

ARCHÄOASTRONOMIE WUNDERWERK DER ANTIKE

Nach allem, was Fachleute wussten, hätte es den Mechanismus von Antikythera nicht geben dürfen. Nicht zu jener Zeit im 2. oder 1. Jahrhundert v. Chr. und nicht in dieser Komplexität. Das astronomische Gerät bildete mit einem raffinierten Zahnradgetriebe die Bewegungen von Sonne, Mond und den Planeten ab. Nun haben Experten weitere Geheimnisse des fragmentierten Objekts gelüftet.

AUF EINEN BLICK RAFFINIERTER RECHENMASCHINE

- 1** Der Mechanismus fand sich in einem Wrack unweit der griechischen Insel Antikythera. Erhalten sind 82 Fragmente von Zahnrädern, Inschriften und Skalen.
- 2** Über eine Kurbel ließ sich das Getriebe im Inneren antreiben. Zugleich bewegten sich auf den Außenseiten Zeiger und Ringe auf verschiedenen Zifferblättern. Sie bildeten mehrere astronomische Ereignisse ab.
- 3** Zum Gerät gehörten ein Sonnenkalender mit den Tierkreiszeichen, Ringe für die Planetenbewegungen, ein Zeiger für die Mondphasen sowie Skalen, an denen Sonnen- und Mondfinsternisse angezeigt wurden.



Tony Freeth ist Mathematiker im Antikythera-Forschungsteam des University College London. Zudem arbeitet er als Filmmacher. Seit 2000 veröffentlicht Freeth Studien und Dokumentationen über den Mechanismus von Antikythera.

» <https://www.spektrum.de/magazin/archaeoastronomie-mechanismus-von-antikythera/2030395>



Abbildung links: Das größte von 82 Fragmenten des Antikythera-Mechanismus, die im Wrack gefunden wurden.

Abbildung unten: Der Computertomograph brachte die Schriftzeichen zum Vorschein



Bildquelle:
<https://www.spiegel.de/fotostrecke/antikythera-mechanismus-der-computer-aus-der-antike-fotostrecke-17660.html>

▶ Zitternd kam Elias Stadiatis wieder an die Meeresoberfläche. Der Mann steckte in seinem luftdichten Taucheranzug aus schwerem Leinenstoff und trug einen Kugelhelm aus Metall auf dem Kopf. Ängstlich wisperte er vor sich hin, sprach von »einem Haufen toter nackter Menschen«, die auf dem Meeresgrund liegen würden.

Es war das Jahr 1900. Stadiatis gehörte zu einer Tauchergruppe von der südöstlichen Ägäisinsel Symi. Die Männer waren im Westen der Ägäis unterwegs und suchten am Meeresgrund nach Naturschwämmen. Um sich vor einem starken Sturm in Schutz zu bringen, hatten sie unweit der winzigen Insel Antikythera geankert, die zwischen Kreta und dem griechischen Festland liegt. Nachdem sich der Sturm gelegt hatte, glitten die Taucher wieder zum Meeresgrund hinab und stießen dabei auf ein Schiffswrack voll mit griechischen Kunstwerken. Es erwies sich als der bis dahin bedeutendste Wrackfund der Antike. Die »nackten Toten« waren nichts anderes als Marmorskulpturen, die zusammen mit vielen anderen Objekten auf dem Meeresboden verstreut lagen. Wenig später begannen an dem Ort die Arbeiten an der ersten großen Unterwassergrabung der Geschichte.

Ein Fundstück, ein Metallklumpen von der Größe eines dicken Wörterbuchs, blieb zunächst unbeachtet – schlicht, weil es so viele andere aufregende Entdeckungen gab. Doch einige Monate später fiel der Klumpen im Archäologischen Nationalmuseum in Athen auseinander und legte Präzisionszahnräder aus Bronze frei, die meisten ungefähr so groß wie eine Münze. Nach damaligem Kenntnisstand hätten derartige Zahnräder im antiken Griechenland oder auch sonst wo auf der Welt erst Jahrhunderte nach dem Schiffbruch existieren dürfen. Der Fund löste eine heftige Kontroverse aus.

Heute ist der Klumpen als Mechanismus von Antikythera bekannt. Es handelt sich um ein erstaunliches Objekt, das Historiker und Naturwissenschaftler seit mehr als 120 Jahren vor Rätsel stellt. Im Lauf der Jahrzehnte zerfiel das

DER WRACKFUND VOR ANTIKYTHERA Auf halber Entfernung zwischen der Peloponnes und Kreta liegt die kleine Insel Antikythera. Im Jahr 1900 entdeckten Schwammtaucher in der Nähe die Überreste eines antiken Schiffs samt Ladung aus der Zeit zwischen 70 und 60 v. Chr.



Stück in 82 Fragmente, die Forschende seither versuchen wieder korrekt zusammenzufügen. Bei dem Gerät scheint es sich um eine astronomische, hochkomplexe Maschine gehandelt zu haben. Inzwischen verstehen wir einige Funktionsweisen recht gut, andere sind noch völlig ungeklärt. Sicher ist aber: Der Apparat ist mindestens so alt wie sein Fundort, das Wrack. Das Schiff muss zwischen 70 und 60 v. Chr. gesunken sein. Aus dieser Zeit stammen die jüngsten Münzfunde vom Meeresboden. Andere Indizien deuten hingegen darauf hin, dass die Maschine bereits um 200 v. Chr. gefertigt wurde.

Im März 2021 veröffentlichte meine Arbeitsgruppe am University College London – wir firmieren unter dem Namen UCL Antikythera Research Team – eine neue Analyse des Mechanismus. Unsere Gruppe besteht neben mir als Mathematiker und Filmemacher aus dem Materialwissenschaftler Adam Wojcik, der Bildgebungsexpertin Lindsay MacDonald, der Archäometallurgin Myrto Georgakopoulou und zwei Doktoranden, dem Uhrmacher David Higgon und dem Physiker Aris Dacanalís. Unsere Studie liefert eine neue Erklärung für das bisher rätselhafte Getriebe auf der Vorderseite des Mechanismus. Damit zeigt sich einmal mehr, wie raffiniert das Gerät konzipiert war und wie weit die alten Griechen technisch fortgeschritten waren.

Ein Apparat, der die Planetenbahnen vorhersagt

Es ist bekannt, dass die Griechen der Antike kundige Astronomen waren, die den Nachthimmel mit bloßem Auge beobachteten – allerdings aus geozentrischer Sicht. Jede Nacht, wenn sich die Erde um ihre Achse drehte, sahen sie, wie auch der Sternenhimmel kreiste. Dabei veränderten sich die Positionen der Sterne zueinander nicht; die Griechen nannten sie deshalb »Fixsterne«. Die frühen Astronomen erkannten auch Himmelskörper, die sich gegen den Lauf der Sterne bewegten: Der Mond überquert einmal alle 27,3 Tage den Sternenhintergrund, die Sonne benötigt ein Jahr.

Die anderen sich bewegenden Körper sind die Planeten. Die Griechen bezeichneten sie als »Wanderer«, weil ihre Bahnen unberechenbar seien. Für die damaligen Gelehrten stellten sie das größte Problem der Astronomie dar. Es war unklar, was sie eigentlich sind und warum sie sich manchmal in dieselbe Richtung wie die Sonne bewegen – also rechtläufig –, dann aber zum Stillstand kommen, kehrtmachen und rückläufig vorüberziehen. Nach einer Weile erreichen sie wieder einen stationären Punkt und bewegen sich erneut rechtläufig. Diese Umrundungen heißen synodische Zyklen. Anfang und Ende bemessen sich an der Stellung der Planeten zur Sonne, allerdings von der Erde aus gesehen. Wie wir heute wissen, hängen die scheinbar seltsamen Umkehrungen der Planeten damit zusammen, dass sich diese um die Sonne drehen und nicht, wie die Menschen der Antike glaubten, um die Erde.

Alle Planeten des Sonnensystems ziehen ihre Bahnen um die Sonne auf derselben Ebene, die Ekliptik genannt wird. Von der Erde aus gesehen durchlaufen sie also alle in etwa denselben Weg vor dem Hintergrund der Sterne. Die Positionen der Planeten in der Ekliptik vorherzusagen, fiel den frühen Astronomen schwer. Wie sich herausstellte, war aber genau das eine der Hauptfunktionen des Mechanismus.

Ein Himmel zum Nachschlagen

Kein bekanntes Objekt der Antike ist technisch derart komplex wie der Mechanismus von Antikythera. Der Apparat lag in einem Schiffswrack. Er bestand aus Bronze und steckte einst in einem Holzkasten. Womöglich war er mit zwei Deckeln verschließbar. Gefertigt wurde er in der Zeit zwischen 205 und 60 v. Chr. Das ältere Datum ergibt sich aus astronomischen Angaben am Gerät, das jüngere markiert den spätesten Zeitpunkt, an dem das Schiff gesunken sein muss. Der Kasten enthielt dutzende Zahnräder, deren Zähne mehr als einen Millimeter lang waren. Inschriften lieferten eine Gebrauchsanweisung und astronomische Daten. Der Mechanismus bildete die von der Erde aus beobachtbaren Positionen von Sonne, Mond und den Planeten an einem bestimmten Datum ab.

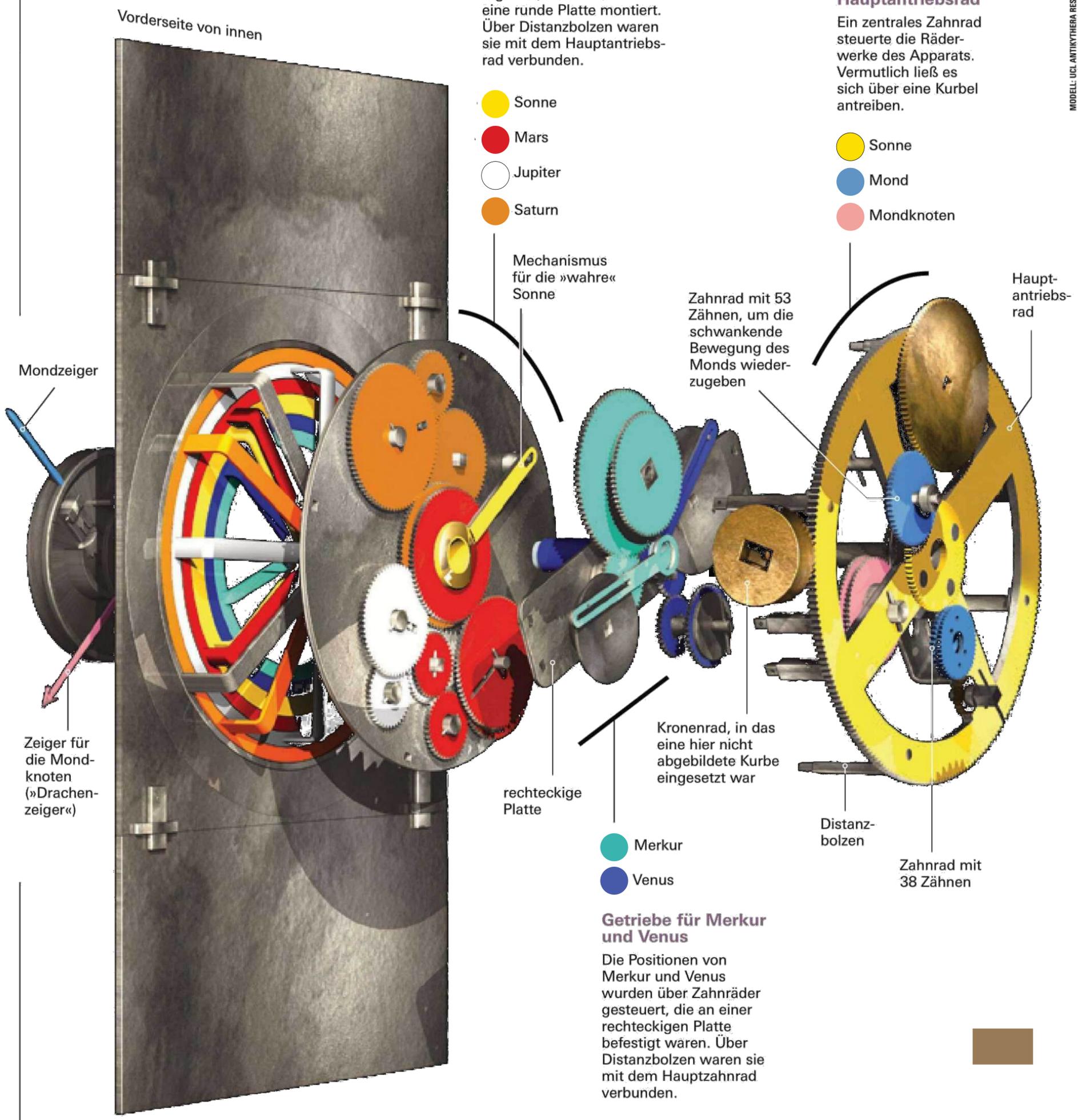
Über eine Kurbel konnte man das Hauptzahnrad auf der Vorderseite und hierüber das gesamte Räderwerk bewegen. Dies wiederum ließ Zeiger über Skalen an den Außenseiten wandern und drehte konzentrische Ringe. Die Vorderseite gab die Positionen der verschiedenen Himmelskörper wieder: Kleine Kugeln symbolisierten die Sonne und den Mond; eine weitere, die hälftig schwarz und weiß war, zeigte die Mondphasen an. Farbige Kugeln markierten die Planeten und ihre Positionen in der Ekliptik, der Ebene, auf der alle Planeten liegen. Am Rand des Zifferblatts verlief ein Sonnenkalender mit den zwölf Tierkreiszeichen und 365 Tagen – unterteilt in zwölf Monate à 30 Tage plus fünf Zusatztage.

Auf der Rückseite befanden sich zwei große spiralförmige Skalen und in ihnen kleinere Zifferblätter. Die obere große Skala, deren Spirale fünf Umläufe aufwies, bildete den Metonzyklus ab. Dieser umfasst einen Zeitraum von 19 Sonnenjahren, den 235 Mondphasen durchlaufen. Beschriftet war die Skala mit den zwölf Monatsnamen, die für mehrere Kalenderjahre aufgelistet waren. Die kleinen Zifferblätter zeigten einen vierjährigen Olympiadenkalender und vielleicht die Kallipische Periode mit 76 Sonnenjahren.

GRAFIK: TONY FREETH



Rechts: Die untere spiralförmige Skala mit vier Umläufen stellte die Sarosperiode dar. Sie lieferte die Daten für Sonnen- und Mondfinsternisse. Die kleine Anzeige gab die Exeligmosperiode wieder. Sie illustrierte die Tageszeit einer Finsternis.



Getriebe für die »wahre« Sonne, Mars, Jupiter und Saturn

Die Zahnräder, welche die Positionen von Sonne, Mars, Jupiter und Saturn regelten, hatte man auf eine runde Platte montiert. Über Distanzbolzen waren sie mit dem Hauptantriebsrad verbunden.

- Sonne
- Mars
- Jupiter
- Saturn

Hauptantriebsrad

Ein zentrales Zahnrad steuerte die Räderwerke des Apparats. Vermutlich ließ es sich über eine Kurbel antreiben.

- Sonne
- Mond
- Mondknoten

Getriebe für Merkur und Venus

Die Positionen von Merkur und Venus wurden über Zahnräder gesteuert, die an einer rechteckigen Platte befestigt waren. Über Distanzbolzen waren sie mit dem Hauptzahnrad verbunden.

- Merkur
- Venus

Vorderseite von innen

Mondzeiger

Zeiger für die Mondknoten (»Drachenzeiger«)

Mechanismus für die »wahre« Sonne

rechteckige Platte

Zahnrad mit 53 Zähnen, um die schwankende Bewegung des Mondes wiederzugeben

Kronenrad, in das eine hier nicht abgebildete Kurbel eingesetzt war

Hauptantriebsrad

Distanzbolzen

Zahnrad mit 38 Zähnen

Hauptplatte mit Lagern

Auf einer mittigen Platte im Inneren des Mechanismus waren die Räderwerke montiert. Sie setzten die Zeiger und Ringe auf der Vorder- und Rückseite in Bewegung.

Antriebsachse für die schwankende Bewegung des Mondes

Zahnräder, die per Stift und Schlitz verbunden waren, um die ungleiche Bewegung des Mondes zu simulieren

Schwankendes Getriebe für den Mond

Sowohl die Babylonier als auch die Griechen wussten, dass sich der Mond ungleich vor dem Hintergrund der Sterne bewegte. Das liegt – was damals allerdings unbekannt war – an der elliptischen Umlaufbahn des Mondes. Ein raffiniertes Räderwerk sorgte dafür, dass diese Eigenschaft abgebildet wurde.

Zahnrad mit 127 Zähnen, um den durchschnittlichen Mondumlauf darzustellen

Zahnkranz mit 188 Zähnen, der auf ein Zahnrad mit 223 Zähnen gelötet war

Rückseite



Im Inneren der Maschine

So könnte der Mechanismus von Antikythera aufgebaut gewesen sein – als Getriebe mit insgesamt 69 Zahnrädern. An der Außenseite ließ sich über die Kurbel ein gewünschter Zeitpunkt anpeilen, der entweder in der Vergangenheit, der Gegenwart oder der Zukunft lag. Zeiger und Ringskalen bewegten sich und illustrierten die Konstellationen von Sonne, Mond und den Planeten.

- Meton- und Kallippischer Kalender
- Olympiadenkalender
- Saros- und Exeligmoskalender

Zifferblätter der Rückseite

Die obere Skala bildete den Metonzyklus sowie in einer kleinen Anzeige die Kallippische Periode ab. Beide brachten den Mondmonat in Einklang mit dem Sonnenjahr. Im Inneren der spiraligen Skala lag ein weiteres Zifferblatt: der Olympiadenkalender, der die Daten panhellenischer Spiele anzeigte. Dieser Teil war für die griechische Zeitrechnung wichtig, die auf der Zählung der vierjährigen Olympiaden beruhte. Die untere Skala war ein Saros/Exeligmoskalender. Hier ließen sich Sonnen- und Mondfinsternisse ablesen entsprechend der Sarosperiode, die 223 Monate umfasste. Nebenstehende Inschriften charakterisierten die vorhergesagten Finsternisse.

Des Weiteren ließen sich mit dem Gerät die Positionen von Sonne und Mond nachvollziehen, die sich im Verhältnis zu den Sternen ebenfalls schwankend bewegten.

Die Funktionalität des Apparats beruhte größtenteils auf den Erkenntnissen früher Gelehrter aus dem Vorderen Orient. Vor allem im 1. Jahrtausend v. Chr. häuften Astronomen in Babylon und Uruk – die beiden Städte liegen heute im Irak – neues Wissen an. Die Babylonier dokumentierten dafür auf Tontafeln Beobachtungen wie die täglichen Positionen der Himmelskörper. So fanden sie heraus, dass sich Sonne, Mond und Planeten in Zyklen bewegen. Mit dieser Feststellung ließen sich Vorhersagen treffen. Der

Mond beispielsweise durchläuft vor dem Sternenteppich alle 19 Sonnenjahre 254 Zyklen. Die beiden Zahlen ergeben ein Periodenverhältnis. Und im Mechanismus von Antikythera waren mehrere solcher babylonischen Periodenverhältnisse »verbaut«.

Einer der bedeutendsten Wissenschaftler zu Beginn der Antikythera-Forschung war der deutsche Philologe Albert Rehm (1871–1949). Er hatte als Erster den Fund als Rechenmaschine interpretiert und zwischen 1905 und 1906 entscheidende Entdeckungen gemacht, die er in seinen unveröffentlichten Aufzeichnungen festhielt. Zum Beispiel entzifferte er auf einem der Fragmente die Zahl 19 – ein Hinweis

Wer baute den Mechanismus? Für wen war er bestimmt?

Wie das Gerät funktionierte, ist eine Frage, eine andere lautet: Wem gehörte das Kästchen? Und wer hatte es hergestellt? Hinweise auf den einstigen Empfänger liefern die Inschriften. Sie wurden in der damals üblichen griechischen Gemeinsprache verfasst, der sogenannten Koine. Der Begriff leitet sich von Altgriechisch »koinos«, allgemein oder gemeinsam, ab und meint jenes Griechisch, das während des Hellenismus und der römischen Kaiserzeit im Mittelmeerraum gesprochen wurde. In dieser Zeit sowie zuvor waren auch verschiedene Dialekte verbreitet. Einige Wörter in den Texten des Mechanismus, die Monatsnamen im Metonzyklus, entsprechen dem Dialekt der Landschaft Epirus im heutigen Nordwestgriechenland. Auf einer der kleinen Skalen ist zudem ein Kultfest von nur regionaler Bedeutung genannt, die Naaischen Spiele im Heiligtum von Dodona – einem Ort, der ebenfalls in Epirus liegt.

Wie Rita Gautschy von der Universität Basel und Filippo Battistoni von der Universität Pisa 2020 in einer Übersichtsstudie schreiben, »waren die Angaben auf dem Mechanismus zu den Mond- und Sonnenfinsternissen nicht mehr sehr genau, da die Vorlage inzwischen fast 150 Jahre (...) alt war«. Für einen Berufsastronomen wären sie womöglich nicht präzise genug

gewesen. Daher folgen die Astrophysikerin und der Geschichtswissenschaftler dem Vorschlag des Historikers Alexander Jones von der New York University: Die Rechenmaschine sollte die Grundlagen der Astronomie vermitteln – vermutlich jemandem aus der wohlhabenden Oberschicht, der sich ein derartiges Gerät leisten konnte.

Wer hatte den Mechanismus wo gefertigt? Die meisten Forschenden sind sich einig, dass der Herstellungsort die Insel Rhodos im Südosten der Ägäis war. So lässt sich das astronomische Wissen, auf dem das Gerät beruht, mit Überlieferungen zu den beiden rhodischen Astronomen Geminus (1. Jahrhundert v. Chr.) und Hipparchos (um 190–120 v. Chr.) verknüpfen. Überdies konnten die in den Inschriften beschriebenen Himmelserscheinungen am ehesten in einer Region zwischen dem 33. und 37. Breitenkreis nördlicher Breite beobachtet werden – in dieser Zone befindet sich auch Rhodos. Und noch ein Hinweis führt zu der Insel: Wie der Kulturhistoriker Paul Iversen von der Case Western Reserve University in Cleveland herausgefunden hat, sind in der Olympiadenskala neben den großen Spielen die sogenannten Halieia genannt. Dieses Fest fand auf Rhodos statt.

Indizien zur Herkunft des Apparats trugen Fachleute auch aus der

antiken Literatur zusammen. So erwähnt Cicero in seinem Buch »De natura deorum« (2, 88) den Gelehrten Poseidonios (135–51 v. Chr.), der lange auf Rhodos gelebt hat. Der Grieche soll ein astronomisches Gerät gebaut haben – und Ciceros Beschreibung ähnelt stark dem Mechanismus von Antikythera.

Das Schiff, das den Apparat beförderte, dürfte zudem einen Stopp auf der Insel eingelegt haben: Im Wrack fanden sich zahlreiche rhodische Amphoren. Offenbar war das Schiff von Kleinasien aus über Rhodos gen Westen unterwegs gewesen. Wie Experten annehmen, waren die geladenen Statuen, Möbel und Gefäße für den römischen Markt bestimmt – griechische Luxusgüter waren bei der Oberschicht begehrt. Bis nach Italien sollte der Mechanismus von Antikythera aber wohl nicht verschickt werden, sondern zuvor bei einem Zwischenstopp in Epirus entladen werden.

QUELLEN

Gautschy, R., Battistoni, F.: Der Antikythera-Mechanismus. In: Färber, R., Gautschy, R. (Hg.): Zeit in den Kulturen des Altertums. Böhlau, 2020, S. 419–442

Iversen, P.: The Antikythera mechanism, Rhodes, and Epeiros. In: Jones, A., Carman, C. (Hg.): Instruments, observations, theories: Studies in the history of astronomy in honor of James Evans. 2020, S. 17–38

auf die 19 Jahre im Periodenverhältnis des Monds, auch bekannt als Metonzyklus, der nach dem griechischen Astronomen Meton (5. Jahrhundert v. Chr.) benannt ist. Entdeckt hatten den Zyklus jedoch schon die Babylonier. Auf demselben Fragment identifizierte Rehm zwei weitere Zahlen: 76 – hierbei handelt es sich um die Präzisierung des Metonzyklus durch den griechischen Gelehrten Kallipos von Kyzikos (um 370–300 v. Chr.) – und 223 – so viele Mondmonate umfasst der babylonische Zyklus, mit dem sich die Zeitpunkte von Finsternissen bestimmen ließen. Dies ist der so genannte Saroszyklus.

Ebenso wichtig wie Rehm war für die Erforschung des Mechanismus von Antikythera der britische Physiker und Wissenschaftshistoriker Derek J. de Solla Price (1922–1983). 1974, nachdem er rund 20 Jahre über den Schiffsfund gearbeitet hatte, veröffentlichte er seine Studie »Gears from the Greeks«. Price hatte einige aufschlussreiche Stellen in den Werken Ciceros (106–43 v. Chr.) zusammengetragen. Beispielsweise in seinem Buch »De re publica« (1, 22) beschreibt dieser eine Maschine des Mathematikers Archimedes (um 287–212 v. Chr.), »an der sich die Bewegungen der Sonne und des Mondes verfolgen lassen und auch die der fünf Sterne, die man die ›Umherirrenden‹ und gleichsam ›die Schweifenden‹ nenne. (...) In diesem Punkte verdiene die Erfindung des Archimedes Bewunderung, weil er es sich ausgedacht habe, wie die eine und dieselbe Umdrehung trotz der ganz ungleichen Bewegungen die so verschiedenen und mannigfaltigen Bahnen festhält.« Cicero fährt fort: »Als Gallus diese Sphäre in Bewegung setzte, geschah es, dass der Mond der Sonne auf dem metallenen Apparat um ebenso viel Umdrehungen hintendreinkam als um Tage am richtigen Himmel, und daraus ergab sich wieder, dass wie am Himmel, so auf der Sphäre sich die gleiche Sonnenfinsternis bildete.« Die beschriebene Maschine erinnert stark an den Mechanismus von Antikythera. Der Abschnitt bei Cicero legt demnach nahe, dass Archimedes auf die Idee für ein derartiges Gerät gekommen war oder zumindest die Technologie dafür erfunden hatte.

Jahrzehntelang versuchten Forscher herauszufinden, wie der Apparat funktionierte. Dazu konnten sie zunächst nur die Oberfläche der Fragmente untersuchen. Anfang der 1970er Jahre gelang es schließlich, einen Blick ins Innere zu werfen: Price arbeitete mit dem griechischen Radiologen Charalambos Karakalos zusammen, um die Bruchstücke zu röntgen. Zu ihrem Erstaunen fanden sie 30 verschiedene Zahnräder – 27 lagen im größten Bruchstück und jeweils eines in drei weiteren. Gemeinsam mit seiner Frau Emily konnte Karakalos erstmals die Zähne an den Zahnrädern abzählen. Mit diesem Ergebnis ließ sich die Arbeitsweise des Geräts genauer rekonstruieren. Zugleich erwies es sich aber nun als noch komplizierter als bis dahin angenommen.

Die Röntgenaufnahmen bildeten das Innere des Mechanismus allerdings nur zweidimensional ab. Das Getriebe erschien in den Bildern flach, und die meisten Zahnräder waren nicht vollständig zu erkennen. Die Zahl der Zähne ließ sich daher nicht in jedem Fall genau bestimmen. Trotzdem konnte Price ein Räderwerk identifizieren – also eine Reihe miteinander verbundener Zahnräder –, das die durchschnittliche Position des Monds an einem bestimmten Datum

wiedergab. Nämlich anhand des Periodenverhältnisses des Monds von 254 siderischen Umläufen in 19 Jahren. Siderisch bezeichnet eine vollständige Umrundung eines Himmelskörpers vor dem Fixsternhimmel. Das entsprechende Räderwerk ließ sich mit Hilfe eines wichtigen Elements an der Vorderseite des Mechanismus drehen: dem Hauptantriebsrad. Dieses setzte ein Zahnrad mit 38 Zähnen in Bewegung – 38 ergibt sich aus zweimal 19; denn ein Zahnrad mit nur 19 Zähnen wäre etwas zu klein gewesen. Die 38 Zähne greifen in weitere Räder und schließlich in ein Rad mit 127 Zähnen – das entspricht der Hälfte von 254; mit der vollen Zahl wäre das Zahnrad zu groß gewesen.

Der Mechanismus von Antikythera war ein astronomisches Multifunktionsgerät

Offenbar diente das Gerät dazu, die Positionen von Sonne, Mond und den Planeten an einem bestimmten Tag in der Vergangenheit, Gegenwart oder Zukunft wiederzugeben. Wer das Gerät bedienen wollte, drehte eine Kurbel, bis das gewünschte Zeitfenster eingestellt war, und las dann die entsprechenden astronomischen Verhältnisse ab. Auf der Vorderseite beispielsweise gab es eine Skala mit den Tierkreiszeichen. Darauf war die Ekliptik in ein Dutzend Abschnitte von jeweils 30 Grad unterteilt; jedes Segment stellte ein Sternbild des Tierkreises dar.

Mit Hilfe der Röntgenbilder rekonstruierte Price das gesamte Getriebe und baute das Gerät nach. Sein Modell war meine Einführung in die Forschung über den Mechanismus von Antikythera. In meinem ersten Aufsatz mit dem Titel »Challenging the Classic Research« habe ich Prices Anordnung des inneren Räderwerks jedoch weitgehend widerlegt. Nicht vollständig, denn immerhin hatte er die Lage der wichtigsten Fragmente korrekt bestimmt, ebenso die äußere Form mit den Zifferblättern für 365 Tage und die Tierkreiszeichen. Beide befanden sich auf der Vorderseite; zwei weitere große Rundskalen auf der Rückseite. Auch wenn Price beim Aufbau des Getriebes falschlag, waren seine Studien immens wichtig, um Neues über den Mechanismus herausfinden zu können.

Neben Rehm und Price hat ein dritter Wissenschaftler die Antikythera-Forschung entscheidend vorangebracht: Michael T. Wright, ehemaliger Kurator für Maschinenbau am Londoner Science Museum. In Zusammenarbeit mit dem australischen Informatikprofessor Allan G. Bromley führte Wright 1990 eine zweite Röntgenstudie des Mechanismus durch. Dieses Mal bedienten sich die Wissenschaftler der Röntgentomografie, einer frühen Technik der dreidimensionalen Bildgebung. Bromley starb, bevor er seine Arbeit abschließen konnte, doch Wright setzte seine Tätigkeit fort und erzielte wichtige Ergebnisse. Zum Beispiel ermittelte er die genaue Zackenzahl der Zahnräder und entschlüsselte die obere Rundskala auf der Rückseite.

Im Jahr 2000 schlug ich vor, die Überreste ein drittes Mal zu röntgen. Fünf Jahre später setzte ein Team aus England und Griechenland in Zusammenarbeit mit dem Archäologischen Nationalmuseum in Athen die Idee in die Tat um. X-Tek Systems, das heute der Firma Nikon gehört, entwickelte ein Röntgengerät, das per Mikrofokus-Computertomografie hochauflösende 3-D-Aufnahmen anfertigte.

Hewlett-Packard steuerte eine digitale Bildgebungstechnik namens »polynomial texture mapping« bei, mit der sich die Details auf der Oberfläche deutlicher herausarbeiten ließen.

Die neuen Daten überraschten uns. Als erste wichtige Entdeckung stellte ich fest, dass der Mechanismus nicht nur die Bewegungen der Himmelskörper, sondern auch Sonnen- und Mondfinsternisse anzeigen konnte. Die Erkenntnis resultierte überdies aus der Inschrift, die bereits Rehm entziffert hatte: Darin wird der Saroszyklus mit 223 Monaten erwähnt, ein Zyklus der Finsternisse. Die neuen Röntgenaufnahmen enthüllten nun ein großes Zahnrad mit 223 Zähnen an der Rückseite des Mechanismus. Es steuerte einen Zeiger über eine spiralförmige Skala, die viermal umlief und in 223 Abschnitte unterteilt war. Dieses Zifferblatt zeigte offenbar an, in welchen Monaten sich Finsternisse ereignen. Zudem beschrieben Inschriften am Gerät selbst, welche Besonderheiten dabei zu beobachten sind. Die Entdeckung lieferte ein bedeutendes neues Merkmal des Mechanismus, bescherte uns aber zugleich ein diffiziles Problem: Wir konnten vier Zahnrädern, die im Bereich des großen Zahnrads lagen, keine passende Funktion zuweisen.

Es dauerte Monate, bis ich verstanden hatte, was die vier Zahnräder einst regelten – sie setzten die ungleiche Bewegung des Mondes um. Ungleich deshalb, weil der Erdmond eine elliptische Umlaufbahn hat. Wenn er weiter von der Erde entfernt ist, bewegt er sich langsamer vor den Sternen, rückt er näher, bewegt er sich schneller. Die Mondbahn ist jedoch nicht im Raum fixiert, sondern durchläuft einen Zyklus von etwas weniger als neun Jahren. Die alten Griechen wussten aber noch nichts von elliptischen Bahnen, sie erklärten sich den Mondorbit daher als Kombination von zwei Kreisbewegungen: So würde sich der Mond auf einer kleinen Kreisbahn befinden und zugleich in dieser Rotation noch einem größeren Orbit um die Erde folgen. Die heute längst verworfene Idee nannte man Epizykeltheorie.

Ausgehend von einer Beobachtung Wrights konnte ich herausfinden, wie das Gerät die Epizykeltheorie umsetzte. Wright hatte zwei der vier fraglichen Zahnräder untersucht und festgestellt: Beide lagen übereinander. Allerdings ist auf der Oberseite des einen Rads ein Stift befestigt, der sich innerhalb eines Schlitzes auf dem anderen Zahnrad hin- und herbewegt. Die Anordnung erscheint auf den ersten Blick nutzlos, da sich die Zahnräder vermeintlich gleich schnell drehen. Doch Wright bemerkte, dass die Zahnräder auf versetzten Achsen rotierten; der Abstand betrug etwas mehr als einen Millimeter. Die Folge: Das kleine Getriebe erzeugte eine unbeständige Bewegung. Die genannten Details sind auf den CT-Aufnahmen zu erkennen. Darauf zeigte sich auch, dass die Achsen der Zahnräder nicht fixiert, sondern auf das große Rad mit 223 Zähnen montiert waren, um so eine epizyklische Rotation zu simulieren.

Wright zufolge gaben diese Zahnräder nicht die schwankende Mondbahn wieder. Dafür drehte sich in seinem Nachbau das Zahnrad mit 223 Zacken zu schnell. Ebenjenes Element, das den Zeiger über die Saroskala wandern ließ, bewegt sich in meinem Modell jedoch sehr langsam. Die Epizykelbahn über eine Verbindung aus Stift und Schlitz nachzuahmen, war eine raffinierte Idee. Gut möglich, dass tatsächlich Archimedes die Maschine ersonnen hatte.



INSCHRIFT Auf CT-Bildern von 2005 wurden Textfragmente sichtbar. Dieses Bruchstück war einst innen an einer Abdeckung des Mechanismus befestigt. Die Inschrift listet Planetenbewegungen auf.

Jetzt hatten wir die Ringskalen und das Getriebe an der Rückseite rekonstruiert. Das half uns nicht nur die Funktionalität des Mechanismus zu durchschauen, sondern auch alle bisherigen Erkenntnisse in Einklang zu bringen. Die Ergebnisse legten wir 2006 in »Nature« vor. Doch die andere Seite des Geräts war für uns damals weiterhin rätselhaft.

Das auffälligste Element im größten Fragment ist das Hauptantriebsrad. Es war allerdings keine Scheibe wie die meisten Zahnräder, sondern wies vier Speichen und an der Oberfläche Spuren von diversen Installationen auf. Vermutlich waren hier Lager für Drehachsen befestigt gewesen. Am äußeren Rand des Zahnrads steckten zudem senkrecht zum Rad kleine Distanzbolzen. Sie besaßen eine abgesetzte und durchbohrte Spitze, um Platten zu fixieren: Vier kurze Distanzbolzen trugen eine rechteckige Platte, vier längere eine runde.

Ringe bewegten ein Miniaturplanetarium

In Anlehnung an Price schlug Wright vor, dass ein komplexes Räderwerk auf dem Hauptantriebsrad montiert gewesen war, das den epizyklischen Lauf der Planeten reproduzierte – die Griechen waren nämlich überzeugt davon, dass die seltsamen Umkehrbewegungen der Planeten ebenfalls durch eine doppelte Kreisbewegung verursacht wurden. Wright baute das Getriebe in Messing nach, um zu zeigen, wie es funktionierte. Dann veröffentlichte er 2002 eine weitere wichtige Erkenntnis: Er ging davon aus, dass auf dem Mechanismus ein kleines Planetarium installiert war – mit den fünf in der Antike bekannten Planeten. (Erst 1781 und 1846 entdeckten Astronomen Uranus und Neptun mit Hilfe von Teleskopen.) Wright zufolge hatten die Erbauer die Epizykeltheorie durch Zahnräder umgesetzt, die wiederum per Stift und Schlitz verbunden waren. Über diesen Kniff konnten sie die variablen Bewegungen der Planeten darstellen.

Als ich Wrights Modell zum ersten Mal sah, war ich überrascht, wie komplex die Mechanik gewesen sein soll. Wright rekonstruierte sogar acht Getrieberöhren, die auf

einer gemeinsamen Achse gelegen und die vordere Anzeige bespielt hätten. Waren die alten Griechen wirklich in der Lage gewesen, ein so fortgeschrittenes System zu schaffen? Inzwischen bin ich überzeugt davon, dass Wrights Idee stimmen muss – im Gerät waren Teile coaxial aufgebaut gewesen. Aber das von ihm rekonstruierte Getriebe entspricht weder der Funktionsweise noch der Raffinesse der übrigen Räderwerke. Daher wollten wir, das Team vom University College London, Wrights Konzept mit dem Rest des Geräts in Einklang bringen.

In seinen Forschungsnotizen aus den Jahren 1905 und 1906 hatte Rehm vorgeschlagen, dass die Positionen der Sonne und der Planeten durch konzentrisch angeordnete Ringe illustriert wurden. Einen entscheidenden Hinweis in diese Richtung lieferten uns die CT-Bilder von 2005. Die Aufnahmen bildeten die Zahnräder nicht nur plastisch ab, sondern machten auch tausende bis dahin unentdeckte griechische Buchstaben sichtbar. Ursprünglich ließ sich der Mechanismus wohl mit zwei Deckeln auf der Vorder- und Rückseite verschließen. Und auf den Innenseiten dieser Deckel waren Inschriften angebracht. (Möglicherweise standen die Texte auch auf zwei separaten Tafeln.) Die Inschrift im rückseitigen Deckel war eine Gebrauchsanweisung für das Gerät. Mit ihr bestätigte der Technikhistoriker Alexander Jones von der New York University 2016 Rehms Vermutung: Im Text ist detailliert beschrieben, wie die Sonne und die Planeten in Form von Ringen wiedergegeben sind. Perlen auf den Ringen würden die Positionen der Himmelskörper anzeigen.

Wer die Funktionsweise des Mechanismus rekonstruieren will, muss diese Beschreibung berücksichtigen. Aber es gelang uns nicht, solche beweglichen Ringe auf dem Gerät unterzubringen. Wright hatte herausgefunden, dass eine zur Hälfte versilberte, dunkle Kugel die Mondphasen anzeigte, indem die Zahnräder für die Stellungen der Sonne und des Mondes ineinandergriffen. Das Getriebe für die Mondphasen und ein Ringsystem hätten aber die Räderwerke für Merkur und Venus blockiert. 2018 kam David Higgon, einer unserer Doktoranden in der Arbeitsgruppe, auf die richtige Idee, um das Problem zu lösen: durch einen mysteriösen Metallblock mit Öse, der auf einer der Speichen des Hauptantriebsrads installiert war. Der Block übertrug den Lauf der »mittleren« Sonne direkt an den Bereich für die Mondphase – die »wahre« Sonnenzeit entspricht dem tatsächlichen Lauf der Sonne an einem Tag und variiert übers Jahr; die »mittlere« Sonnenzeit ist eine festgelegte Tageslänge unabhängig von Sonnenaufgang oder -untergang. Auf diese Weise ließ sich auf der Vorderseite ein bewegliches Ringsystem rekonstruieren, das mit den Angaben in der griechischen Beschreibung übereinstimmt.

Für den genauen Aufbau der Vorderseite galt es nun herauszufinden, welche Theorien der Planetenperioden im Mechanismus verbaut waren. Dementsprechend mussten die Getriebe getaktet gewesen sein. Fachleute gingen lange davon aus, dass babylonisches Wissen über die Periodenverhältnisse in dem Gerät steckte – also Erkenntnisse darüber, in welchen Zyklen Himmelserscheinungen wiederkehren. Babylonische Gelehrte hatten durch Beobachtungen entsprechende Zeiträume identifiziert und zur Berech-

nung der Planetenbewegungen genutzt. Doch 2016 machte Jones eine Entdeckung, die uns von dieser Annahme abkommen ließ.

Auf den CT-Bildern der Inschriften aus dem vorderen Deckel war zu erkennen, dass der Text in Abschnitte unterteilt war – je einer für jeden der fünf damals bekannten Planeten. Im Teil über die Venus fand Jones die Zahl 462, im Abschnitt zum Saturn die Zahl 442. Zwei erstaunliche Summen, von denen kein Forscher bis dahin annahm, dass antike Astronomen sie gekannt haben. Tatsächlich sind diese Periodenverhältnisse exakter als die babylonischen. Offenbar haben die Erbauer des Antikythera-Apparats für zwei Plane-

Kurz erklärt

Ekliptik: Die Sonne und die Bahnen ihrer Planeten liegen annähernd auf einer gemeinsamen Ebene, der Ekliptik. Definiert wird diese durch die Umlaufebene der Erde um die Sonne.

Epizykeltheorie: Antike Astronomen nahmen an, dass sich manche Himmelskörper auf einer doppelten Kreisbahn bewegen. Die Objekte würden sich kreisförmig drehen, während sie auf einer größeren Bahn einen Mittelpunkt umlaufen. Die Theorie ist heute ungültig.

Kallipische Periode: Der griechische Gelehrte Kallippos von Kyzikos korrigierte die fehlerhafte Metonperiode von 19 Sonnenjahren. Er kürzte diese um einen viertel Tag und legte einen 76-jährigen Zeitraum mit 940 Mondmonaten fest – quasi eine vierfache Metonperiode.

Metonzyklus/-periode: Hierbei entsprechen 235 Mondmonate 19 Sonnenjahren. Das Verhältnis verbindet Mond- und Sonnenkalender. Benannt wurde die Periode nach dem griechischen Astronomen Meton aus dem 5. Jahrhundert v. Chr.

Panhellenische Spiele: Die vier bekanntesten sportlichen und musischen Wettkämpfe der Antike fanden in den Heiligtümern von Olympia und Nemea auf der Peloponnes statt, in Isthmia bei Korinth und in Delphi in Mittelgriechenland.

Saroszyklus/-periode: Die Zählung diente zur Vorhersage von Sonnen- und Mondfinsternissen. Die Periode umfasst 223 Mondmonate in 18 Sonnenjahren.

Siderische Periode: Sie bemisst die Zeitspanne, die ein Himmelskörper braucht, um einmal vor dem Sternenhintergrund vollständig umzulaufen.

Synodische Periode: Sie bemisst die Zeitspanne, die ein Himmelskörper benötigt, gemessen an seiner Stellung zur Sonne, umzulaufen.



ten verbesserte Periodenverhältnisse verwendet: für die Venus 289 synodische Perioden in 462 Sonnenjahren und für Saturn 427 synodische Perioden in 442 Sonnenjahren.

Jones konnte allerdings nicht herausfinden, wie die Griechen auf die beiden Perioden gekommen waren. Also versuchten wir es selbst. Dafür stellte Aris Dacanalís aus unserer Arbeitsgruppe eine Liste der Periodenverhältnisse in der babylonischen Astronomie zusammen und berechnete die geschätzte Fehlerquote. Hatten die griechischen Gelehrten vielleicht ältere Periodenverhältnisse kombiniert, um präzisere Ergebnisse zu erhalten? In der antiken Literatur wurden wir fündig. Der Philosoph Parmenides von Elea (um 520/515–460/455 v. Chr.) entwickelte laut Platon (427–327 v. Chr.) genau solch ein Verfahren der Kombination.

Nach unserer Ansicht haben die Entwickler und Erbauer des Mechanismus drei Kriterien zu Grunde gelegt: Genauigkeit, Sparsamkeit und die Möglichkeit zu faktorisieren. Beim Bau war Genauigkeit gefragt, damit die bekannten Periodenverhältnisse für Venus und Saturn wirklich stimmig waren. Zudem mussten die Planetenperioden in kleinere Einheiten zerlegbar sein. Nur so ließen sich die Zeiträume auf Zahnräder übertragen, die dann von ihrer Größe her auch in den Mechanismus passten. Damit verbunden war ein sparsames Design: Die Planetenpositionen sollten bestenfalls über gemeinsame Zahnräder angezeigt werden. Das war möglich, wenn ihre Periodenverhältnisse in den Primfaktoren übereinstimmten. Damit verringerte sich die Zahl der benötigten Zahnräder – und genau das ist bei den

überlieferten Fragmenten der Fall. Eingedenk dieser Kriterien konnten wir mit der Methode von Parmenides die oben genannten Perioden 462 und 442 herleiten. Und wir haben auf demselben Weg die fehlenden Perioden für die anderen Planeten berechnet.

Mit den korrekten Periodenverhältnissen konnten wir die Räderwerke für die Planeten in den vorhandenen Raum einpassen. Für Merkur und Venus gingen wir von einem fünfteiligen, über Stift und Schlitz verbundenen Räderwerk aus, ähnlich wie es schon Wright rekonstruiert hatte. Ein Fragment bestätigte unsere Annahme: Wie das CT-Bild zeigt, liegt in dem Bruchstück mit einem Durchmesser von vier Zentimetern eine Scheibe, die auf einem Zahnrad mit 63 Zähnen befestigt ist. Die Zahl 63 hat mit 462 – dies ist die Venusperiode – die Primfaktoren 3 und 7 gemeinsam. Wir rekonstruierten ein Getriebe inklusive dem 63-zahnigen Rad, das möglicherweise in einem der Lager auf den Speichen des Hauptantriebsrads eingesetzt war. Ähnlich dürfte das Merkur-Getriebe aufgebaut gewesen sein, für das wir passende Halterungen auf einer weiteren Speiche entdeckt haben. Damit war klar, dass wir bei Merkur und Venus auf dem richtigen Weg waren.

Für die übrigen Planeten Mars, Jupiter und Saturn hat unser Team ebenfalls ein platzsparendes Design rekonstruiert. Unsere Entwürfe unterscheiden sich dabei völlig von Wrights Modell der Planetenanordnung. Unabhängig voneinander haben Christián C. Carman von der Universidad Nacional de Quilmes in Argentinien und ich gezeigt,

FRAGMENTE Einige Zeit nach der Bergung zerfiel der verklumpte Mechanismus in 82 Teile. Im größten Fragment (im Bild oben links) ist das Hauptzahnrad zu erkennen.

dass ein Getriebe, wie es für die ungleiche Bewegung des Monds genutzt wurde, auch für die Planeten zum Einsatz gekommen sein könnte. Dazu waren wohl mehrere Zahnräder auf derselben Platte montiert, welche die Periodenverhältnisse korrekt in mechanische Bewegung übertrugen.

Diese Räderwerke könnten mit den Platten an den Distanzbolzen des Hauptantriebsrads so verbaut gewesen sein, dass sie die Himmelskörper auf dem Mechanismus – Mond, Merkur, Venus, Sonne, Mars, Jupiter und Saturn – in der richtigen Reihenfolge angetrieben haben. Dementsprechend waren die konzentrischen Ringe auf der Vorderseite aneinandergereiht. Das bewegliche Ringsystem lässt sich gut zwischen die Halterungsplatten einpassen, ausgenommen einige Leerstellen und manche Stücke, deren Zwecke noch ungeklärt sind.

Hatte der Mechanismus einen »Drachenzeiger«?

Wir fügten zudem ein Räderwerk für die schwankende Bewegung der Sonne ein sowie einen epizyklischen Mechanismus, der die Mondknoten abbildete. An diesen Knotenpunkten schneidet die Mondbahn durch die Ekliptik. Die Folge: Es kommt zu einer Finsternis. Solche Ereignisse stellen sich jedoch nur ein, wenn die Sonne bei Voll- oder Neumond in der Nähe eines Knotenpunkts steht. Die Gelehrten des Mittelalters und der Renaissance nannten die zweiendigen Zeiger, die an astronomischen Uhren die Mondknoten darstellten, »Drachenzeiger«. Nimmt man im Fall des Mechanismus von Antikythera ein epizyklisches Getriebe für den Drachenzeiger an, dann findet sich dazu ein entsprechendes Lager auf einer der Speichen. Diesem konnte bislang keine Funktion zugewiesen werden. Damit hatten wir alle Eigenschaften des Hauptzahnrad erklärt; unsere Ergebnisse veröffentlichten wir 2021 in »Scientific Reports«.

Nun war klar, wie sich die Anzeige auf der Vorderseite mit der Bedienungsanleitung im Rückseitendeckel zur Deckung bringen ließ. Kugeln auf den Ringen symbolisierten die Sonne und die Planeten. Auf der Vorderseite waren zudem die Mondphasen, die Position des Erdtrabanten sowie der Stand im Mondzyklus ablesbar – also die Zahl der Tage, die seit einem Neumond verstrichen waren. Der Drachenzeiger gab die Jahre und Jahreszeiten an, in denen sich eine Finsternis ereignete.

Nachdem wir für die Planeten ein System aus konzentrischen Ringen rekonstruiert hatten, konnten wir auch die Inschrift auf dem Vorderseitendeckel verstehen. Es handelt sich dabei um eine formelhafte Liste mit den synodischen Planetenerscheinungen – etwa Konjunktionen mit der Sonne und stationären Punkten – und den Zeiträumen zwischen diesen Ereignissen, gerechnet in Tagen. Auf der Rückseite sind die Inschriften zu den Finsternissen bestimmten Markierungen auf dem Saroszifferblatt zugeordnet. Und auf der Vorderseite sind die Inschriften über den

Auf- und Untergang der Sterne mit der Skala der Tierkreiszeichen verknüpft. Daraus folgerten wir, dass sich die Texte der Vorderseite womöglich ebenfalls auf Buchstaben in den Zifferblättern der Planeten bezogen hatten – wie eine Art Fußnote: Stand der Sonnenzeiger auf einem Buchstaben, waren im zugehörigen Textabschnitt die Anzahl der Tage genannt, bis das nächste synodische Ereignis eintritt. Allerdings ist die linke Seite der Vorderseiteninschrift verloren – demnach genau die Stellen, an denen wir die Indexbuchstaben erwarten würden. Unsere Idee bleibt also vorerst eine Hypothese.

Schon lange war bekannt, dass die Griechen in technischer Hinsicht sehr fähig waren – sie errichteten den Parthenon auf der Athener Akropolis und den Leuchtturm von Alexandria; beide Bauwerke entstanden sogar noch vor dem Mechanismus von Antikythera. Sie verlegten Wasserleitungen und nutzten Dampf als Antrieb. Doch bevor der Mechanismus vom Meeresgrund geborgen wurde, galten Wind- und Wassermühlen als die einzigen Zahnradkonstruktionen der antiken Welt. Das bis dahin älteste bekannte Präzisionsgetriebe steckt in einer vergleichsweise simplen, aber für ihre Epoche erstaunlichen byzantinischen Sonnenuhr aus der Zeit um 600 n. Chr. Erst im 14. Jahrhundert schufen Gelehrte die ersten hoch entwickelten astronomischen Uhren. Der Apparat von Antikythera wirkt in diesem Zusammenhang wie ein Zeitreisender.

Warum hat es Jahrhunderte gedauert, bis man erneut ähnlich raffinierte Geräte baute? Und warum haben Archäologen bislang nicht weitere solche Räderwerke entdeckt? Es ist unwahrscheinlich, dass der Mechanismus der einzige seiner Art war – es muss Vorläufer gegeben haben. Doch Bronze war ein wertvolles Material. Wenn Metallobjekte ihren Dienst versagten, wurden sie eingeschmolzen. Daher lassen sich Überreste derartiger astronomischer Geräte wohl am ehesten in Schiffswracks finden wie in diesem Fall. Und weshalb es so lange gedauert hat, bis Gelehrte eine solche Technologie wieder entwickelt haben, kann momentan nicht beantwortet werden. Sicher ist jedoch: Was aus dem Altertum überdauert hat, ist nur ein Bruchteil der einstigen Sachkultur. Es bleibt daher auf zukünftige Entdeckungen zu hoffen.

Denn die Forschung am Mechanismus von Antikythera ist längst nicht abgeschlossen. Wir sind zwar überzeugt davon, dass wir wichtige Fortschritte gemacht haben, aber die Funktion einiger Bauteile ist noch ungeklärt. Unsere Arbeitsgruppe ist sich auch nicht sicher, ob unsere Rekonstruktion in allen Belangen korrekt ist – schlicht, weil der Mechanismus nicht vollständig erhalten ist. Deshalb lassen sich bisher nicht alle überlieferten Teile in Einklang bringen. Dennoch ist eines deutlicher geworden denn je: Der Mechanismus von Antikythera war ein erstaunliches Gerät. ◀

QUELLEN

De Solla Price, D. J.: Gears from the Greeks. Transactions of the American Philosophical Society. NS 64, 7, 1974

Freeth, T. et al.: A model of the cosmos in the ancient Greek Antikythera mechanism. Scientific Reports 11, 2021

Wright, M. T.: The Antikythera mechanism. *Almagest* 4, 2, 2013