie nur in diesem Historischen Raum Griechenlands um 400 v. Chr. entstanden sein kann — oder doch so starke Impulse erhielt, daß diese lange nachwirken konnten. Es ist die Zeit, in der ARCHYTAS aufwuchs.

Vor dieser Zeit, etwa bei EMPEDOKLES und in einigen der hippokratischen Schriften — ganz zu schweigen von ANAXIMANDER aus dem 6. vorchristlichen Jahrhundert, der sich die Welt mit Bildern aus der Technik und dem Handwerk deutete —, galten technische Vorgänge durchaus als Analoga zu solchen in der Natur und konnten deren Ablauf exemplarisch dokumentieren³⁹. Die strenge Scheidung von technisch-künstlichen und natürlichen Dingen ist dann erst in jenem von einigen Seiten her skizzierten Historischen Raum entstanden und anschließend philosophisch begründet worden. Überwunden wurde die Scheidung erst wieder in der Spätrenaissance um 1600; jetzt konnte ähnlich wie bei den genannten älteren antiken Naturphilosophen an künstlich-technischen und experimentell ausgelösten Vorgängen Beobachtetes zur Erklärung von Vorgängen in der Natur herangezogen werden — und davon machte das 17. Jahrhundert dann ja auch ausgiebigen Gebrauch.

Da die praktisch-technische ‚Mechanik‘, die Technik, älter als die theoretische ‚Mechanik‘ war, blieb sie von dieser negativen Wertung auf die Dauer frei. Die Ingenieure und Baumeister waren zu fast allen anderen Zeiten und in allen Schichten des Volkes bei den Griechen hoch angesehen — auch wieder bei den großen attischen Philosophen PLATON und ARISTOTELES, wie ihr Werk zeigt. Doch der Gegensatz zwischen naturgemäßer und naturwidriger Bewegung hatte inzwischen eine ‚philosophische‘ Begründung erfahren. Die theoretische ‚Mechanik‘ war sozusagen, betrachtet man es vordergründig, in einem ungünstigen Augenblick entstanden und ist deshalb in der Antike und im Mittelalter nie zu einer ‚Naturwissenschaft‘ geworden — doch wahrscheinlich hat sich der Augenblick ihres Entstehens gar nicht so ungünstig ausgewirkt; denn aufgrund der strengen Scheidung von den natürlichen, naturgemäßen Bewegungsvorgängen konnten die ‚unnatürlichen‘, ‚nicht-natürlichen‘, d. h. ‚mechanischen‘, weiterhin mathematisch behandelt werden, nachdem jene idealistische mathe-

³⁹ Vgl. O. REGENBOGEN, *Eine Forschungsmethode antiker Naturwissenschaft. Quellen und Studien...* B, 1, 1930, S. 131—182 (wieder abgedruckt in: O. REGENBOGEN, *Kleine Schriften*. München 1961, S. 141—194).

mathematische ‚Naturwissenschaft‘ des Platonischen Timaios durch ARISTOTELES abgelehnt und für die Folgezeit weitgehend widerlegt worden war. Die Mathematik gehörte nach ARISTOTELES einem anderen Seinsbereich als die ‚natürlichen‘ Dinge an. Sie kann deshalb nichts zur Erkenntnis der ‚Natur‘, der Ursachen ‚natürlicher‘ Vorgänge beitragen und im sublunaren Bereich nicht einmal der Beschreibung solcher Vorgänge dienen. Die natürlichen, d. h. mit allen Umweltseinflüssen ablaufenden Vorgänge des irdischen Bereichs als solche sind auch viel zu komplex, um ihnen von vornherein mathematische Gesetzmäßigkeiten unterlegen zu können — es sei denn gewaltsam und aufgrund voreiliger Verallgemeinerungen, wie etwa in den Spekulationen der älteren Pythagoreer, die natürlich als Vorstufe nicht wegzudenken sind. Ihre, sämtliche Bereiche, die materielle wie die immaterielle Welt, umfassende, symbolträchtige und oft nur pseudo-mathematische Betrachtungsweise führte sich nach ihrem immer wieder faszinierenden und in der Folgezeit bis hin zu JOHANNES KEPLER vielfältig und oft anregenden Höhepunkt bei PLATON schon bei dessen Schülern, den älteren Akademikern, selbst ad absurdum. Faßte man den sinnlich wahrnehmbaren Bereich als ‚Natur‘ auf, so war eine mathematische Behandlung jetzt ausgeschlossen — ‚mathematische Naturwissenschaft‘ gab es nur für einen idealen Bereich, die ‚Natur‘ PLATONS und der Neuplatoniker und -pythagoreer, die aber mit der sinnlich wahrnehmbaren Welt wenig gemein hatte und auch nichts gemein haben sollte. Mathematische Betrachtungsweise war im sinnlich wahrnehmbaren sublunaren Bereich nur noch für nicht als natürlich angesehene Vorgänge möglich, nur noch auf dem Gebiet von vornherein nach mathematischen Prinzipien aufgebauter τέχναι, z. B. in der ‚Mechanik‘⁴⁰. Hier konnten aber — wie ich meine — mathematische Gesetzmäßigkeiten nur deshalb entdeckt werden, weil im Gegensatz dazu als ‚natürlich‘ geltende komplexe Vorgänge keinen störenden Einfluß auf die Exaktheit mehr auszuüben vermochten — gehörten sie doch einem ganz anderen Seinsbereich an.

Die ‚Mechanik‘ hatte so als angewandte Mathematik zwei verschiedenartige theoretische Behandlungen erfahren, die ältere ‚dynamische‘ (ARCHYTAS (?), ‚Mechanische Probleme‘) und die jüngere statische des ARCHIMEDES. Jene mehr qualitative ‚dynamische‘ Betrachtungsweise hatte ARCHIMEDES durch seine mehr quantitative, streng mathematisch deduzierende statische

⁴⁰ Ähnliches gilt auch für die Astronomie, Optik und Musiklehre mit jeweils einem mathematisch-technischen und einem in antikem Sinne physikalischen Teil, wobei uns der erstere, beschreibende, als (exakt) ‚naturwissenschaftlich‘ erscheint, ohne es jedoch für die Antike gewesen zu sein. An gescheiterten Versuchen einer Synthese hat es allerdings besonders für die Himmelskunde seit der Zeit um Christi Geburt nicht gefehlt; vgl. dazu die in Anm. 20 angegebene Arbeit.

Betrachtungsweise zu widerlegen gemeint, indem er die Geschwindigkeit als ihm unwesentlich erscheinenden Faktor unbeachtet ließ. Die statisch-quantitative Methode erwies sich für den Augenblick als brauchbarer, die 'dynamische' geriet für diesen Bereich antiker Mechanik, der sich mit dem Bewegen schwerer Lasten beschäftigt, in Vergessenheit. Sie kam eigentlich — sieht man von dem sicherlich ohne nennenswerte Wirkung gebliebenen Zwischenspiel JORDANUS NEMORARIUS einmal ab — erst wieder in der zweiten Hälfte des 16. Jahrhunderts zum Tragen, als man sich nach den ersten Drucken lateinischer Übersetzungen der 'Mechanischen Probleme' und der archimedischen Schrift 'Über das Gleichgewicht ebener Flächen' mit beiden antiken Betrachtungsweisen auseinandersetzte und beide als gleichwertige Möglichkeiten nebeneinander standen — die 'Mechanischen Probleme' waren ja erst später, erstmals zu Beginn des 18. Jahrhunderts, ARISTOTELES ernsthaft als seiner nicht würdig abgesprochen worden. Man ging — glücklicherweise, wie ich meine — nicht pseudo-historisch vor und sah die vorarchimedische Schrift nicht als Vertreter einer von ARCHIMEDES überwundenen Frühform theoretischer Mechanik an. So konnte mit GALILEO GALILEI sowohl die 'dynamische' als auch die 'statische' Betrachtungsweise zu neuem Leben erweckt werden.

Zu neuem Leben deshalb, weil eine für die Beurteilung der Möglichkeit einer Wissenschaft von der Natur wesentliche Komponente des geistig-kulturellen Raumes sich seit der Antike grundlegend gewandelt hatte. Die kurze Skizze einiger mir wesentlich erscheinender Komponenten des Historischen Raums zur Entstehungszeit theoretischer Mechanik sollte ja versuchen, aufzuzeigen, wo und als Kind welcher Zeit die wissenschaftliche Mechanik auf der Grundlage von Erkenntnissen der schon weit entwickelten Praxis entstanden war, um verständlich zu machen, wo in der Antike ihre Grenzen lagen und in welchem Zusammenhang oder unter welchen Voraussetzungen diese Grenzen wahrscheinlich nur überwunden werden konnten.

Und die wichtigste Voraussetzung dafür war jene ganz andere Auffassung von der Natur und dem Menschen in ihr und der Stellung der ganzen Schöpfung zu ihrem Schöpfer, die seit dem Ausgang des 16. Jahrhunderts dahingehend zum Tragen kam, daß dem Künstlichen die prinzipielle Andersartigkeit gegenüber der ebenso „kunstvollen“ Schöpfung Natur abgesprochen wurde. Die 'Natur', der Kosmos, steht für den Christen ja nicht mehr als eine Gottheit über dem Menschen.

Für die Mechanik wurde die Gleichartigkeit, die Ablehnung eines 'Unnatürlichen' neben dem Natürlichen, erstmals von dem jungen GALILEO GALILEI in seiner Frühschrift 'Le mecaniche' von 1593 (1600 überarbeitet) generell ausgesprochen. Wie es dazu gekommen ist, kann in diesem Rah-

men nicht näher ausgeführt werden⁴¹. Doch scheinen mir die entscheidenden Impulse für die oft von ihren Vertretern so genannte *neue* Wissenschaft der Zeit GALILEIS und seiner Nachfolger wesentlich gerade daher zu rühren, daß die relativ weit ausgebildete mathematische Wissenschaft von den Hilfsmitteln zur Überlistung der Natur, die antike 'Mechanik', durch die neue Auffassung von der Natur, von der Natürlichkeit mechanischer Prozesse, die — wie in der Antike nacheinander — jetzt nebeneinander teils statisch, teils dynamisch gedeutet wurden, plötzlich zu einem Bestandteil der Naturwissenschaft werden und als eine solche auf alle anderen Bereiche dieser Naturwissenschaft starken Einfluß ausüben konnte. — In diesem Zusammenhang sei nur auf die im 17. Jahrhundert, in der Zeit zwischen GALILEI und NEWTON, entstehende Himmelsmechanik hingewiesen, eine Wissenschaft, die schon vom Begriff her für die Antike einen Widerspruch in sich selbst gebildet hätte — bewegten sich doch die Himmelskörper auf natürliche Weise, nicht aufgrund eines künstlichen, 'mechanischen' Zwanges.

Hierin sieht man vielleicht am besten den Unterschied in der Auffassung von der 'Mechanik' und ihrer Stellung innerhalb beziehungsweise außerhalb einer Wissenschaft von der Natur. Dem Bereich der Gültigkeit der 'Mechanik' waren aufgrund jener erst von GALILEI überwundenen Auffassung für die Antike feste Grenzen gesetzt. Aber man darf nicht vergessen, daß die 'Mechanik' ohne diese Grenzen wahrscheinlich in der Antike nie zu einer angewandten Mathematik, wir würden sagen: zu einer exakten Naturwissenschaft, geworden wäre und dann auch jener späteren Zeit nicht als Muster einer mathematischen Naturwissenschaft hätte vorliegen können, dessen Einfluß auf die neue Wissenschaft von der Natur sicherlich viel höher zu veranschlagen ist als jener der mathematischen Astronomie, die noch längere Zeit danach im Vergleich zur Mechanik im antiken Rahmen des vorwiegend Kinematischen verblieb.

⁴¹ Vgl. hierzu besonders die in Anm. 5 zitierte Arbeit von R. HOOYKAAS und F. KLEMM, *Der junge Galilei und seine Schriften „De motu“ und „Le mecaniche“*, in: Sonne steh still. 400 Jahre Galileo Galilei. Sein heutiges Bild durch Beiträge von ... gezeichnet. Hrg. v. E. BRÜCHE. Mosbach 1964, bes. S. 76 ff. Angeschnitten wurde das Thema auch in meinem Vortrag 'Die Wandlung des Begriffs Mechanik' auf dem Congressus internationalis Antiquitas Graeco-Romana ac tempora nostra in Brno. Er wird demnächst in den Kongreßberichten erscheinen: Antiquitas Graeco-Romana ac tempora nostra. Acta congressus internationalis habiti Brunae diebus 12—16 mensis Aprilis MCMLXVI. Praga Academia 1967.

(Diesen Ausführungen liegt ein Vortrag zugrunde, der auf der 48. Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Geschichte der Medizin, Naturwissenschaft und Technik in Lübeck am 28. 9. 1965 gehalten wurde.)