

DIE ZEIT

Das Urwerk

Taucher bargen vor hundert Jahren ein undurchschaubares Räderwerk aus einem Schiffswrack. Erst heute entschlüsseln Forscher sein Geheimnis. Die Griechen waren die ersten Meister der Feinmechanik.

Von Tobias Hürter

So schreibt der Wind Geschichte. Eines Tages vor 2090 Jahren blies er so heftig über die Ägäis, dass ein römischer Frachter leeseits der Insel Antikythera Schutz suchte, aber nicht fand. Das 50 Meter lange Schiff sank, den Laderaum voller Luxusartikel: kostbaren Schmucks, bronzener Frauenkörper, Amphoren mit raren Weinen und reichlich Bargeld.

Zwei Jahrtausende später, kurz vor Ostern 1900: Wieder war die griechische See aufgewühlt. Diesmal schipperten zwei Kutter mit Schwammtauchern durch die Wogen; sie retteten sich in den Windschatten von Antikythera, der Meeresgott Poseidon ließ sie leben. Und wenn sie schon einmal vor Anker lagen, so dachten sich die Männer, konnten sie dort auch ihrem Beruf nachgehen. Elias Stadiatis tauchte am tiefsten, mehr als 40 Meter hinab ins eisige Wasser. Erst nach über neun Minuten durchbrach er wieder die Oberfläche, japsend und einen riesigen Bronzearm schwenkend. Stadiatis war auf das römische Wrack gestoßen.

Sechs Monate lang sinnierten Stadiatis und seine Genossen, ob sie den Fund verjubeln oder den Behörden melden sollten. Die Ehrlichkeit siegte. Am 24. November 1900 ankerte ein Schiff der griechischen Marine 20 Meter vor den Riffs der Insel. Aber unter all der Pracht übersahen selbst die Archäologen an Bord die besten Stücke aus dem antiken Schiffsbauch: einige formlose, mit dicker grüner Kruste überzogene Bronzeklumpen in den Überresten einer Holzschachtel von der Größe eines Zigarrenhumidors. Die unscheinbaren Brocken landeten in einer Ramschkiste des Athener Nationalmuseums. Erst ein Jahr nach dem Fund, als das Holz trocknete und barst, gaben sie ihr Geheimnis preis. Unter dem bröselnden Grünspan zeichnete sich ein Wirrwarr von Zahnrädern ab.

Darauf war niemand gefasst. Kein anderes Relikt aus der Antike war technisch annähernd so ausgefeilt. Da war nicht nur das mit Abstand älteste Zahnradgetriebe ans Licht gekommen, sondern auch eines von atemberaubender Komplexität. Zwar hatten die Hellenen einzelne Zahnräder schon in ihrer Frühzeit an Wassermühlen gebaut. Aber bis in byzantinische Zeiten konnten Mechaniker nicht mehr als eine Hand voll Zahnräder zusammenschalten, so jedenfalls dachten die Altertumsgelehrten vor dem Fund von Antikythera. Doch in diesem Getriebe griffen einst an die 40 Zahnräder ineinander. Das ist ungefähr so, als käme plötzlich ein Auto mit Verbrennungsmotor aus der Renaissance zutage.

Was hatten die alten Griechen da geschaffen? Eine Uhr? Ein Navigationsgerät? Gar einen universellen Computer? Oder nur Spielzeug? Bis heute grübeln Instrumentenkundler über Funktion und Zweck des Räderwerks. Der bisher aufwändigste Versuch, dem bronzenen Rätsel auf den Grund zu gehen, ist das Antikythera Mechanism Research Project (AMRP): Ein griechisch-walisches Forscherteam, bestehend aus Schriftexperten, Mathematikern

und Naturwissenschaftlern, rückte den fleckigen Bronzeklumpen mit modernsten Simulationsverfahren und Durchleuchtungstechniken zuleibe. Allein der 3-D-Röntgen-Tomograf, der das verwirrende Innere des antiken Automaten mit Zehntel-Millimeter-Genauigkeit abtastete, wiegt acht Tonnen. Weil das empfindliche Räderwerk nicht transportfähig ist, wurde der Tomograf nach Athen geschifft.

Das Staunen jedoch bleibt auch nach dem Großangriff der modernen auf die antike Technik. »Der Mechanismus ist noch ausgeklügelter, als wir dachten«, sagt Mike Edmunds, Leiter des Projekts und Astronom an der Universität Cardiff, »dieses technische Niveau wurde erst im späten Mittelalter wieder erreicht.« In dieser Woche, auf einer Tagung in Athen und mit einer Publikation im Wissenschaftsmagazin *Nature* (Bd. 444, S. 587), stellt die AMRP-Gruppe ihre Erkenntnisfortschritte zum Rätsel von Antikythera vor.

Nach seiner Entdeckung war der Mechanismus zunächst auf dem Untersuchungstisch des griechischen Archäologen Spiridon Stais gelandet. Doch er hatte keine Chance, das unglaubliche Gerät zu durchschauen. Die korrodierten Zahnräder waren zu fest ineinander verbacken, um sie zerstörungsfrei auseinander zu nehmen. Immerhin konnte Stais Fragmente von Inschriften auf Skalenblättern entziffern, und er erkannte die Namen von Himmelskörpern und Tierkreiszeichen. Offenbar handelte es sich um eine Art astronomischen Rechner. Weil die beweglichen Skalen seit dem antiken Schiffsunglück in ihrer letzten Stellung festsaßen, konnte Stais den Fund sogar datieren, auf das Jahr 80 vor Christus. 1985 bestätigte der französische Unterwasserforscher Jacques Cousteau diese Angabe. Er fand in dem Wrack einige Münzen, die 86 vor Christus in Pergamon geprägt worden waren.

Als Stais im Mai 1902 seine Erkenntnisse veröffentlichte, stieß er auf empörte Ablehnung. Derart raffinierte Feinmechanik passte nicht ins lieb gewonnene Bild der antiken Geisteswelt: die Griechen als Grübler, die Römer als Tüftler. Sogar seine Forscherkollegen beschimpften Stais als Scharlatan. Man wollte nicht glauben, dass die griechischen Konstrukteure ein Jahrtausend Technikgeschichte übersprungen hatten, und verstieg sich dabei bis in Theorien à la Däniken. »Stammt der Mechanismus von Antikythera aus einer anderen Welt?«, fragte ein ratloser Kommentator der Zeitung *Akropolis*.

Dabei war es Technikhistorikern durchaus klar gewesen, dass die Ingenieure des antiken Hellas clevere Mechanismen erdacht hatten. Heron von Alexandria beschreibt in seinem Lehrbuch *Pneumatica* einen Getränkeautomaten, der bei Einwurf einer Fünf-Drachmen-Münze eine bestimmte Flüssigkeitsmenge ausgibt. Cicero schwärmte von den »Sphären« des Archimedes: bronzenen Planetarien, die den Lauf von Sonne, Mond und Planeten nachspielten. Um derartige Kunstwerke zu schaffen, müsse Archimedes »mit einem größeren Schöpfergeist ausgestattet sein, als bei einem Menschen vorstellbar gewesen wäre«, schrieb Cicero und erwähnt, dass schon Jahrhunderte vor Archimedes die Naturforscher Thales und Eudoxos solche Himmelssphären gebaut hätten.

Aber von diesen kühnen Ideen kannte man bis zum Fund von Antikythera nichts als Worte. Keine handfeste Spur, dass sie verwirklicht worden waren, lag vor, und die Historiker wussten schon damals um die Neigung antiker Chronisten, ihre Gegenstände fantasievoll zu überhöhen. Hinter den gefeierten Sphären des Archimedes hätte auch krudes Schauwerk stecken können. Und so verfuhr man mit dem Mechanismus von Antikythera, wie es üblich ist bei Dingen, die Weltbilder zu sprengen drohen: Man ignorierte ihn so lange wie möglich. Er verschwand im Fundus des Athener Nationalmuseums. Das Rätsel bekam eine Katalognummer.

Ein gutes halbes Jahrhundert verging, bevor sich der nächste Forscher an die Fragmente

von Antikythera wagte. Derek de Solla Price, geborener Engländer und Wissenschaftshistoriker an der Yale University, sah sie 1958 auf einer Forschungsreise im Athener Museum und war für den Rest seine Karriere gefesselt. Price hatte den nüchternen Blick, der dem Establishment der Altertumsforschung fehlte. »Ein vergleichbares Instrument ist nirgends erhalten und in keinem alten Text erwähnt«, stellte er fest, »nach allem, was wir über die Wissenschaft und Technologie des hellenistischen Zeitalters wissen, dürfte es nicht existieren.« Aber es existierte nun einmal, und Price war fest entschlossen, es zu verstehen.

Sein Geheimnis gab das Räderwerk vorerst nicht preis. Der Durchbruch gelang Price 1971, als er mit Hilfe der griechischen Atomenergiebehörde Gamma-Radiografien des Mechanismus machen konnte. Die Bilder gerieten verschwommen, aber sie gaben Price eine genügend präzise Vorstellung vom Innenleben der Apparatur, um das Zusammenspiel der Zahnräder zu durchschauen. Price erkannte, wie solch ein Getriebe den Lauf der Sonne durch den Tierkreis, die Phasen des Mondes sowie die Auf- und Untergangszeiten beider Gestirne übers Jahr hinweg vorhersagen kann. Dazu war aufwändige Rechnerei nötig. Der Mechanismus musste die Zyklen der Sonne von denen des Mondes subtrahieren. Er arbeitete nach dem Prinzip des Differenzialgetriebes, das noch im Europa des 19. Jahrhunderts so neuartig war, dass mehrere Patente dafür erteilt wurden.

Nach Price' Analyse war Leugnen zwecklos: Der Mechanismus war keine Attrappe. Er hatte tatsächlich funktioniert, und aus einigen ausgebesserten Stellen an den Zahnrädern folgerte Price, dass er ausgiebig benutzt worden war. Die letzten Zweifler mussten einlenken, als mehrere Uhrmacher das Räderwerk funktionstüchtig nachbauten. Im Mai 1994 demonstrierte der amerikanische Uhrenexperte Steve Kramer die Präzision des antiken Rechners, indem er damit eine Sonnenfinsternis vorhersagte, auf 14 Minuten genau.

Doch so überzeugend die modernen Reinkarnationen des Räderwerks wirkten, sie hatten eine gravierende Schwäche. Auch Price gab zu, nicht beweisen zu können, dass das Original exakt so funktioniert hatte, wie er es sich dachte. Mehrere der Zahnräder sind verschwunden, und auch bei manchen der verbliebenen Räder lässt sich die Zahl der von Hand zurechtgefeilten Zähne nicht eindeutig erkennen. Die Lücken musste Price aus seiner Fantasie ergänzen. Und offenbar war er dabei nicht fantasievoll genug. In den 1970er Jahren bekam Michael Wright, damals junger Angestellter der Abteilung Maschinenbau des Londoner Science Museum, Price' Artikel in die Hände und entdeckte einige Ungereimtheiten in der Rekonstruktion.

Weil Wrights Job ausschließlich die Erforschung der Objekte im Museum vorsah, reiste er auf eigene Faust nach Athen und durchleuchtete das Räderwerk mit selbst gebastelten Röntgengeräten. Auch seine Aufnahmen gerieten nicht scharf, aber er machte darauf Details aus, die Price entgangen waren. Wright dämmerte, dass der »Kalenderrechner«, wie Price ihn genannt hatte, in Wirklichkeit ein vollwertiges Planetarium war, also nicht nur die Bahnen von Sonne und Mond vorhersagen konnte, sondern auch die der damals bekannten Planeten Merkur, Venus, Mars, Jupiter und Saturn.

Wright entwarf eine neue Rekonstruktion des Automaten, gemäß den Theorien der Astronomen Hipparchos und Apollonios, die später in das Weltsystem von Ptolemäus eingeflossen waren. Und heute erhärten die Befunde des Antikythera Mechanism Research Project den Verdacht Wrights. Die Forscher haben Planetennamen in den verwitterten Inschriften auf dem Mechanismus entziffert. »Venus und wahrscheinlich auch Merkur«, sagt Projektleiter Edmunds.

Der Rechner von Antikythera stammt aus der Blütezeit der klassischen griechischen Astronomie. Die Himmelsbeobachter von damals erklärten die verschlungenen Bewegungen der Gestirne mit ineinander verschachtelten Kreisen, »Epizykeln« genannt. Das sind Kreisbahnen, die selbst auf Kreisbahnen laufen. Epizyklische Theorien passen so gut mit Rädergetrieben à la Antikythera zusammen, dass eine neue Erklärung ihrer Entstehung denkbar wird: Reine Theorie und angewandte Mechanik könnten sich wechselseitig inspiriert haben. »Es ist schon bemerkenswert, dass das Konzept des Zahnradgetriebes und epizyklische Theorien zur gleichen Zeit und in der gleichen Gegend entwickelt wurden«, sagt Michael Wright.

Mit welcher Präzision das Räderwerk die Bewegungen der Gestirne berechnete, offenbart das Antikythera Mechanism Research Project. Laut der Rekonstruktion von Edmunds und seinen Kollegen berechnete ein zentral gelegenes Rad mit 223 Zähnen die so genannte erste Anomalie der Mondbahn: Die Ellipse, die der Trabant beschreibt, verschiebt sich in neun Jahren einmal um die Erde. Diese Feinheit ist wichtig für die genaue Vorhersage von Finsternissen, bei denen Mond, Erde und Sonne auf einer Geraden liegen müssen. Das alte Bild der griechischen Himmelskunde ist nach dem Fund von Antikythera nicht mehr zu halten.

Astronomie war damals keine reine Erkenntnisgewinnung, sondern angewandte Theorie. »Der oder die Erbauer des Antikythera-Mechanismus müssen ein unglaublich weites Wissensspektrum in sich vereint haben, von der Astronomie über die Mechanik bis zur Metallbearbeitung«, sagt Wolfram Lippe, Experte für die Geschichte der Rechenmaschinen an der Universität Münster. Es gibt mehrere Verdächtige, beispielsweise den Astronomen und Mathematiker Geminus von Rhodos, dem schon Derek Price den Sternenrechner zuschrieb. Andere Forscher spekulieren, dass das Räderwerk in der Stoa-Schule des Philosophen Poseidonios konstruiert wurde, der ebenfalls auf Rhodos lebte, einem Zentrum der antiken Himmelskunde und Hochtechnologie. Sein einstiger Gastschüler Cicero pries Poseidonios für den Bau eines Instruments, »das bei jeder Umdrehung die Bewegungen der Sonne, des Mondes und der fünf Planeten nachvollzieht«. Cicero war so beeindruckt, dass er später selbst ein solches Wundergerät bestellte.

Außer Zweifel steht, dass die Apparatur einst die Position der Gestirne berechnet hat. Aber wozu? Die erste Vermutung war, dass es sich um eine Orientierungshilfe für die Steuerleute des Frachtschiffs handelte. Aber daran glaubt niemand mehr. »Seefahrt wurde damals sehr einfach betrieben, ohne Instrumente«, sagt Michael Wright. »Wenn solche Geräte als Navigationshilfen dienten, hätten wir schon davon gelesen und andere Exemplare in Wracks gefunden.«

Und so reimt sich jeder Forscher sein eigenes Anwendungsszenario für das geheimnisvolle Räderwerk zusammen. Der Münsteraner Informatiker Wolfram Lippe stellt sich vor, dass die Apparatur zu einem kleinasiatischen Tempelheiligtum gehörte: »Wer damals Finsternisse vorhersagen konnte, war ein mächtiger Mann.« Das würde auch erklären, warum der Fund von Antikythera die Forschung derart überrumpelte, Wahrsager wissen ihre Berufsgeheimnisse zu schützen. Tatsächlich erkannten die AMRP-Forscher eine spezielle Finsternis-Vorhersagefunktion an dem Räderwerk, basierend auf den so genannten Saros-Perioden: 18,2 Jahre nach jeder Mond- oder Sonnenfinsternis tritt eine Finsternis der gleichen Art auf.

Lippe geht davon aus, dass der Astro-Computer einzigartig in seiner Ära war. »Ingenieurleistungen, die ihrer Zeit weit voraus waren, gab es auch später in der Geschichte der Rechenmaschinen«, sagt er, »zum Beispiel die astronomische Uhr im Straßburger Münster aus dem 19. Jahrhundert.« War der antike Sternenrechner also ein einsamer Geniestreich? AMRP-Leiter Edmunds bezweifelt es: »So ein Gerät fällt nicht vom

Himmel. Es muss aus einer Tradition heraus entstanden sein.«

Michael Wright schätzt, dass »es Dutzende, vielleicht sogar Hunderte solcher Geräte gab«, und er hat konkrete Gründe für diese Annahme: Als er das Getriebe inspizierte, erkannte er, dass einige Teile des Räderwerks vorher in anderen Zahngetrieben verbaut waren. »Andere Instrumente harren womöglich noch ihrer Entdeckung«, ahnt er. Laut Cicero wurden im alten Rom metallene Himmelsmodelle sogar zur Unterhaltung bei Gelagen aufgetragen. Und so mutmaßt Wright: »Manche davon könnten noch unter der Asche von Pompeji liegen.« Womöglich haben die grüblerischen Griechen sogar für die Römer getüftelt.

DIE ZEIT, 30.11.2006 Nr. 49

49/2006