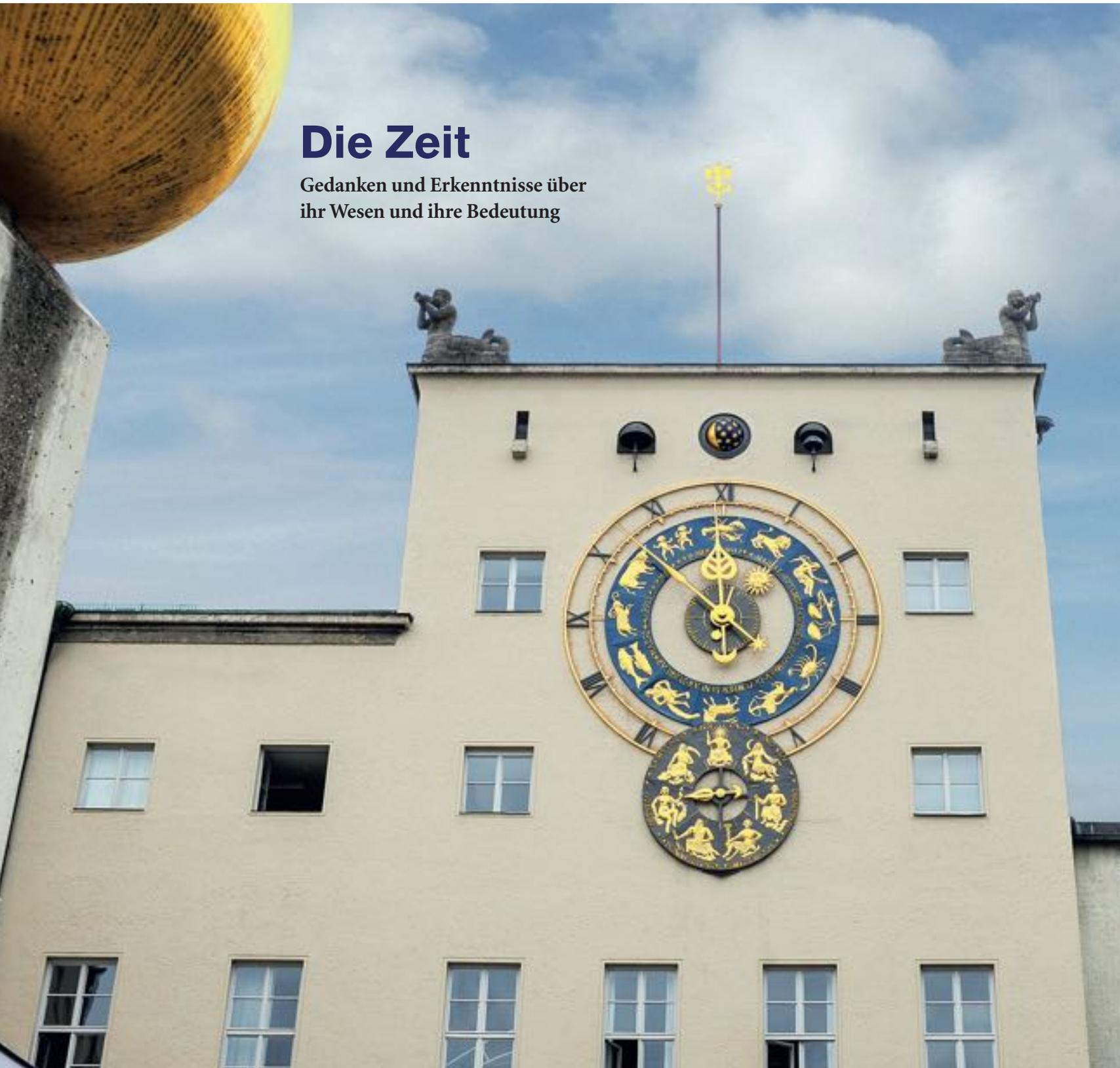


Aus dem Takt Denkt man über die tiefere Bedeutung der Zeit nach, dann kommt man rasch ins Grübeln
Sonne, Mond und Finsternis Vor hundert Jahren wurde der Antikythera-Mechanismus aus dem Meer geborgen
Hinein in neue Rechnerwelten Die ersten funktionsfähigen Quantencomputer werden derzeit getestet

KULTUR & TECHNIK

Die Zeit

Gedanken und Erkenntnisse über
ihr Wesen und ihre Bedeutung



HILSCHER

IHR JUWELIER IN SCHWABING
UND AM AIRPORT MÜNCHEN



ERWIN SATTLER
MÜNCHEN

OPUS TOURBILLON

limitiert auf 58 Stück

- Fliegendes Minutentourbillon in einem Trichter mit 12 Brillanten mit kleiner Sekundenanzeige auf dem Trichterrand
- Datums-, 15-Tage Gangreserveanzeige
- Mondphasenanzeige mit handpolierten Perlmutterplatten



**Liebe Leserin,
lieber Leser,**

ereignisreiche und schwierige Monate liegen hinter uns. Wochenlang mussten wir alle Dependancen schließen und auch nach dem Lockdown durften weit weniger Besucherinnen und Besucher eingelassen werden. Die Maßnahmen waren notwendig, um Ihre und die Gesundheit unserer Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter zu schützen. Sie haben aber auch zu schmerzhaften Einbußen geführt. Denn nicht zuletzt basiert die Finanzierung unseres Hauses auch auf Eintrittsgeldern. An einigen Stellen werden wir daher in den kommenden Jahren sparen müssen. Betroffen ist davon auch das Mitgliedermagazin des Deutschen Museums, das wir auf gar keinen Fall ganz einstellen wollten – das Sie aber künftig nur noch dreimal im Jahr erhalten werden. Die nächste Ausgabe wird Anfang März 2021 in Ihrem Briefkasten sein.

Zugleich erweitert das Deutsche Museum im kommenden Jahr sein Portfolio um ein weiteres Haus: Das Deutsche Museum Nürnberg wird eröffnen. Selbstverständlich haben Sie als Mitglied hier kostenlos Zutritt. Und Ende des Jahres 2021 dürfen Sie auch mit der Eröffnung eines Großteils der im Rahmen der Zukunftsinitiative sanierten und neu gestalteten Ausstellungen rechnen.

Auch unser Internetangebot haben wir in den vergangenen Monaten deutlich ausgebaut. Vieles, was Sie bisher nur in gedruckter Form lesen konnten, präsentieren wir

Ihnen mittlerweile online. Mit Unterstützung des Freundeskreises haben wir während der Corona-Pause digitale Führungen durch Sammlungen erstellt, die Sie auf unserem Youtube-Kanal finden. Schauen Sie mal rein!

Ich hoffe sehr, dass wir auch unser umfangreiches Veranstaltungsprogramm im kommenden Jahr wieder wie gewohnt fortsetzen können.

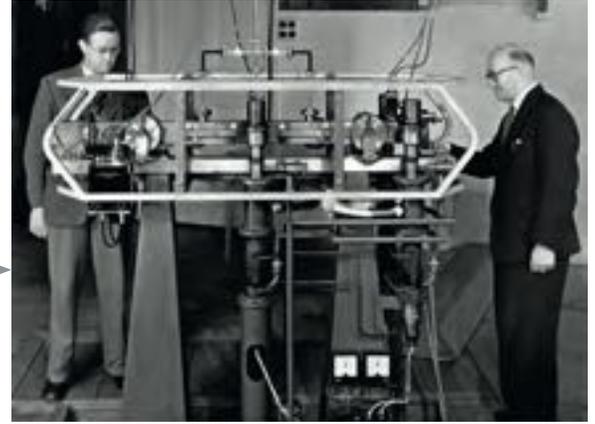
Nun aber lade ich Sie ein, die wunderbaren Beiträge dieser Ausgabe zu genießen. »Die Zeit« ist unser Thema und unsere Autorinnen und Autoren haben für Sie wie gewohnt einen bunten Strauß zusammengestellt. Nehmen Sie sich Zeit und lassen Sie sich überraschen!

Es grüßt Sie herzlich

Ihr Wolfgang M. Heckl



6
Ob ein »Perpetuum mobile« funktioniert, kann in der Physik-Ausstellung getestet werden.



10
Jack Parry (links) und Louis Essen (rechts) läuten mit dem Cäsiumresonator die atomphysikalisch definierte Sekunde ein.



22
Die Überreste des antiken Mechanismus von Antikythera entpuppten sich als hochkomplexes Gerät.



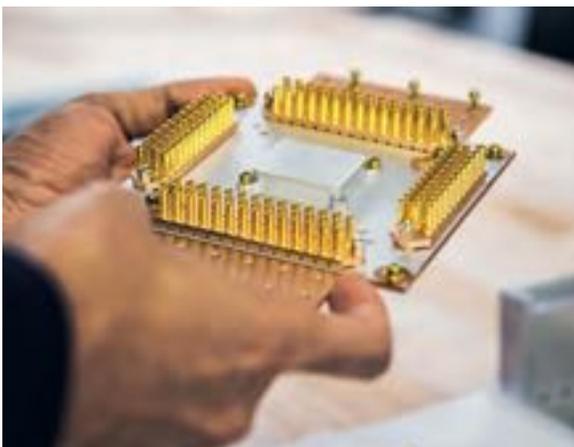
28
Unterschiedliche Techniken zur Zeitbestimmung findet man nicht nur in der Ausstellung Zeitmessung



34
Zum Export in den Orient bestimmt war die Taschenuhr von 1803 aus der Sammlung des Deutschen Museums.



38
In die Zukunft zu reisen ist rein theoretisch möglich – Reisen in die Vergangenheit hingegen nicht.



50
Quantencomputer sollen die Informationstechnologie revolutionieren. Erste Prototypen werden derzeit getestet.



62
In Nürnberg eröffnet Anfang 2021 das Zukunftsmuseum.

DIE ZEIT

- 6 Kreuz und quer**
... durchs Deutsche Museum | **Von Christian Rauch**
- 10 Aus dem Takt**
Über unterschiedliche Ansätze, »Zeit« zu definieren | **Von Christian Sicka**
- 18 Im Rhythmus mit der Natur**
Interview mit dem Zeitforscher Karlheinz Geißler | **Von Christian Rauch**
- 22 Sonne, Mond und Finsternis: Der Antikythera-Mechanismus**
Ein antikes Räderwerk fasziniert die Wissenschaft | **Von Carola Dahlke**
- 28 In der Zeitfabrik**
Im 19. Jahrhundert begann die Ökonomisierung der Zeit | **Von Eckhard Wallis**
- 34 Das besondere Museumsobjekt**
Eine Taschenuhr von 1803 | **Von Artemis Yagou**
- 38 Sind Zeitreisen möglich?**
Vergangenheit, Gegenwart, Zukunft – und zurück | **Von Andreas Müller**
- 46 Sonnenuhren zum Mitnehmen**
Drei besondere Modelle aus dem Deutschen Museum | **Von Mareike Wöhler**

MAGAZIN

- 50 Hinein in neue Rechnerwelten**
Der Zukunft der Quantencomputer | **Von Klaus Wagner**
- 56 Rebellische Erfinderinnen**
Erfindende Frauen wurden oft totgeschwiegen | **Von Melanie Jahreis**
- 58 Von Physikergrüßen, Sternen und Bienenstöcken**
Widmungen in der Bibliothek des Deutschen Museums | **Von Eva Bunge**
- 62 Deutsches Museum Nürnberg**
Das Zukunftsmuseum | **Von Andreas Gundelwein und Melanie Saverimuthu**

STANDARD

- 3 Editorial**
- 66 Vorschau, Impressum**

Eine Information der Redaktion:

In vielen Bereichen der Wissenschaft ist es mittlerweile selbstverständlich, bei Veröffentlichungen auf eine »gendergerechte« Sprache zu achten. In unserer letzten Ausgabe hatten wir die »gegenderte« Schreibweise immer dann übernommen, wenn die Autorin oder der Autor sich bewusst dafür entschieden hatte. Selbstverständlich achten wir auch den Wunsch von Autoren, die das anders handhaben wollen.

Künftig werden Sie also öfter (aber nicht immer) über »... Innen« stolpern. In poetischen Texten mag das ein »No-Go« sein, bei Sachtexten halten wir es für durchaus zumutbar. Nach wie vor werden insbesondere Frauen durch eine über die Jahrhunderte männlich geprägte Schreib- und Sprechweise aus der öffentlichen Wahrnehmung ausgeklammert. Umso schöner, dass sich WissenschaftlerInnen bemühen, das zu ändern. **SL**

Die Geschichte der Technik, die das Deutsche Museum zeigt, beweist: Nur mittels der Zeit können Dinge entstehen und Prozesse ablaufen. Der Zeit selbst kann man auf einem Rundgang durch den Museumsturm auf den Grund spüren: wie sie entstand, wie Menschen lernten, sie immer genauer zu messen, und auch versuchten, sie zu betrügen.

Von Christian Rauch, Fotos: Heike Geigl



www.deutsches-museum.de/ausstellungen/lageplan



Bild 1: Präzisionsuhr
Bild 2: Alpirsbacher Sonnenuhr
Bild 3: Sonnenuhren am Polyeder



Schattenzeit

Ebene 6: Sonnenuhren

Unser Rundgang beginnt ganz oben, im 6. Stock des Museumsturms. Hinauf geht es mit dem Lift oder – vorbei am Restaurant und Ehrensaal – sportlich über die Treppenstufen. Auf der Terrasse unterhalb des Planetariums stehen 21 Sonnenuhren. Sie gehören zu den ältesten Werkzeugen, mit denen Menschen den Lauf der Zeit maßen. Bis heute werden Sonnenuhren immer weiter verbessert. Links an der Wand können Sie an der Alpirsbacher Sonnenuhr von 1477 am Schattenwurf ablesen, welche Stunde es geschlagen hat. Komplizierter wird's an den 24 Sonnenuhren am Polyeder, die auch die Weltzeit, italische und babylonische Stundenzählung anzeigen. Die Präzisionssonnenuhr wurde erst in den Sechzigerjahren erfunden. Bevor es weitergeht: Genießen Sie den Blick von hier oben über München!





Allzeit

Ebene 5: Astronomie

Vom Sonnenuhengarten geht es ein Stockwerk tiefer in die Astronomie und dort zur Entwicklung des Universums. Den Anbeginn der Zeit können Sie hier erleben, im Urknall. Man erfährt, wie das Universum aus einem unvorstellbar dichten und heißen Punkt explodierte, binnen Sekundenbruchteilen rasend schnell expandierte und sich abkühlte. Und wie es durch die Jahrmilliarden bis heute Galaxien, Sterne und Planeten bildete. In den leuchtenden Kästen rechts können Sie einen Ausblick in die Zukunft unseres Universums wagen.



Der Rundgang in der Kosmologie führt durch die »Entwicklung des Universums« von der »Entstehung« der Zeit durch den Urknall über Milliarden von Jahren bis heute.



Sternzeit

Ebene 5: Astronomie

Aus der dunklen Welt des Urknalls treten wir hinaus und halten uns links. Vorbei an einer Vorführung, die die Jahreszeiten aus dem Lauf der Erde um die Sonne erklärt, gelangen wir in eine Ecke mit einem Modell des Antikythera-Mechanismus (im Bild rechts). Vor 2000 Jahren schon bauten die alten Griechen diesen Apparat. Er war komplizierter als alles, was die Menschen bis ins späte Mittelalter entwickelten. Das antike Räderwerk konnte verschiedene Kalendersysteme und astronomische Phänomene darstellen und zum Beispiel auch Sonnen- und Mondfinsternisse vorhersagen.

Schon in der Antike versuchten Menschen die zeitlichen Vorgänge zu verstehen.

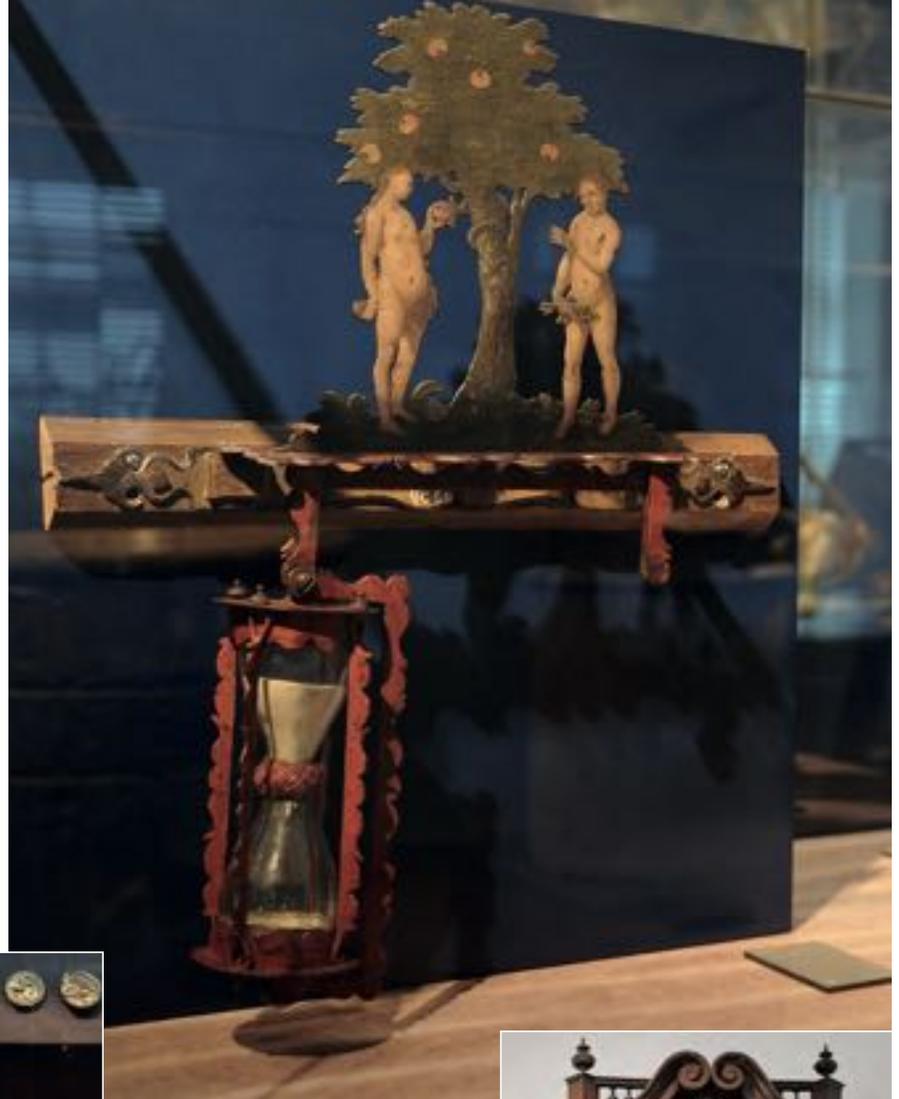




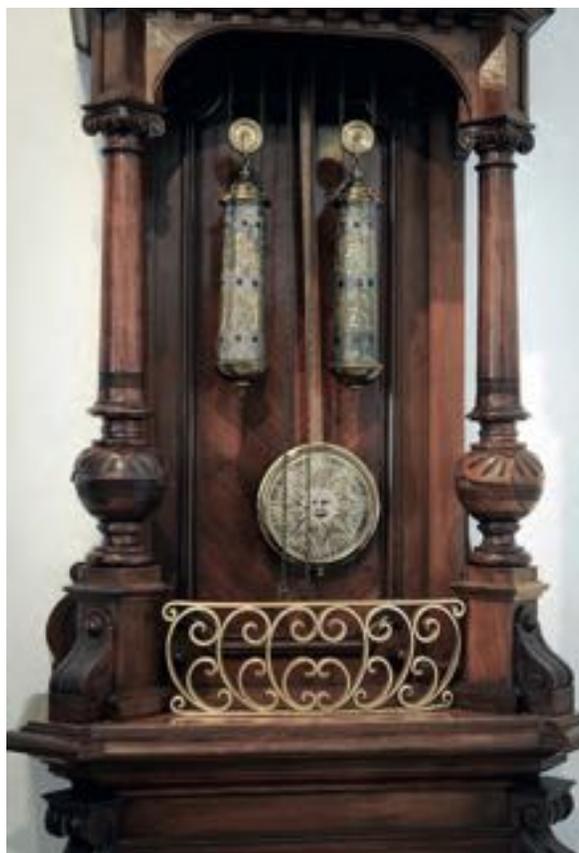
Uhrzeit

Ebene 3: Zeitmessung

Wir verlassen die Astronomie und steigen hinab in den 3. Stock. Dort geht es links. Wir passieren wertvolle Pendeluhren von Siegmund Riefler, die vor über 100 Jahren die genauesten Uhren ihrer Zeit waren und Sternwarten ein exaktes Zeitmaß als Hilfsmittel gaben. Durch die Abteilung »Maß und Gewicht« geht es in die »Zeitmessung«. Hier verstehen wir, welche Werkzeuge die Menschen seit Urzeiten bis heute zur Zeitmessung entwickelten. Neben antiken Wasser- und Sanduhren sowie mittelalterlichen Uhren und modernen Atomuhren können wir hier die ersten Taschenuhren bewundern. Endlich, zum Ausgang des Mittelalters, konnten die Menschen ihre Zeit »mitnehmen«. Heute freilich hat das Smartphone der Taschenuhr und ihrem Nachfolger, der Armbanduhr, den Rang abgelassen.



Nach Sand- und Sonnenuhren der Antike konnte man ab dem 16. Jahrhundert die Uhrzeit in der Tasche mitnehmen.



Eine Pendeluhr inklusive Musikautomat – so etwas gibt's nur im Deutschen Museum.



Musikzeit

Ebene 2: Musikinstrumente

Aus der Zeitmessung gehen wir hinten hinaus und im Treppenhaus hinab. Wir erreichen die Musikinstrumente und Musikautomaten. Ganz hinten rechts steht eine Uhr mit Zungenspielwerk von 1900. Damals gehörte es buchstäblich zum guten Ton, eine Uhr zu besitzen, die zur vollen Stunde ein Musikstück spielt.



Zahn der Zeit



Ebene 1: Physik

Nachdem wir die Musikabteilung, in der es noch viel zu entdecken und bei einer Führung auch zu »erhören« gibt, verlassen haben, halten wir uns links. Die Treppen hinab, dann geht es durch die Museumsgeschichte und Akademiesammlung in die Physik. Die Beschilderung zum Verbindungsgang führt uns durch die unzähligen hämmernden und klingenden Demonstrationen von Mechanik und Akustik – ohne Zeit stünde hier alles still. Hinter den Stossgeln erreichen wir rechts ein »Perpetuum mobile«. Damit versuchten Tüftler der Zeit und der Ressource »Energie« ein Schnippchen zu schlagen. Immer und ewig sollte so eine Maschine laufen, doch die Physik lehrt uns Menschen: Aus dem Nichts kann keine Energie entstehen. Energie kann sich nur – über die Zeit – umwandeln. Und wenn Sie an der hölzernen Konstruktion drehen, wird sie schnell wieder stehen bleiben, denn innerhalb von Sekunden ist die Antriebsenergie Ihrer Hand in Reibung verpufft. Der Zahn der Zeit vertilgt jeden Versuch ein »Perpetuum mobile« zu bauen.

Versuchen Sie es einmal und setzen das »Perpetuum mobile« in Gang. Und?



Diesen präzisen Chronometer aus der Schifffahrt können Sie in der Abteilung Meeresforschung entdecken.

Glanzzeit

Außenhof: Turmuhr

Nach der Physik lohnt Richtung Ausgang noch ein Abstecher zu den Schiffen und im Untergeschoss zur Meeresforschung. Wer dort die Chronometer findet, die ab dem 18. Jahrhundert so exakt die Zeit maßen, dass sich Kapitäne nicht mehr verirren, hat das Deutsche Museum von ganz oben nach ganz unten durchkämmt. Im Außenhof sollten Sie noch einen Blick auf die Turmuhr werfen: Das Zifferblatt ist über sechs Meter groß, der Stundenzeiger wiegt fast 40 Kilogramm! Die Uhr, die zu Münchens berühmtesten Uhren gehört und sogar Mondphasen und Tierkreiszeichen anzeigt, erstrahlt nach der Restaurierung vor zwei Jahren wieder in vollem Glanz!



Aus dem Takt

Unterschiedliche Takte ordnen den Fluss unserer Erlebnisse und wir haben das Gefühl, dass allen menschengemachten Rhythmen eine »wirkliche« Zeit zugrunde liegt. Denkt man aber darüber nach, was die tiefere Bedeutung der »wirklichen« Zeit ist, kommt man schnell ins Grübeln. Von Christian Sicka

Links, rechts, vor, zurück – das bringt Spaß, das bringt Glück – die Stimmung im Bierzelt ist am Höhepunkt. Die Blaskapelle gibt den Dreivierteltakt vor. Alle schunkeln mit. Auch nach der zehnten Wiederholung können viele noch nicht genug bekommen – Zugabe, und noch einmal: »Links, rechts, vor, zurück ...« Langweile scheint nicht aufzukommen.

Ein Takt gibt uns Sicherheit, bietet uns Halt, stärkt das Gemeinschaftsgefühl. Takt scheint irgendwie in uns drin zu sein – »der Rhythmus, wo jeder mit muss«. Wie schnell ein Musikstück gespielt werden soll, haben gute Musiker im Gefühl. Ab dem 17. Jahrhundert verwendet man in der klassischen Musik Tempoangaben in italienischer Sprache z.B. presto (schnell), moderato (gemäßigt) oder adagio (gemächlich). Aber was für den einen gemächlich ist, ist für

Periodisch wiederkehrende Ereignisse bilden den Grundrhythmus des Lebens. So wie der Grundschat des Trommlers einer Melodie ihren Halt verleiht.

den anderen schnell. Eine Norm musste her, und die war gefunden als der gebürtige Regensburger Johann Nepomuk Mälzel 1815 das Metronom erfand. Dann konnte man die Tempoangabe als Metronomzahl in Schlägen pro Minute auf dem Notenblatt notieren. Heute ist dafür auch die Abkürzung BPM (Beats per minute) gebräuchlich. Die Ruhfrequenz des menschlichen Herzens ist bei den meisten im Bereich largo (langsam) 40 bis 60 BPM, oder adagio (gemächlich), 66 bis 76 BPM. Es geht aber auch schneller. Die schnellste Variante des Hardcore Techno hat einen Grundschlag von 270 bis 500 BPM, und auch beim Speed Metall werden bis zu 300 BPM erreicht. Ab 1000 BPM nimmt das Gehör keine einzelnen Schläge mehr wahr. Takte und Rhythmen mit diesem Beat kann das Gehör nicht mehr auflösen, künstlich erzeugen kann man solche Musik schon.

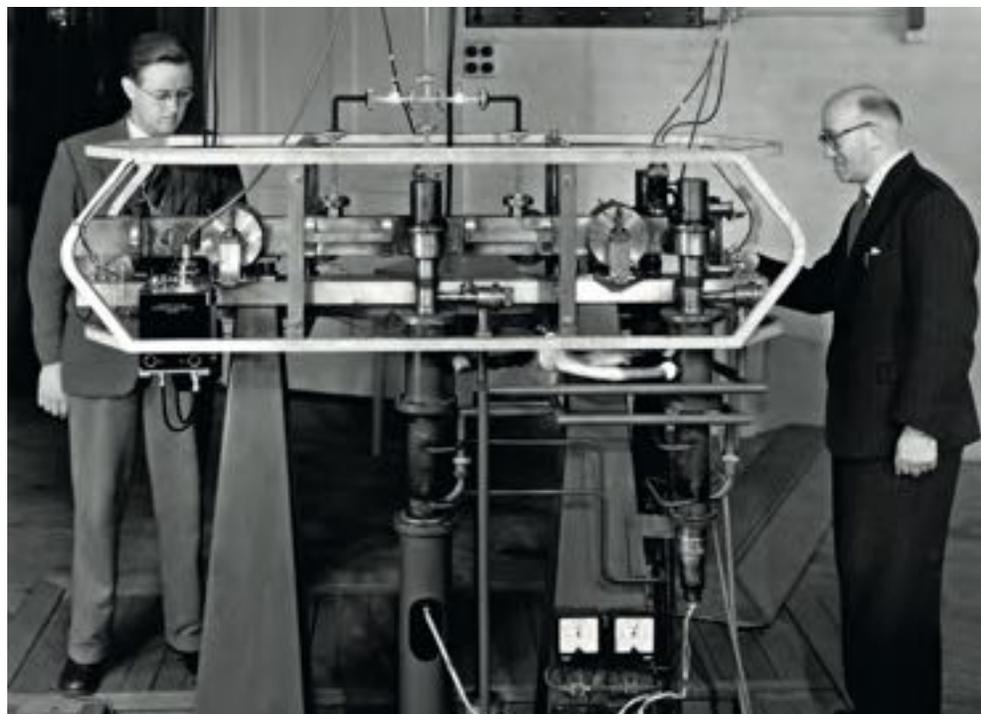
Und auch in der anderen Richtung scheint es kein Limit zu geben. Der Musiker und Komponist John Cage, schrieb das Orgelstück *Organ2/ASLSP* mit der Tempovorschrift »so langsam wie möglich«. Auf der Cage-Orgel in der Domkirche in Halberstadt erklang 2013 der erste Ton, das gesamte Musikstück soll über einen Zeitraum von 639 Jahren erklingen.

Überall Rhythmus

Bleiben wir lieber in der Nähe der Frequenz unseres Herzens, und das schlägt ja bekanntlich bei vielen für den Sport: Die Trittfrequenz beim Radfahren, bei der die maximale Leistung erreicht wird, liegt bei den meisten Menschen bei ca. 60/Min. Im Kanurennsport liegt die Schlagzahl im Einerkajak zwischen 70/Min und 75/Min. Läufer zählen ca. 170 Schritte pro Minute während im Profibereich schon mal 180 bis 210 Schritte pro Minute erreicht werden. Und beim Militär? In der zentralen Dienstvorschrift ist zu lesen. »Auf das Kommando im Gleichschritt Marsch! – tritt der Soldat mit dem linken Fuß an – beträgt die Schrittlänge vom ersten Schritt an etwa 80 cm, marschiert er mit 114 Schritt in der Minute – bewegt er die Arme mit geöffneter Hand und gestreckten Fingern zwanglos bis etwa eine Handbreit unterhalb des Koppelschlösses.«

Aber lassen wir den Gleichschritt. Offbeats, also Schläge vor oder nach dem eigentlichen Grundrhythmus eines Musikstücks bringen Spannung und sind prägend für viele moderne Musikstile. »It don't mean a thing, if it ain't got that swing« singt Duke Ellington 1943 und ist damit der Wegbereiter einer Musik, bei der die Betonung kurz nach dem eigentlichen Metronomschlag liegt. Ebenso beim Reggae und Ska kommt das richtige »Feeling« nur auf, wenn die Betonungen nicht dem Grundschatz folgten. In jedem Falle gibt es den Grundschatz, sonst schwebt die Melodie im luftleeren Raum, hat keine Struktur und keinen Halt.

Wie bei der Musik so auch im Leben: Ereignisse, die periodisch wiederkehren, bilden die Grundrhythmen. Die Betonung beim Dreivierteltakt hat genauso Wiedererkennungspotenzial wie der Sonnenaufgang, der Stunden-schlag der Wanduhr, der erste Schneefall, der wiederkehrende Vollmond, Frühstück, Mittag- und Abendessen, Jour



Die Physiker Jack Parry (links) and Louis Essen (rechts) justieren ihren Cäsiumresonator, den sie 1955 entwickelten. Mit ihm leiteten Essen und Parry den Wechsel von der astronomisch definierten zur atom-physikalisch definierten Sekunde ein. (National Physical Laboratory, Teddington, UK, 1956)

Fixe oder die Englischstunde in der Schule, der Musikunterricht oder das Fitnessstudio, Fußball- oder Schachklub. Wie es sich anfühlt, wenn einige dieser Taktgeber unseres Lebens wegfallen, haben viele Menschen dieses Jahr in der Corona-Krise erfahren müssen, aber dass alle Taktgeber wegfallen, können wir uns nicht vorstellen. Versuche haben gezeigt, dass wir Menschen, selbst wenn wir von der Außenwelt isoliert sind, immer noch einer inneren Uhr gehorchen – einem Takt, den unser Herzschlag, das Gehirn oder jede einzelne Zelle vorgibt.

Neben allen diesen Rhythmen gibt es einen »Grundbeat«. Dieser Grundbeat ist die Zeit, und wir haben das Gefühl, ihr Grundschatz durchdringt alles. Albert Einstein hat dieses Weltbild, das auf Isaak Newton zurückgeht, einmal sehr treffend in einem Manuskript von 1920 beschrieben: »Wenn wir alle körperlichen Dinge, alle Sterne, alles Licht aus der Welt fortgenommen denken, dann bleibt so etwas wie ein ungeheures Gefäß ohne Wände übrig, das eben als »Raum« bezeichnet wird. Es spielt gegenüber dem Weltgeschehen dieselbe Rolle wie die Bühne zur Theater-vorstellung. In diesem Raum, diesem wandlosen Gefäß gibt es ein ewig gleichmäßig ablaufendes Ticktack, das allerdings nur Geister, diese aber überall vernehmen können, das ist die Zeit.« – Glauben wir an Geister?

Sekundenzähler

Auf der Internetseite der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt (PTB) ist zu lesen: »Seit 1967 ist die Sekunde über eine atomphysikalische Konstante definiert. Es wurde das nicht radioaktive Isotop 133 des Elements Cäsium, ^{133}Cs , zugrunde gelegt. Die Resonanzfrequenz zwischen ausgewählten Energiezuständen dieses Atoms wurde auf exakt 9 192 631 770 Hz (Hertz) festgelegt. Die Realisierung



Die Uhr gibt seit dem Beginn des Industriezeitalters den Takt vor.

Taktlosigkeiten

Wieso glauben wir an die »Störungstheorie«? Wir glauben daran, weil nichts im Takt ist und weil Astronomen und Naturwissenschaftler immer wieder erkannt haben, dass tatsächlich eine Störung der im Grunde gleichmäßigen Bewegung von Körpern für deren taktloses Verhalten verantwortlich ist. Fangen wir mit den natürlichsten aller vorgegebenen Takte an, der Drehung der Erde um sich selbst. Alle unsere Lebensrhythmen richten sich zunächst nach dem Sonntag. Die Dauer eines Sonnentages wird von einem Meridiandurchgang der Sonne bis zum nächsten gemessen. Es mag manchen überraschen, aber die so definierten Tage haben nur viermal im Jahr genau 24 Stunden. Schon der griechische Astronom Hipparchos erkannte das im 2. Jahrhundert v. Ch., und Ptolemäus beschrieb das Phänomen 300 Jahre später im *Almagest*. Damals gab es keine genauen mechanischen Uhren, mit denen man die Abweichung feststellen konnte, aber man erkannte, dass der Sonnentag und der Sternentag (das ist die Zeit, die vergeht, bis ein Stern wieder genau an der gleichen Stelle am Himmel steht) ein wenig aus dem Takt geraten. Seit der frühen Neuzeit ist die Abweichung der wahren Sonnenzeit von der sogenannten mittleren Sonnenzeit (die im Takt mit der Sternzeit ist) als Zeitgleichung bekannt.

Der Astronom Christiaan Huygens (1629–1695) veröffentlichte 1669 die erste Tabelle der Zeitgleichung in heutiger Form. Die von ihm erfundene Pendeluhr machte die Sache dann ganz deutlich: Wie schon der Sternentag, so

der Sekunde geschieht mit Hilfe von Cäsiumatomuhren.«

9 192 631 770 Hz bedeutet hier eine Messvorschrift: Zähle 9 192 631 770 Schwingungen der elektromagnetischen Welle, die von speziell präparierten Cäsiumatomen ausgesandt wird und nenne das dann eine Sekunde. – Fertig? – Nicht ganz: Tatsächlich vertraut man nicht einer einzelnen Atomuhr und lässt diese Atomuhr die Zeit einfach definieren (analog zum ehemaligen Urmeter in der Längenmessung), sondern man mittelt zur Erstellung der internationalen Atomzeit (die momentan genaueste Zeitskala) die Zeitsignale von 600 Atomuhren in etwa 80 Instituten weltweit. So machen die Sekundenzähler die Zeit.

Kommen wir auf die Newton'schen Geister zurück: Kann man sich nicht überall im Kosmos Atomuhren vorstellen, die, wenn man ihre Zeitsignale gemäß der Relativitätstheorie und sonstiger Störungen korrigierte, alle exakt synchron gingen, und wäre das dann nicht ein ewig gleichmäßig ablaufendes Ticktack, das auch wir wahrnehmen könnten? – Scheint so. Das Problem: Tatsächlich schlagen selbst Atomuhren nicht im Takt. Auch wenn die Abweichungen minimal sind – beim Vergleich von sogenannten Fontänenuhren der PTB im Bereich von 0,01 Milliardenstel Sekunde am Tag. Welche Uhr zeigt die richtige Zeit an? Viele werden denken, dass alle Fontänenuhren eben winzigen lokalen Störungen unterworfen sind. Störungen bezüglich was? In Bezug auf dieses eine gleichmäßig ablaufende Ticktack überall im Kosmos, das nur Geister wahrnehmen können?



war auch die Pendeluhr nicht mit der Sonnenuhr, die die wahre Sonnenzeit anzeigt, in einen Takt zu bringen, und man erkannte, dass die wahre Sonnenzeit mehrmals im Jahr beträchtlich (maximal fast $16 \frac{1}{2}$ Minuten) von der mittleren Sonnenzeit abweicht.

Da Sonnenuhren noch in der frühen Neuzeit die gebräuchlichsten Zeitmesser waren, ist es kein Wunder, dass damals viele Zeitgenossen die Zeitgleichung als Abweichung der Pendeluhr von der wahren Zeit – der Sonnenzeit – ansahen und annahmen, die Pendeluhr gehe falsch. Isaak Newton sah es schon damals anders. In der deutschen Übersetzung der *Principia* findet man folgende Zeilen: »Die absolute Zeit wird in der Astronomie von der relativen durch die Zeitgleichung unterschieden. Die natürlichen Tage, welche gewöhnlich als Zeitmaße für gleich gehalten werden, sind nämlich eigentlich ungleich. Diese Ungleichheit verbessern die Astronomen, indem sie die Bewegung der Himmelskörper nach der richtigen Zeit messen.« Die richtige Zeit nach Newton ist die Zeit, die im Takt mit der Sternzeit ist, und die wird berechnet aus der Erddrehung bezüglich des Fixsternhimmels.

Damit wir weiterhin im Takt mit unserer Sonne bleiben, hat sich als Zeitsystem die mittlere Sonnenzeit durchgesetzt, die man direkt aus der Sternzeit, also aus der Frequenz der Erddrehungen bezüglich des Fixsternhimmels, berechnen kann. Aus ihr leitet sich ein Zeitsystem ab, das bis 1972 gültige Weltzeit war: die sogenannte Greenwich Mean Time GMT, die mittlere Sonnenzeit am Greenwi-

cher Nullmeridian. Warum nur bis 1972? Nach der Erfindung der Quarzuhr stellten etwa Mitte der dreißiger Jahre des 20. Jahrhunderts Forscher an der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt fest, dass die angeregten Eigenschwingungen von Quarzkristallen nicht im Takt mit der Erddrehung sind. Das gleiche Phänomen fand man bei Atomuhren, dass nämlich die Resonanzfrequenz zwischen ausgewählten Energiezuständen des Cäsiumatoms nicht im Takt mit der Erddrehung ist.

Die Abweichungen sind minimal (der mittlere Sonntag wird im Durchschnitt pro Jahrhundert 1,8 Millisekunden länger). Trotzdem sah man sich veranlasst, eine neue Weltzeit einzuführen, die koordinierte Weltzeit UTC. Sie ist eine Kombination aus der internationalen Atomzeit (TAI), die von Atomuhren gemessen wird, und der Universal Time (UT) die mit der bis dahin als Weltzeit gültigen Greenwich Mean Time übereinstimmt. Die Regelung besagt, dass die UTC gemäß den Atomuhren gleichmäßig tickt, bei der Zählung wird aber nach Vereinbarung nach einer gewissen Zeit eine Sekundenzählung ausgelassen – das heißt, in den Zeitfluss eine Sekunde eingefügt. Wundern Sie sich also nicht, wenn Ihr Funkwecker ab und zu eine Sekunde stillsteht, das gehört so. Die letzte Schaltsekunde wurde in München übrigens am Sonntag, dem 1. Januar 2017, um 00:59:60 eingefügt. – Haben Sie es bemerkt?

Zeitplan von Sonne, Mond und Sternen

Auch beim sogenannten Sonnenjahr, das ist die Zeitspanne von einer Frühjahrs-Tagundnachtgleiche zur nächsten, wird geschaltet. Leider passt nämlich nicht eine ganze Anzahl von Tagen in die Zeitspanne von einer Frühjahrs-Tagundnachtgleiche zur nächsten, sondern ein Sonnenjahr ist durchschnittlich 365 Tage, 5 Stunden, 48 Minuten und 45 Sekunden lang. Damit unser Kalender mit den Jahreszeiten langfristig nicht aus dem Takt kommt, gibt es alle vier Jahre einen zusätzlichen Schalttag, den 29. Februar (wie beim julianischen Kalender).

Da das aber auch nicht genau passt, lässt man dank Papst Gregor, der diese neue Kalenderrechnung 1582 einführte, beim Jahrhundertwechsel den Schalttag wieder weg – nur nicht alle 400 Jahre, da bleibt der Schalttag bestehen. Schon etwas kompliziert. Aber was ist die Alter-

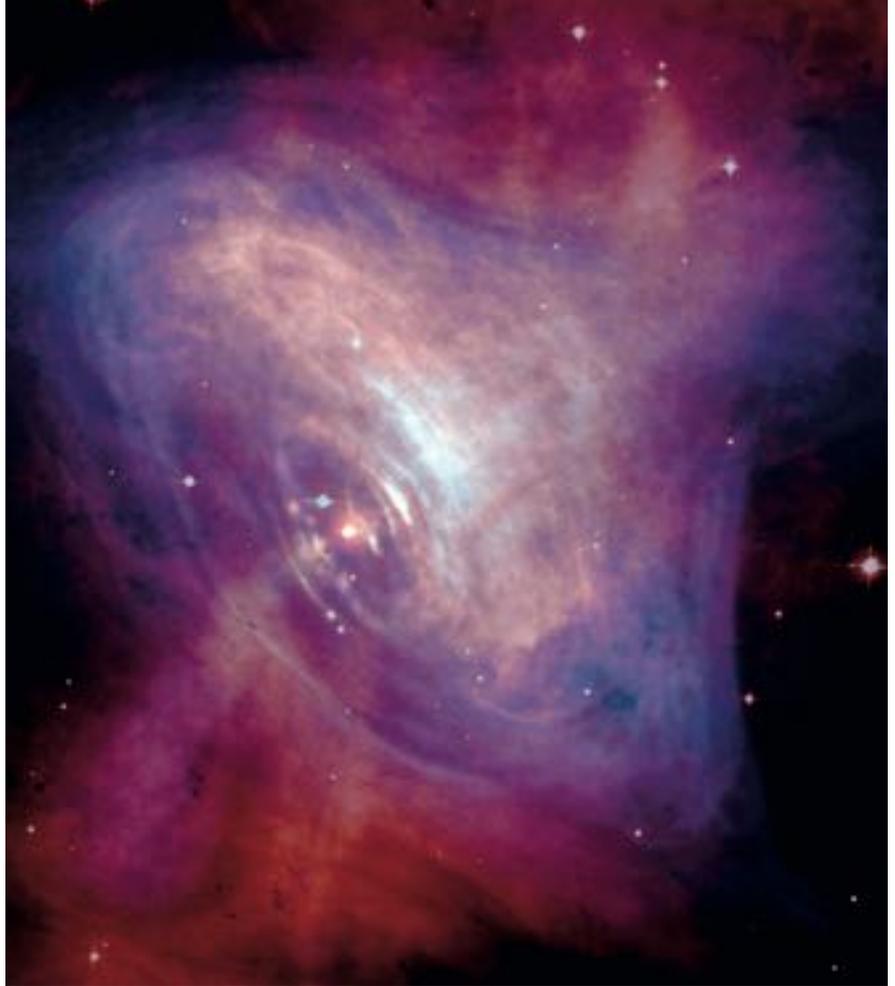
native? Beim jüdischen und islamischen Kalender wählte man den Mond als Zeitnormal. Aus Sicht der Beobachtbarkeit ist das praktisch. Der Monat beginnt mit der ersten Sichtbarkeit der nach Neumond dünnen Mondsichel am Himmel und endet nach einem kompletten Mondzyklus mit dem nächsten zunehmenden Sichelmond. Man muss nur in den Himmel schauen und weiß dann, wann die nächste Lohnzahlung fällig wird.

Leider ist der Mond ein denkbar ungenauer Taktgeber, und durch die komplizierte Mondbewegung schwankt der Zeitraum der sogenannten Lunation zwischen 29 Tagen und 6,5 Stunden und 29 Tagen und 20 Stunden. Da die Summe zwölf solcher Mondmonate (Mondjahr) um etwa elf Tage kürzer ist als das Sonnenjahr, gerät entweder das Mondjahr mit dem Sonnenjahr aus dem Takt, wie beim islamischen Kalender, oder man fügt wie beim jüdischen Kalender alle zwei bis drei Jahre einen Schaltmonat ein. Dadurch fallen die jüdischen Feiertage in die in der Tora festgeschriebenen Jahreszeiten, während der islamische Fastenmonat Ramadan im Laufe der Jahre durch die Jahreszeiten wandert.

Und im Christentum? Hier ist der Ostersonntag auf den ersten Sonntag nach dem ersten Vollmond im Frühling festgelegt. Die weiteren kirchlichen Feste im Jahr richten sich nach diesem Datum. Der Grundzeitplan der Menschen, der Kalender, der von der Rotation der Erde, ihrer Bahn um die Sonne und dem die Erde umkreisenden Mond vorgegeben wird, bietet reichlich Platz für Interpretationen. Unser schönes Sonnensystem, für unsere Vorfahren aus göttlichen Sphären aufgebaut und durch Gottes Allmacht bewegt, ist leider nicht ganz im Takt. Aber vielleicht sollten wir uns weiter draußen im Kosmos umschauchen.

Einsame Taktgeber im Weltraum

An einem kalten Novembertag im Jahr 1967 nahe Cambridge betrachtete Doktorandin Jocelyn Bell den Schreiber, der die Daten einer riesigen Antennenanlage zur Beobachtung von Radioquellen am Himmel aufzeichnete. Auf einer Grundfläche von 57 Tennisplätzen hatten Forscher der Universität damals mehr als 2000 Dipolantennen aufgestellt. Eigentlich wollten die Radioastronomen aus Cambridge damit Szintillationen (scheinbare Änderung



Diese spektakuläre Aufnahme des Krebs-Pulsar ist eine Kombination von Beobachtungsdaten im Bereich des sichtbaren Lichts des Hubble-Weltraumteleskops und im Bereich der Röntgenstrahlung (blau) des Chandra-Observatoriums. Im Zentrum befindet sich der Pulsar, der geladene Teilchen beschleunigt und so seine Umgebung zum Leuchten anregt. Der Krebs-Pulsar hat einen Durchmesser von nur 20 Kilometer und dreht sich 30-mal in der Sekunde.

der Strahlungsintensität) von Radiosignalen auffangen, um Quasare aufzuspüren. Jocelyn Bell war aber schon im Sommer ein eigenartiges, sehr regelmäßiges Signal aufgefallen, das sie sich an diesem Novembertag nochmal genauer anschauen wollte. Ihr Verdacht bestätigte sich. Irgendetwas da draußen sendete Radiopulse mit einem Abstand von $1 \frac{1}{2}$ Sekunden aus.

Da die Signale nicht aus unserem Sonnensystem aber aus der Milchstraße kamen, vermutete man dahinter eine außerirdische Intelligenz und taufte die Quelle daher inoffiziell LGM-1 (Little Green Man 1). Nachdem man allerdings in der Folgezeit weitere solcher Pulsare finden konnte und die Charakteristik der Strahlung genauer untersuchte, schieden kleine grüne Männchen als Quelle aus. Heute geht man davon aus, dass rotierende Neutronensterne derartige Radiopulse verursachen. Neutronensterne sind Objekte, die nach dem Kollaps von massereichen Sternen entstehen. Im Verhältnis zu Sternen sind diese Objekte extrem klein, aber außerordentlich schwer.

Der von Jocelyn Bell entdeckte Neutronenstern hat einen Radius von nur 20 Kilometer und wiegt so viel wie unsere Sonne. Heute kennt man bereits 2200 Pulsare mit einer Periode zwischen 1,4 Tausendstelsekunden und 8,5 Sekunden. Dabei sind die Signale von manchen Neutronensternen extrem stabil. Der 1982 entdeckte Millisekundenpulsar PSR B1937+21 tickt so gleichmäßig wie eine Atomuhr. Das ist bemerkenswert: Es gibt also offenbar im Universum unvorstellbar dichte rotierende Körper mit der Masse von ganzen Sonnen, die (im Falle von PSR B1937+21) mehr als 12000 Lichtjahre von der Erde entfernt sind und bis auf minimale Abweichungen im Takt

mit Atomuhren hier auf unserer Erde um die eigene Achse rotieren. Die eine Uhr hier auf der Erde, das Cäsiumatom mit einer Größe von 0,2 Milliardstel Meter, die andere mit 20 Kilometer Durchmesser weit weg im Weltraum.

Zweifel

Gottfried Wilhelm Leibniz war Zeitgenosse von Newton und der Meinung, dass etwas mit dem Zeitbegriff bei Newton nicht stimmt. Die Existenz von einem Phänomen wie »Zeit«, das scheinbar auch ohne jeden Kontakt mit den wahrnehmbaren Dingen der Welt besteht, war Leibniz ein Dorn im Auge. Doch Newtons Mechanik wurde weiter ausgebaut und gerade die Vorhersagekraft der Theorie war bestechend.

Erst an der Schwelle zum 20. Jahrhundert trat ein Kritiker auf den Plan, der den Anstoß für einen Wandel unseres Weltbildes gab: Der österreichische Physiker und Philosoph Ernst Mach (1838–1916). Bezüglich des Zeitbegriffs äußerte Mach die folgende Kritik an Newtons Weltbild: »Wir sind ganz außerstande, die Veränderungen der Dinge an der Zeit zu messen. Die Zeit ist vielmehr eine Abstraktion, zu der wir durch die Veränderung der Dinge gelangen, weil wir auf kein bestimmtes Maß angewiesen sind, da eben alle untereinander zusammenhängen. Wir nennen eine Bewegung gleichförmig, in welcher gleiche Wegzuwächse gleichen Wegzuwächsen einer Vergleichsbewegung (der Drehung der Erde) entsprechen. Eine Bewegung kann gleichförmig sein in Bezug auf eine andere. Die Frage, ob eine Bewegung an sich gleichförmig sei, hat gar keinen Sinn. Ebenso wenig können wir von einer absoluten Zeit (unabhängig von jeder Veränderung) sprechen. Diese absolute Zeit kann an gar keiner Bewegung abgemessen werden, sie hat also auch gar keinen praktischen und auch keinen wissenschaftlichen Wert, niemand ist berechtigt zu sagen, dass er von derselben etwas wisse, sie ist ein müßiger, metaphysischer Begriff.«

Einstein hat Machs Ausführungen von 1883 gelesen. Er fand den Standpunkt unmittelbar einleuchtend und folgte daraus: Wenn sich experimentell kein ausgezeichnetes Ruhesystem nachweisen lässt, dann sollte die Annahme eines absoluten Raumes oder einer absoluten Zeit auch aus der Theorie verschwinden. In einem ersten Schritt betrachtete Einstein alle Inertialsysteme (das sind Bezugssysteme,



Die Radioastronomin Jocelyn Bell vor dem Array aus zusammengeschalteten Dipolantennen, mit dem sie 1967 zum ersten Mal Signale von einem Pulsar detektieren konnte.

die sich durch den geradlinig-gleichförmigen Verlauf der kräftefreien Bewegung auszeichnen) als gleichwertig. Als Folge läuft für einen ruhenden Beobachter die Zeit in einem, sich relativ zu ihm, bewegendem System langsamer (siehe auch Beitrag von Andreas Müller, S. 38 ff.).

Einstein war damit noch nicht zufrieden, denn Inertialsysteme stellen immer noch eine Art absoluter Raum dar. Erst später in seiner allgemeinen Relativitätstheorie (ART) sah Einstein die Mach'sche Idee voll verwirklicht: Aus dem Grundprinzip, dass nicht nur verschiedene Inertialsysteme, sondern auch beschleunigte Bezugssysteme und Bezugssysteme in Gravitationsfeldern gleichwertig sind (alle beobachtbaren Vorgänge laufen in diesen Systemen auf die gleiche Art und Weise ab), kommt Einstein zu einer völlig neuen Auffassung von Zeit und Raum. In seinen Gleichungen zur ART legt die Verteilung der Materie eine gekrümmte Raum-Zeit-Struktur fest. Das ist die neue Bühne. Als Folge läuft die Zeit nicht nur in bewegten Systemen langsamer, sondern auch in starken Gravitationsfeldern – mit überraschenden Konsequenzen.

Epilog

Mit seiner Annahme, er hätte mit seinen Gleichungen den leeren, absoluten Raum mit dem gleichmäßigen Tick-Tack als Bühne des Weltgeschehens ein für alle Mal in die Verbannung geschickt, hatte sich Einstein geirrt. Seine Gleichungen lassen einen Raum ohne Materie problemlos zu (De-Sitter-Raum). Diesem leeren Raum kann man dynamische Eigenschaften zuschreiben, also auch eine Zeit – für Mach wäre das unnütze Metaphysik. Die ART und spezielle Relativitätstheorie (SRT) sagen uns, wie genau die Zeit in verschiedenen Bezugssystemen relativ zueinander aus dem Takt gerät – der lokale Fluss der Zeit im jeweiligen System bleibt unangetastet. Wie sonst könnte man beispielsweise mit dem Vergleich von Atomuhren die Verlangsamung des Zeitflusses in Gravitationsfeldern und bei Bewegung nachweisen.

Und die Quantenmechanik? Bezüglich Raum und Zeit eigentlich ein Rückschritt. In der Formulierung der Quantenmechanik von 1926 gibt es sie deshalb wieder: Die Newton'sche Bühne des leeren Raumes mit dem gleichmäßig ablaufenden Ticktick. Auf der Bühne tummeln sich



La persistencia de la memoria (Die Beständigkeit der Erinnerung) lautet der Titel eines der berühmtesten Gemälde des surrealistischen Malers Salvador Dalí. (Öl auf Leinwand, 24,1 x 33 cm; Museum of Modern Art, New York)

jetzt statt realer Dinge eigenartige Wellenfunktionen. Die spezielle Relativitätstheorie wurde später in die Quantenphysik erfolgreich eingearbeitet. Es ist aber nach wie vor unbekannt, wie die Gravitation auf kleinsten Skalen durch die Quantentheorie beeinflusst wird. Um zu einer vereinheitlichten Theorie zu kommen, müssen wir unsere Vorstellung der Raumzeit auf jeden Fall wesentlich umkrempeln. Bisher spielt beim Verständnis der elementaren Materiebausteine im Standardmodell der Elementarteilchenphysik die Raumzeit dieselbe absolute Rolle wie in der klassischen, speziell relativistischen Mechanik. Sie bildet einen statischen Hintergrund, auf dem die Felder leben.

In den modernen physikalischen Theorien, dem Standardmodell der Elementarteilchen und in der allgemeinen Relativitätstheorie wurden die Ideen von Leibnitz und Mach bezüglich Raum und Zeit, so einleuchtend sie auch auf den ersten Blick erscheinen, nie restlos verwirklicht. Die Forderung, dass nur direkt beobachtbare Größen in physikalischen Gleichungen auftauchen sollen, hat sich in der Durchführung als sehr unpraktisch, wenn nicht sogar unmöglich, erwiesen. Nur mit der einen, gleichmäßig ablaufenden Zeit haben die Gesetze der Physik diese einfache Form.



DER AUTOR

Dr. Christian Sicka ist Physiker und Kurator für Astronomie, Zeitmessung und den Bereich Atom-, Kern- und Teilchenphysik am Deutschen Museum.

Man kann es auch so herum sehen: Die Grundgesetze der Physik gelten überall im Kosmos, und überall im Kosmos könnten wir Uhren bauen oder können Uhren natürlich entstehen, die nach diesen Gesetzen funktionieren und deshalb auch den gleichen Takt angeben. So gesehen sind der Gleichtakt der Neutronensternuhr und der Atomuhr ein starkes Argument dafür, dass die physikalischen Gesetze, die wir hier auf Erden finden, tatsächlich überall im Kosmos gelten. Da aber nirgends von der Außenwelt isolierte Uhren existieren, können wir Einflüsse der Umgebung nicht mit Sicherheit ausschließen und wir können auch nicht ausschließen, dass durch Störungen die Uhren ein wenig falsch gehen. Diese Tatsache müssen wir akzeptieren. Die wirkliche Zeit können wir nicht beobachten und können so auch nicht verhindern, dass dem Zeitbegriff in der Physik etwas Metaphysisches anhaftet. Man kommt von der »Zeit an sich« nicht los. Diese Zeit taucht in allen fundamentalen Differentialgleichungen, die unsere Welt so treffend beschreiben, auf. Das gesamte Gebäude steht auch dann stabil, wenn die Fundamente so tief im Boden stecken, dass wir sie nicht sehen. Die Zeit ist t. ■■■



LEINFELDER

UHREN · MÜNCHEN



JUBILÄUM BEI LEINFELDER UHREN MÜNCHEN - 10 JAHRE FEINSTE HANDWERKSKUNST

Etwas Besonderes zu schaffen braucht Können, Hingabe und Zeit. Nur aus dem perfekten Zusammenspiel dieser Komponenten gehen Liebhäberstücke hervor. Im Herzen der bayerischen Metropole widmet sich Leinfelder Uhren München genau dieser Passion. Seit 2010 werden dort edle Armbanduhren designt, entwickelt, konstruiert und fertiggestellt. Präzise Uhrmacherei, handwerklich herausragende Details, höchste Qualität und ein persönlicher Service zählen dabei zu den wichtigsten Grundsätzen des Unternehmens.

In puncto Technik kommt bei den Dreizeigeruhren das Manufakturwerk L-H01 zum Einsatz. Das Handaufzugskaliber der Uhren-Werke-Dresden, die 2013 von Prof. Dr. Ulrich L. Rohde (Miteigentümer von Rohde & Schwarz GmbH & Co. KG) gegründet wurden und mit denen Leinfelder eine enge Partnerschaft pflegt, steht für „äußerste Präzision „Made in Germany“ - mit einer Fertigungstiefe von über 95%. Alle Zeitmesser verbindet eine Gemeinsamkeit: die Fusion aus einer eleganten, zeitgenössischen Formensprache mit modernen Herstellungsprozessen.

Feiern Sie mit uns 10 Jahre Leinfelder Uhren München und erleben Sie meisterhafte Uhrentechnik & Uhrmacherkunst in unserem Atelier in der Pacellistraße. Wir freuen uns sehr auf Ihren Besuch - vereinbaren Sie gerne einen Termin mit uns!

SHOWROOM & WERKSTATT BERATUNG & VERKAUF

Leinfelder Uhren München GmbH & Co. KG
Pacellistraße 4 / Pacellipassage 1. OG, 80333 München
Tel. +49 89 - 24 20 39 40, info@leinfelder-uhren.de, www.leinfelder-uhren.de



Leinfelder
Benno

Meridian Bavaria
Chronograph





Im Rhythmus mit der Natur

Immer weniger Uhren, immer mehr Flexibilität – haben Sie es nicht auch schon längst bemerkt? Zeitforscher Karlheinz Geißler erklärt, warum nach einem halben Jahrtausend Uhrzeit-Dominanz nun andere Zeitmuster in Wirtschaft und Alltag einkehren. Interview: Christian Rauch, Fotos: Heike Geigl

Herr Geißler, Sie leben ohne Uhr. Wie lange schon?

Ich wollte schon die Uhr, die ich zur Konfirmation bekommen hatte, nicht tragen. Zehn Jahre später, ich studierte Ökonomie, Philosophie und Wirtschaftspädagogik, dämmerte mir, warum. Und als ich 1975, mit 30 Jahren, meine Professur für Wirtschaftspädagogik an der Universität der Bundeswehr antrat, war es mir endgültig klar: Zeit ist eben nicht gleich Uhrzeit. Für den Ökonomen ist Zeit Geld und muss deshalb planbar, kalkulierbar und steuerbar sein, wie die Uhrzeit. In der Pädagogik aber spielt die biologische

Zeit, die menschliche Zeitnatur, eine wesentliche Rolle: Menschen lernen zu verschiedenen Tageszeiten unterschiedlich effizient. Sie lernen auch nicht halb oder doppelt so viel, wenn die Dauer eines Seminars halbiert oder verdoppelt wird. Menschliche Zeit ist die von

der Natur vorgegebene Zeit, und die ist nicht linear, wie sie auch bei Pflanzen und anderen Lebewesen nicht linear, sondern rhythmisch verläuft. Seit meinem Berufsstart habe ich mir selten, nur in unumgänglichen Situationen, einen Wecker gestellt. Aufstehen wenn man aufwacht, das ist einfach viel entspannter.

Waren Sie in Ihrem Leben dann nie pünktlich?

Selbstverständlich wurden mir manche Termine auch von außen vorgegeben. Hatte ich einen Vortragstermin in einer anderen Stadt, erschien ich natürlich nicht einfach irgendwann, sondern pünktlich, zur »richtigen«, zur vereinbarten Zeit. Um das zu garantieren, nahm ich meist einen

Zug früher, um mir ein Polster bei einer Zugverspätung zu verschaffen und nicht unter Zeitdruck zu geraten. Meine Uni-Vorlesungen aber begann ich erst ab zehn, und hatte, so die Hochschultradition, dann nochmal 15 Minuten Zeit anzufangen. Das gab mir Gelegenheit, zum »rechten«, dem geeigneten Zeitpunkt zu beginnen.

Sie schreiben in ihren Büchern: Die alten Griechen unterschieden schon »richtige« und »rechte« Zeit.

Genau. Lassen Sie mich ein Beispiel nennen: Sie sind auf dem Weg zu einer Verabredung. In der S-Bahn treffen Sie einen Bekannten, den Sie ewig nicht mehr gesehen haben und mit dem Sie etwas zu bereden haben. Kosten Sie die gemeinsame Fahrtzeit für das Gespräch aus, nutzen Sie die »rechte Zeit« – um den Preis, zur vereinbarten Verabredung zu spät und damit nicht zur »richtigen Zeit« zu kommen. Doch das war es wohl wert, oder?

Auch verspätete Züge kommen zur rechten Zeit, wenn auch diejenigen, die mit ihnen fahren wollen, verspätet sind oder ihnen beim Warten für ihr aktuelles Projekt eine gute Idee einfällt. Eine Idee, die der Wartezeit zu verdanken ist.

Was ist schlecht daran, auf die Uhr zu schauen und pünktlich zu sein?

Der Mensch tickt nicht wie eine Uhr. Er hat keinen Sinn für exakt lineare Zeit. Nicht jede Sekunde, nicht jede Minute ist für ihn gleich lang. Alle wissen wir, wie uns der Verlauf der Zeit mal schneller, mal langsamer vorkommt. Zur Zeitnatur des Menschen gehört es auch, hin und wieder zu verschlafen und etwas zu verpassen. Chronobiologen wissen längst, nicht jede Uhrzeit ist gut für die Einnahme eines bestimmten Medikaments, nicht zu jeder

Sie lieben das ordentliche Nacheinander von Tatsachen, weil es einer Notwendigkeit gleichsieht, und fühlen sich durch den Eindruck, dass ihr Leben einen »Lauf« habe, irgendwie im Chaos geborgen.

Robert Musil in *Mann ohne Eigenschaften*

Ich halte ja eine Uhr für überflüssig. Seh'n Sie, ich wohne ganz nah beim Rathaus. Und jeden Morgen, wenn ich ins Geschäft gehe, da schau ich auf die Rathausuhr hinauf, wie viel Uhr es ist, und da merke ich's mir gleich für den ganzen Tag und nütze meine Uhr nicht so ab! Karl Valentin

Uhrzeit sind Menschen gleich leistungsfähig. Seit Jahrzehnten setze ich mich, leider bisher vergeblich, für eine morgendliche »Gleitzeitstunde« zwischen acht und neun Uhr an den Schulen ein. Denn die Uhrzeit simplifiziert auf sträfliche Weise das flexible menschliche Zeitsystem, sperrt es in einen Uhrzeitkäfig voller Zahlen, Daten und Terminen. Wer sich nur nach der Uhrzeit organisiert, verpasst Situationen oder Chancen, die sich spontan ergeben. Und wir dürfen nicht vergessen, seit Jahrhunderten sind es die Herrschenden, die Mächtigen, die uns den Uhrzeittakt aufzwingen. Die Industrieunternehmer, die Bürokratie brauchen pünktliche und planbare Arbeiter und Untergebene. Pünktlichkeit ist keine Tugend, sondern eine Dienstboteneigenschaft!

Wie kam es zu dieser Herrschaft der Uhren?

Bis in das Mittelalter gab die Natur das Zeitmuster vor: Mit den Hühnern ins Bett und vom Hahnenkrähen wieder geweckt. Soldaten wurden nach Nachtwachen, nicht nach Uhrzeit eingeteilt. Mit dem Sonnenuntergang gingen die Stadttore zu, mit der aufgehenden Sonne öffneten sie. Der Frühling begann, wenn alles blühte, und nicht exakt am 20. März um 17.14 Uhr. Anfang des 14. Jahrhunderts wurde in einem Kloster nahe Mailand die mechanische Uhr erfunden. Zunächst zeigten die Uhren nur Stunden an. Erst im 18. Jahrhundert gingen Uhren dann minuten- und sekundengenau. Mit der Schulpflicht, seit 1649 in Württemberg, seit 1717 in Preußen und ab 1802 in Bayern, begann man dann die Kinder auf die vermeintlich einzig richtige Zeit, die Uhrzeit, abzurichten, um sie zu brauchbaren und pflichttreuen Untertanen zu machen. Bald nach der Erfindung der mechanischen Uhr wurden die ersten Banken und Versicherungen gegründet und um 1600 öffneten die ersten Börsen.

... und seitdem gilt: »Zeit ist Geld«.

Ja, kaum waren die ersten Uhren an den Türmen der Städte zu sehen, machten Kaufleute Termine. Ihr Interesse war es, aus Uhrzeit Normalzeit zu machen. Der Handel expandierte weltweit. Ohne Uhrzeit wäre das undenkbar gewesen. Als kleiner Kronprinz wurde Friedrich der Große Anfang des 18. Jahrhunderts nach Uhrzeit erzogen: von

der Frühstücken-in-sieben-Minuten-Zeit bis zum Händewaschen um fünf Uhr. Das präzise Uhrwerk wurde später die perfekte Vorlage für seine Regierungsarbeit. Mit der Industrialisierung wurde der Takt schneller und schneller. Die natürlichen Ressourcen wurden und werden für die Beschleunigung geplündert, schneller als die Natur sie regenerieren kann. Der Alltag wurde durchterminiert. Für Bücher und Zeitungen gab es Erscheinungstermine, für Radio- und Fernsehprogramme starre Sendezeiten.

Doch in den letzten Jahrzehnten verliert die Uhr an Bedeutung?

Lassen Sie mich noch sagen. In vielen Ländern der Welt, zum Beispiel in Afrika, Asien oder auch in Südeuropa waren die Menschen nie so pünktlich wie die Mitteleuropäer. Die Ankündigung der Abfahrt eines Busses um 15 Uhr ist in Marokko ein Vorschlag, nicht die Angabe des Zeitpunktes, zu dem er wirklich abfährt. Doch auch hierzulande schwindet das Diktat der Uhrzeit und damit auch das der Pünktlichkeit. Schauen Sie sich einfach mal um: Immer weniger Menschen tragen Armbanduhren. Uhrengeschenke sind nicht mehr in Mode – es sei denn, es geht um Bestechung. Keiner mehr fragt, wie das früher oftmals der Fall war, auf der Straße: »Können Sie mir sagen, wie spät es ist?« Die Uhren an Kirchtürmen und an Bahnhofseingängen verschwinden und werden, sind sie defekt, nicht mehr repariert. Uhren verlassen das Armaturenbrett der Autos und die Bürowände.

Hat das Smartphone die Uhr ersetzt?

Abgelöst hat es die Uhr als Mittel der Zeitorganisation. Das Smartphone kann mehr als die Uhr und zeigt die Uhrzeit auch an. Die Multifunktionsgeräte Smartphone und Computer bzw. Internet machen alles immer, überall und gleichzeitig möglich: Einkaufen jederzeit, 24 Stunden am Tag, nicht wenn der Laden geöffnet hat. Es sind ideale Gerätschaften für eine Nonstop-Gesellschaft. E-Mails an den Geschäftspartner um Mitternacht abschicken, nicht nur

*Und das verfluchte Bim-Bam-Bimmel
Umnebelnd heitern Abendhimmel,
Mischt sich in jegliches Begebnis,
Vom ersten Bad bis zum Begräbnis,
Mephistopheles in Goethes Faust*



Man kann ein Leben nicht so einrichten wie ein Turner den Handstand. Franz Kafka

zur Arbeitszeit. Den Film in der Mediathek nach Bedarf abrufen und nicht ansehen, wenn er laut Programm gesendet wird. Verspäte ich mich zu einer Verabredung, genügt ein Anruf, eine SMS oder Nachricht. Mittlerweile verabreden sich viele gar nicht mehr zu einer genauen Uhrzeit. »Ich komme zwischen zehn und elf in Ihr Büro«. Die Reaktion des Gesprächspartners: »Ok, ich bin ohnehin da und arbeite meine Mails ab. Ruf einfach kurz vorher an!« Die neue Welt braucht: Zeitraumverabredungen statt Zeitpunktvereinbarungen, Gleitzeit statt Stechuhr, flexible Fertigung à la Industrie 4.0 statt Fließband.

Wem haben wir diese neue Flexibilität zu verdanken?

Nun, das ist das Interessante: Wieder ist es die Ökonomie, die Wirtschaft, die feststellt, dass lineare Zeitpläne und Schnelligkeit nicht, wie in der Industriegesellschaft, weiteres Wachstum garantieren. Profitabler ist es, wenn man immer, überall und jederzeit einkaufen und bestellen kann. Zufriedener und leistungsfähiger sind Mitarbeiter, die bei der Arbeitszeit mitbestimmen können. »Besser« wird ein Professor oder ein Abteilungsleiter, wenn er sich ein Sabbatical nimmt und seinen Horizont dabei erweitert. Flexibilität geht jedoch auch mit neuen Belastungen und Unsicherheiten einher.

Also hat es auch Nachteile, wenn mehr und mehr Zeittakte wegfallen?

Vergleichzeitigung und Zeitverdichtung sind die Folge. Lebe ich stets »am Punkt«, geraten meine Pausengewohnheiten unter Druck. Hat der Zug Verspätung, spiele ich auf

dem Handy, rufe jemanden an oder checke soziale Netzwerke. Bankgeschäfte, die ich tagsüber nicht erledigen kann, mache ich nach Feierabend von der Couch aus. Mit Kreditkarte bestelle ich spätabends noch etwas Überflüssiges, und die Tagesschau rufe ich dann irgendwann noch über die Mediathek ab. Flexibilität kann sehr stressig sein, zumal die Menschen ihren Kopf viel häufiger und länger über ihr Smartphone-Display als früher über die Armbanduhr beugen. Neue Ängste treten auf: Handy vergessen? Akku nicht rechtzeitig aufgeladen? Funkverbindung garantiert?

Vom Regen in die Traufe? Keine Uhr mehr, aber dafür noch mehr Stress?

Das muss nicht sein, es wird aber auch nicht von alleine besser. Fällt der Taktgeber Uhrzeit weg, wird in der Smartphone-Gesellschaft mehr Eigenverantwortung verlangt. Dort, wo »überall und jederzeit alles möglich« ist, braucht man Maße und Grenzen. Diese muss man sich schaffen. Dazu gehört auch der Verzicht. Zu lernen gilt es, Dinge zu übersehen, zu ignorieren, liegen zu lassen. Nichtstun ist durchaus auch eine Option, eine stressmindernde. Und – ganz wichtig! – Kriterien fürs »Genug« entwickeln. Warum im Hamsterrad weitermachen, wenn man längst genug verdient? Warum nicht eine berufliche Auszeit nehmen, um zu tun, was man immer schon tun wollte? Oder ganz konkret: Einen – vielleicht gar nicht so wichtigen – Termin platzen lassen, wenn man gerade ein gutes Gespräch hat – man kann ja anrufen und absagen. Rhythmisch leben und mehr auf die Zeitsignale des eigenen Körpers achten und reagieren.

Wo früher bei langweiligen Vorträgen geträumt, geschwätzt oder gedrudelt wurde, wird heute gesurft. Das Smartphone ist unser Erlöser geworden. Elmar Schenkel

Herr Geißler, sehen Sie es mir nach. Sie sind Pensionär und waren als Akademiker tätig, aber was sagen Sie einem berufstätigen Paar mit kleinen Kindern oder Alleinerziehenden und Geringverdienern, die kaum Forderungen in ihrem Job stellen können?

Ich gebe zu, ich habe es leichter als viele andere, mir zeitliche Freiräume einzurichten. Aber ich gönne dieses Privileg auch allen anderen. Es sind die kleinen Dinge des Alltags, die zeitzufrieden machen: Das Ausschlafen können, der elastische Übergang von der Arbeit zum Familienleben, der zehnmütige Mittagsschlaf, das Schwätzchen in der Teeküche und das auf dem Gang zum Mittagessen, das uhrzeitlose Spiel mit Kindern, der Blick aus dem Fenster in die Natur. Man könnte auch die Tradition des Feierabends hochhalten, das Bier in der Kneipe nebenan, der Spaziergang nach Hause, der Sport mit den Kindern. Und dann unbedingt: gemeinsam Abendessen, mit Familie oder Freunden und Freundinnen.

Und dann muss man ja auch noch Zeit haben, einfach dazusitzen und vor sich hin zu schauen.

Astrid Lindgren in Pippi Langstrumpf

Wollen wir abschließend in die Zukunft blicken?

Werden wir irgendwann weise mit der Zeit umgehen?

Seit wir moderne Menschen sind, haben wir Zeitprobleme. Da wir moderne Menschen bleiben und immer moderner werden, verlassen uns die Zeitprobleme auch nicht. Wir haben nur die Chance, uns die schönen Zeitprobleme auszusuchen und die überflüssigen zu vermeiden. Unser Umgang mit Zeit ist immer ein Realexperiment. Er funktioniert nach dem Prinzip von Versuch und Irrtum. Die Corona-Krise hat es gezeigt.

Was wir jedoch immer im Blick behalten sollten, ist die Qualität der Zeit. Nicht »wie viel Zeit habe ich?« ist die entscheidende Frage im Leben, sondern »wie viel von der Zeit habe ich?« Je mehr unterschiedliche Zeitqualitäten ich lebe und leben kann, umso mehr Zeitwohlstand habe ich. Mehr Zeit gibt's nicht im Leben. Aber es gibt andere Zeiten! Und noch ein Hinweis: Zeit hat man. Dafür muss man nichts tun. Tun muss man aber etwas, um keine Zeit zu haben!

Karlheinz A. Geißler, Jahrgang 1944, war als Professor für Wirtschaftspädagogik tätig. Er leitet heute das Institut »timesandmore« für Zeitberatung (<https://timesandmore.com>) und ist als Autor, Vortragender und Zeitberater tätig. Von ihm erschienen zahlreiche Bücher, zuletzt *Die Uhr kann gehen: das Ende der Gehorsamkeitskultur*, S. Hirzel-Verlag, Stuttgart, 2019.

RADSPIELER

Seit 1841



*Radspieler –
damit
Einrichten
Freude
macht!*



*F. Radspieler & Comp. Nachf.
Hackenstraße 7
80331 München
Telefon 089/23 50 98-0
Fax 089/26 42 17
www.radspieler.com*



Sonne, Mond und Finsternis: **Der Antikythera-Mechanismus**

Vor hundert Jahren bargen griechische Schwammtaucher die oxidierten Einzelteile eines komplexen Räderwerks, das verschiedene Kalendersysteme mit astronomischen Phänomenen darstellt und verknüpft. Von Carola Dahlke

Im Jahr 1900, kurz vor Ostern, machten Schwammtaucher nahe der griechischen Insel Antikythera eine erstaunliche Entdeckung: In 42 Metern Tiefe lag ein antikes Schiffswrack. Die Reste des Schiffes waren noch gut erkennbar, doch der besondere Moment muss der Anblick der wertvollen Ladung des Schiffes gewesen sein, der sich den Tauchern auf dem Meeresgrund bot: Statuen aus Bronze und Marmor, Vasen und Amphoren, verteilt auf vielen Quadratmetern. Der rechte Arm einer Bronzestatue wurde vom Kapitän des Schwammtaucherboots selbst mit an die Wasseroberfläche gebracht.

Im November meldete Kapitän Dimitrios Kontos den Fund dem griechischen Kultusministerium in Athen. In seinem Brief bat er – aus archäologischem Interesse und in der Hoffnung auf großzügigen Finderlohn – um Erlaubnis, den Schatz vom Meeresgrund zu bergen. Die griechische Regierung sagte zu, die Bergung der Wrackreste zu unterstützen. Sie wollte Schiffe zum Transport der geborgenen Gegenstände stellen und bat geschulte Archäologen, die Bergung zu überwachen. Bereits am 24. November 1900 konnte man mit der Bergung beginnen.

Doch es gab Schwierigkeiten: Zunächst einmal war es das Tauchen selbst, dass in traditioneller Apnoetechnik, also ohne Atemhilfsmittel vonstatten gehen musste. Der Taucher holte tief Luft und sank – gegebenenfalls mit Hilfe eines Gewichts – so schnell wie möglich auf den Meeresgrund. Die Dauer eines Tauchgangs war von der Lungenkapazität des Tauchers abhängig. Geübte Schwammtaucher tauchten etwa 5 Minuten in einer Tiefe von 30 Metern.

Das Wrack von Antikythera allerdings lag in einer Tiefe von etwa 40 bis weit über 70 Metern verstreut entlang einer steilen Küste mit starker Strömung. Die acht Schwammtaucher der Insel Symi, die zur Bergung 1900 angeheuert wurden, vermochten jeweils fünf Minuten lang in einer Tiefe von 70 Metern die oft sehr großen und schweren Objekte aus dem Meeresbodenschlamm auszugraben. Für das Ab- und Auftauchen benötigten sie zusätzliche drei Minuten. Zwei Taucher verletzten sich bei dieser ersten großen Bergungsaktion 1900/01 schwer, ein weiterer starb. Auch die Entschädigung für die monatelange Bergung, mit der die Schwammtaucher gerechnet hatten, fiel im Nachhinein deutlich geringer aus, als erhofft.

Fragmente des Mechanismus von Antikythera sind im Griechischen Nationalmuseum in Athen ausgestellt.

Eine weitere Schwierigkeit war, dass die Bergungsstelle in direkter Küstennähe lag. Im Gegensatz zu den wendigen Booten, die die Schwammtaucher verwendeten, war es großen Schiffen unmöglich, nahe heranzufahren. Unterbrochen von Schlechtwetterperioden dauerte diese erste große Bergungsaktion bis September 1901. Dabei wurde ein Großteil der Ladung des Wracks, vor allem Statuen aus Bronze und Marmor sowie Keramik, Glaswaren und Schmuck, geborgen und nach Athen ins Archäologische Nationalmuseum gebracht. Mit dieser ersten großen Bergungsaktion war mit dem bestmöglichen Aufwand alles erreicht worden, was machbar war. Für weitere Tauchgänge stand vorerst kein Geld zur Verfügung.

Es dauerte aber noch weitere acht Monate, bis die wohl erstaunlichste Entdeckung von allen gemacht wurde: Im Mai 1902 vermeldete die Zeitung *Skrip*, dass unter den geborgenen Schätzen seltsame Bruchstücke in einer Kiste aufgetaucht waren: zu einer unförmigen Masse zusammengebackene Fragmente aus oxidiertes Bronze, die eindeutig wie Zahnräder aussahen, daneben ein Bruchstück mit Schriftzeichen, die auf das erste Jahrhundert v. Chr. datiert wurden.

Ersten Vermutungen zufolge handelte es sich dabei um die Überreste eines nautischen Kompasses oder um ein Astrolabium – ein unglaublicher und einzigartiger Fund!

Ein rätselhaftes Räderwerk

Seit seiner Entdeckung haben sich viele Wissenschaftler intensiv mit den Überresten des sogenannten Antikythera-Mechanismus beschäftigt. So wurde er als Astrolabium, Planetarium, Navigationsinstrument, Orrery (Planetenmaschine), mechanisches Hodometer (Kilometerzähler), astronomische Uhr und mehr bezeichnet.

Erst 1974, als der britische Technikhistoriker Derek de Solla Price (1922–1983) gemeinsam mit dem griechischen Kernphysiker Charalambos Karakalos Röntgenaufnahmen der Fragmente erstellen ließ, kam die Forschungsgemeinschaft endlich zu einer allgemein akzeptierten Meinung: Es handelte sich um ein komplexes Räderwerk, das auf maschinelle Weise verschiedene Kalendersysteme und astronomische Phänomene darstellen und miteinander in Beziehung bringen konnte.



Weitere wichtige Forschungsarbeiten folgten, insbesondere trugen der britische Physiker und Kurator Michael Wright (*1948) und sein australischer Kollege Allan Bromley (1947–2005) maßgeblich zu den Erkenntnissen bei, die heute über den Mechanismus bekannt sind.

Im Jahr 2005 startete ein internationales und interdisziplinäres Forschungsprojekt zum Antikythera-Mechanismus, bestehend aus einem Kernteam von acht WissenschaftlerInnen aus Griechenland und England, um mit den neuesten technischen Errungenschaften, vor allem mit Tomografie und hochaufgelösten Oberflächenscans weitere Details aus den Überresten herauszulesen. Im Lauf dieser Studie entstand ein reichhaltiger Datensatz an neuen Fotos aus dem Inneren der Bruchstücke und von den bisher unleserlichen Inschriften. Diese waren für die Analyse unklarer Funktionen des Mechanismus von besonderem Interesse, denn bis dato ist ein beträchtlicher Teil des Mechanismus nicht erhalten. Die Deutung der Inschriften lieferte deswegen wertvolle Hinweise. Dennoch beruhen immer noch viele Annahmen auf Interpretationen.

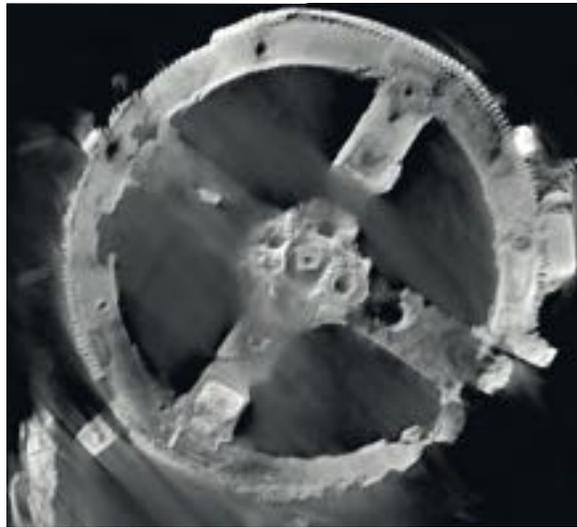
Der Mechanismus bestand ursprünglich aus einer Art Bedienungsanleitung sowie kreisförmigen Skalen und Zeigern auf der Vor- und Rückseite. Eine Antriebskurbel

Es war die Geburtsstunde der Unterwasserarchäologie: Im Winter 1900/1901 begannen Schwammtaucher nahe der griechischen Insel Antikythera mit der Bergung der Ladung aus einem antiken Schiffswrack. Mit an Bord waren Vertreter der griechischen Regierung, Archäologen und Besatzungsmitglieder. Aus dem in 40 bis 70 Meter Tiefe gelegenen Wrack bargen die Taucher Hunderte von Kunstschätzen und die Überreste eines geheimnisvollen Räderwerks: den Antikythera-Mechanismus.



Vorder- und Rückseite des größten Fragments des Antikythera-Mechanismus (v.l.n.r.)

Rechts: Ein CT-Scan der Vorderseite zeigt eindrucksvoll, die exakte Ausführung der feinmechanischen Einzelteile.



befand sich an der Seite. Im Inneren waren mindestens 30 Zahnräder mit zugehörigen Achsen und feinmechanischen Teilen verbaut. Die Vorderseite zeigte einen gängigen zeitgenössischen ägyptischen Kalender, auf dem man den aktuellen Tag einstellen konnte. Dazu erhielt man die Position der Sonne im Zodiak, also in der in die Tierkreiszeichen eingeteilten Ekliptik. Außerdem konnte die aktuelle Position des Mondes und höchstwahrscheinlich auch aller in der Antike bekannten Planeten, Merkur, Venus, Mars, Jupiter sowie Saturn, abgelesen werden. Besonders überrascht, dass das Gerät in der Lage gewesen sein muss, die variierende Geschwindigkeit des Mondes auf seiner nahezu elliptischen Bahn um die Erde wiederzugeben.

Auf der Rückseite brachte der Mechanismus die unterschiedlichen Zeitsysteme von Mond und Erde zusammen. Denn ein Mondmonat lässt sich mit einer durchschnittlichen Dauer von 29,53 Tagen nicht so leicht mit einem Erdkalender in Einklang bringen, der in ganzen Tagen rechnet. Außerdem erhielt man Informationen, wann und wo die kommenden panhellenischen Spiele stattfanden und wann die nächste Sonnen- oder Mondfinsternis eintreten sollte. Hierzu gab es genaue Zeitangaben, etwa die Tages- oder Nachtzeit des Finsternis-Ereignisses. Das Gerät konnte somit von zwei Seiten bedient werden: Entweder gab man das aktuelle Datum ein und prüfte dann auf der Rückseite, welches Ereignis bevorstand.

Oder man suchte ein bestimmtes Ereignis, beispielsweise eine Mondfinsternis, und prüfte dann auf der Vorderseite, wann man diese zu erwarten hatte.

Geschichte und Geschichten

Der Antikythera-Mechanismus ist ein feinmechanisches Meisterwerk, und dass er gefunden werden konnte, ein unglaublicher Glücksfall. Seine Überreste beweisen, dass es bereits in der Antike möglich war, unterschiedliche astronomische Verhältnisse mechanisch miteinander in Einklang zu bringen. Derzeit schätzt man sein Konstruktionsalter auf den Beginn des 2. Jh. v. Chr. Chemische Analysen der Fragmente weisen auf die Verwendung von mindestens drei verschiedenen Legierungen hin mit variablen Anteilen an Kupfer, Zinn und Blei. Aus CT-Scans ist erkennbar, dass das Gerät benutzt und auch repariert wurde.

Die Umsetzung der beschriebenen Kalendarien erforderte zunächst natürlich das nötige astronomische Wissen. Bereits Autocylus (ca. 300 v. Chr.) etablierte die sphärische Astronomie, Hipparchos (190–120 v. Chr.) beschrieb die Bahn der nächsten Planeten und des Mondes und dessen variierende Geschwindigkeit. Dass sich Erd- und Mondmonate mit astronomischen Kalendersystemen in Einklang bringen lassen, war schon den Persern und Griechen seit dem 5. Jh. v. Chr. bekannt.

Astronomische Perioden lassen sich als Zahlenverhältnisse mit Zahnrädern ausdrücken und miteinander verrechnen. Das dazu benötigte geometrische Wissen war vermutlich spätestens seit Euklid (ca. 300 v. Chr.) vorhanden. Leider sind Artefakte dieser Art, also Metallteile antiker Maschinen, ausgesprochen seltene Funde, vor allem weil man davon ausgeht, dass Metalle wiederverwertet wurden. Schriftliche Hinweise auf die Verwendung von Zahnrädern in der Antike gibt es z.B. von Vitruvius (Mitte des 1. Jh. v. Chr.). Er beschreibt die Zahnradtechnik, die Ktesibios (285–222 v. Chr.) in seiner Wasseruhr nutzte.

Auch Archimedes von Syrakus (287–212 v. Chr.) verwendete höchstwahrscheinlich Zahnräder in seinen mechanischen Planetarien. Immerhin wurde 2006 auf Sardinien ein halbes Zahnrad gefunden, dessen Entstehung um 170–140 v. Chr. datiert wurde. Wer den Antikythera-Mechanismus konstruiert hat und woher dieser stammt,

bleibt allerdings fraglich: Rhodos kommt als ein möglicher Quellort infrage. Zumal der bereits erwähnte Astronom Hipparchos auf Rhodos lebte und später auch der Universalgelehrte und Lehrer Poseidonius (135–51 v. Chr.), dessen mechanisches Planetarium von Cicero erwähnt wird. Allerdings weisen manche verwendeten Schriftzeichen und Begriffe auf dem Mechanismus auf Korinth oder eine der korinthischen Kolonien hin, z. B. auf Syrakus. Der berühmte Ingenieur und Mathematiker Archimedes hatte dort nachweislich mechanische Planetarien gebaut. Doch warum das damalige Wissen verloren ging, und erst ca. 1400 Jahre später wieder solche feinmechanischen Räderwerke konstruiert werden konnten, bleibt ein Rätsel.

Definitiv war das Gerät sehr kostbar. Ob es mitsamt der restlichen reichhaltigen Fracht als eine bestellte Ware, oder als Geschenk, als Beweis von Wissen, zu Lehrzwecken oder als Kriegs- oder Piratenbeute auf dem Schiff unterwegs war, ist nicht bekannt. Vermutlich war das Schiff aus Griechenland oder Kleinasien auf dem Weg nach Italien gewesen. Aus den Analysen der hölzernen Wrackreste weiß man, dass es sich um ein doppelt beplanktes, großes Schiff gehandelt haben muss. Der Ladungsmenge nach zu urteilen, die bisher gefunden wurde, geht man von einem Fassungsvermögen von knapp 300 Tonnen aus. Laut C14-Datierung stammt das Holz des Schiffes von Bäumen, die um 220 v. Chr. gefällt worden sind. Bei einer üblichen Nutzungsdauer von 60 Jahren für ein Schiff dieser Zeit kann man annehmen, dass das Schiff bei seinem Untergang um 70 bis 50 v. Chr. (wie die Münzen an Bord bewiesen) bereits sehr alt gewesen sein muss.

Tauchdrohnen zur Erforschung der Wrackreste

Im Jahr 1976 hatte Jacques-Yves Cousteau mit seinem Team den Ort des Schiffbruchs erneut untersucht. Dabei brachten sie nicht nur weitere Fundstücke zutage, sondern stellten fest, dass das Trümmerfeld weitaus größer als bisher angenommen ist und sich über mehrere hundert Quadratmeter erstreckt. Die Vermutung liegt nahe, dass sich noch mehr Artefakte auf dem Meeresgrund befinden. Außerdem besteht natürlich die Hoffnung, dass weitere Fragmente des Antikythera-Mechanismus geborgen werden könnten, oder gar noch ein mechanisches Instrument



Im Jahr 1976 wagten Albert Falco, Jacques-Yves Cousteau und Lazaros Kolonas (v.l.n.r.) erneute Tauchgänge zum Wrack von Antikythera.

der Antike. 2014 wurden daher ein hochaufgelöster Scan des Meeresbodens erstellt und zusätzliche Tauchgänge unternommen, die immer wieder mit den bekannten Schwierigkeiten zu kämpfen hatten, denn weiterhin bleibt die Küste steil und gefährlich durch ihre starken Strömungen. Um kein Menschenleben unnötig zu gefährden, müssen Tauchgänge auf ein Minimum reduziert werden.

Hier kommt ein Schweizer Hersteller für Luxusuhren ins Spiel, denn insbesondere die Fachwelt ist von der Präzision und der feinmechanischen Ausführung des Antikythera-Mechanismus als das älteste, uns bekannte Räderwerk sehr fasziniert: In der Forschungs- und Entwicklungsabteilung von Hublot entsteht die Idee, die Ausgrabungen am Antikythera-Wrack mit speziell entwickelten Tauchdrohnen zu unterstützen.

Drei Drohnen bewegen sich frei um eine Mutterdrohne, die mit Schlauch- und Kabelsystemen mit einer an der Küste montierten Plattform an der Wasseroberfläche verbunden ist. In den drei freien Drohnen sind u. a. Leuchten, Kameras und sehr sensible Metalldetektoren für verschiedene Legierungen eingebaut. Sobald eine Tauchdrohne ein interessantes Objekt oder Spuren davon im Meeresbodenschlamm gefunden hat, kann ein Taucher ganz gezielt an dieser Stelle das Artefakt ausgraben und bergen. Gesteuert werden die Drohnen per Computer und Bildschirm von der Wasseroberfläche aus. Die Drohnen wurden bereits 2019 in sizilianischen Gewässern getestet. Baldmöglichst soll das Wrack von Antikythera mit diesem neuen Tauchsystem namens Bubblot aufgesucht und erforscht werden. Hoffentlich werden sie erfolgreich sein!

Ab 2021 kann eine dieser Bubblot-Tauchdrohnen in der neu geplanten Dauerausstellung Robotik im Deutschen Museum besichtigt werden. Ein Modell des Antikythera-Mechanismus aus dem Jahr 1981 befindet sich derzeit in der Ausstellung Astronomie.

Auf den folgenden Seiten finden Sie eine Erläuterung des Mechanismus.

Zum Weiterlesen

The Antikythera Shipwreck: the Ship, the Treasure, the Mechanism. National Archaeological Museum, Athen 2012

A. Bignasca (Hrsg.), *Der versunkene Schatz: Das Schiffswrack von Antikythera.* Antikenmuseum, Basel 2015

Derek de Solla Price, *Gears from the Greeks: the Antikythera mechanism, a calendar computer from ca. 80 B.C.,* Transactions of the American Philosophical Society, 1974

Jian-Liang Lin, Hong-Sen Yan, *Decoding the Mechanisms of Antikythera Astronomical Device,* Heidelberg 2016

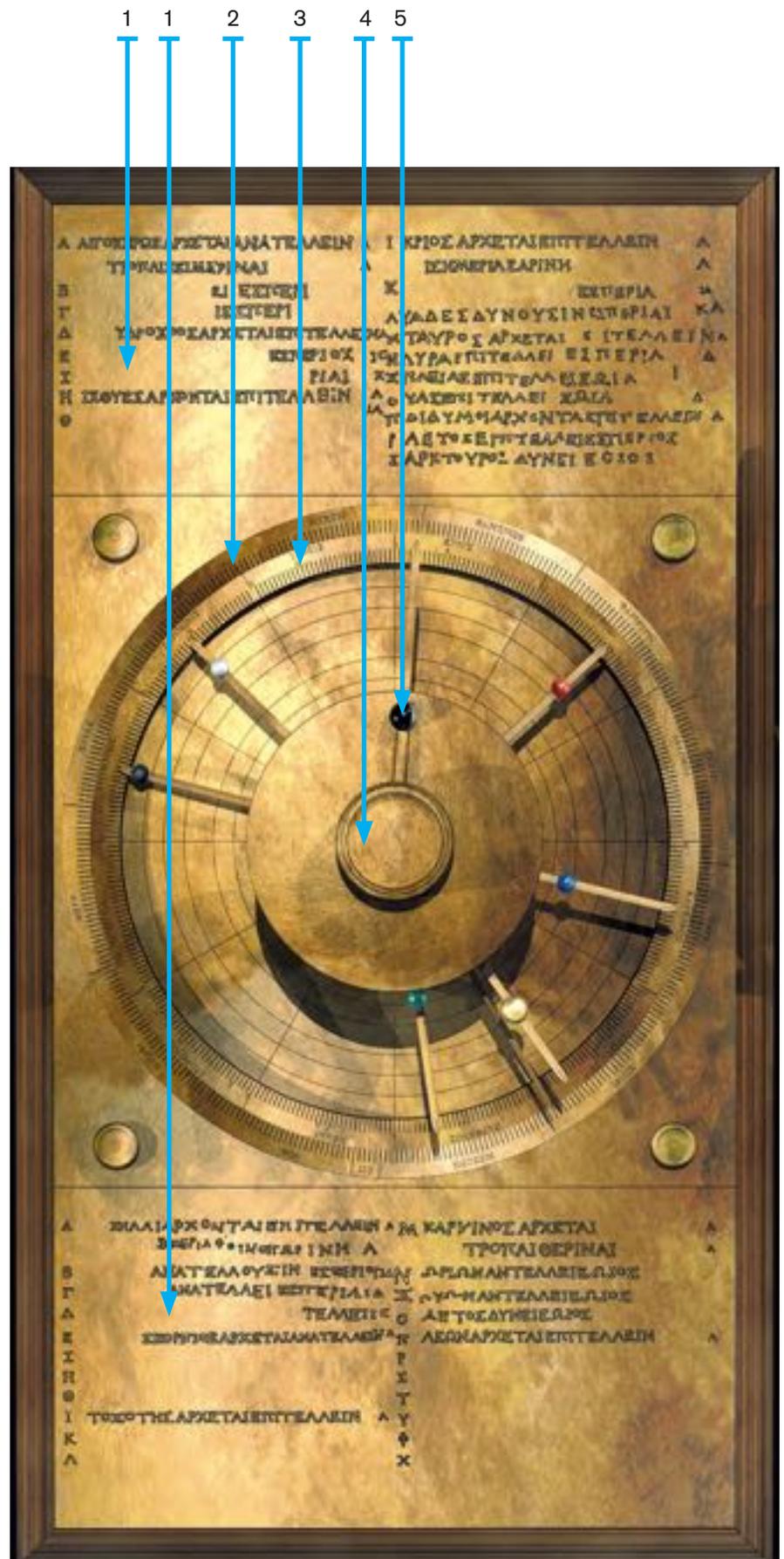
Ein präzises Räderwerk

Der Mechanismus war ursprünglich in einen schützenden Holzkasten eingebettet. Auf dessen Vorder- und Rückseite befand sich je eine eingravierte Metallplatte, an der Seite eine Kurbel, um den Mechanismus in Bewegung zu setzen.

Vorderseite

- 1) Bedienungsanleitung
- 2) Ägyptischer Kalender
- 3) Zodiak (Tierkreiszeichen)
- 4) Sonne, Mond (und Planeten = Kosmos)
- 5) Mond

- 1) Bedienungsanleitung zur Verwendung des Antikythera-Mechanismus.
- 2) Große Ringskala (äußerer Rand) in altgriechischer Sprache beschriftet mit der Spätform des altägyptischen, bürgerlichen Kalenders: 12 Monate mit je 30 Tagen, dazu 5 Zusatztage (die sogenannten Epagomenen), so dass sich das Jahr zu 365 Tagen ergänzt. Es ist möglich, die Skala alle vier Jahre für einen extra Schalttag um einen Tag zurückzustecken.
- 3) Der innere Rand der Skala zeigt die dem Jahresgang entsprechenden Tierkreiszeichen und markiert die Auf- und Untergänge dieser Sternbilder.
- 4) In der Mitte der Ringskala befindet sich eine Kreisanzeige mit verschiedenen Zeigern: ein Zeiger war für die aktuelle Datumsanzeige vorgesehen, ein Sonnenzeiger gab den Stand der Sonne im Tierkreis an. Ein kleiner, in sich rotierender Ball, halb schwarz, halb weiß, zeigte (so wird allgemein vermutet) die Mondphasen an. Erstaunlicherweise war dieser Zeiger wohl in der Lage, sich mit variabler Geschwindigkeit zu bewegen, um die annähernd elliptische Umlaufbahn des Mondes um die Erde zu simulieren. Mechanisch wurde dieses Detail durch epizyklisch montierte Zahnräder ausgeführt, d.h. das Zentrum eines Zahnrads befand sich auf einem anderen Zahnrad. Wenn sich nun das untere Zahnrad mit gleichmäßiger Geschwindigkeit drehte, bewegte sich das darauf montierte Zahnrad mit variabler Geschwindigkeit und war dadurch in der Lage, die Bewegung des Mondes annähernd korrekt darzustellen.



Modell der Vorderseite.
Der gesamte Mechanismus ist vermutlich etwa 31,5 cm x 19 cm x 10 cm groß gewesen.

Rückseite

1) Meton-Zyklus

2) Kallippischer Zyklus

3) Anzeige zu den panhellenischen Spielen

4) Saros-Zyklus

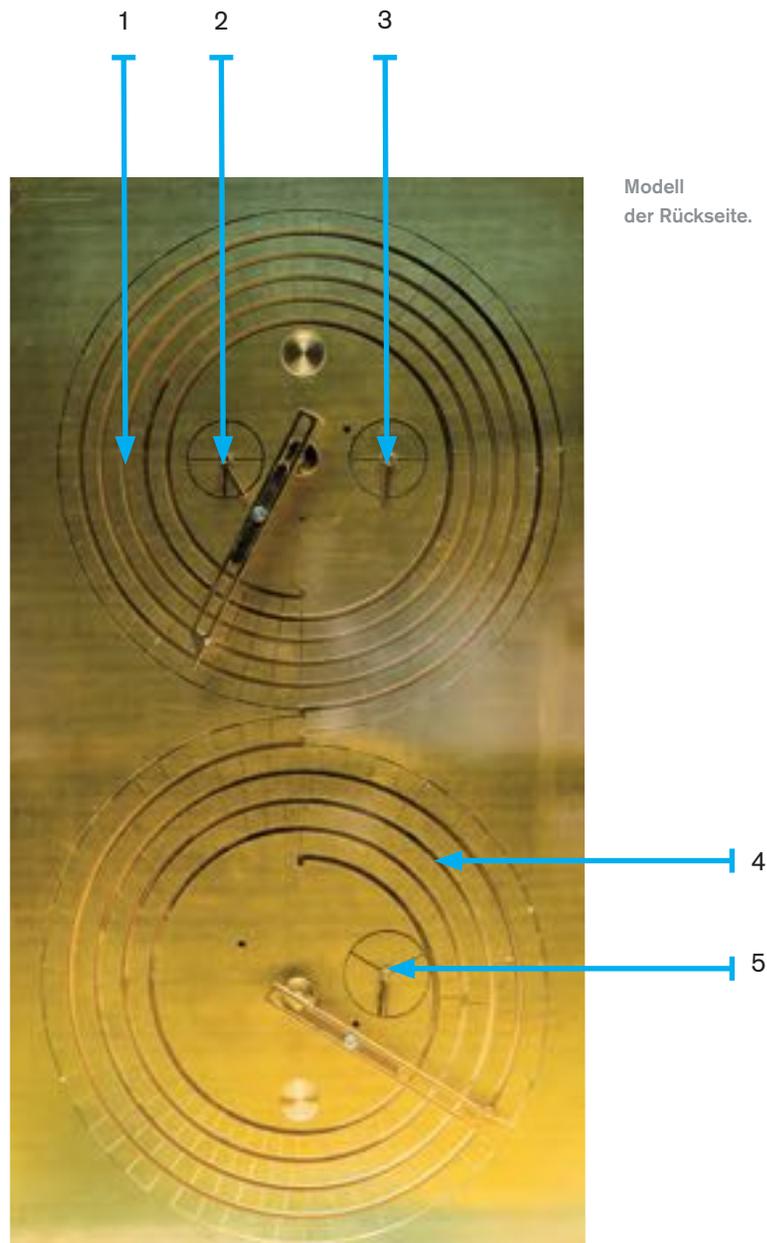
5) Exeligmos-Zyklus

Auf der Rückseite befinden sich zwei große, eingravierte Spiralen: 1) Die obere Spirale stellt einen kompletten Meton-Zyklus (auch als Lunisolarzyklus bekannt) dar, der in fünf Reihen schneckenförmig im Kreis angeordnet ist: dieser besteht aus 235 Mondmonaten, oder 19 Jahren. Ein durchschnittlicher Mondmonat dauert 29,53 Tage und passt daher nicht zu unseren Kalendern, die in ganzen Tagen gerechnet werden. Erst nach 19 Jahren ergeben 235 Mondmonate wieder eine (annähernd) ganze Zahl an Tagen (nämlich 6940). In der Mitte der Meton-Spirale befindet sich ein Zeiger, der in die gravierte Rille der Spirale eingreift und so mit seiner Spitze entlang der Reihen der Kalendermonate mitwandert.

Im Inneren der oberen Spirale befinden sich zwei weitere kleine Kalender: 2) Links zeigt ein in vier Quadranten unterteilter Kreis den sogenannten kallippischen Zyklus von 76 Jahren, der noch eine genauere Möglichkeit bietet, Mondmonate und Kalendermonate miteinander in Einklang zu bringen: Jeder Quadrant steht hierbei für einen kompletten Meton-Zyklus. 76 Sonnenjahre lassen sich als 4 Meton-Zyklen rechnen, d. h. $76 = 4 \times 19$. Zieht man einen Tag ab, liegen zwischen Mondmonaten und Kalendermonaten nur 0.0078 Tage/Jahr, d. h. man muss nur alle 128 Jahre einen extra Tag einfügen. Die auf den kallippischen Zyklus hindeutende Zahl Omikron Sigma = 76 konnte durch CT-Scans auf einem Fragment entziffert werden.

3) Rechts zeigt ein weiterer in vier Quadranten unterteilter Kreis an, wann und wo gerade die panhellenischen Spiele ausgetragen wurden. Jeder der Quadranten steht dabei für ein Jahr. Die Kultstätten Olympia, Naa (= Dodona), Pythia und Halieia auf Rhodos stehen in je einem der Quadranten, denn sie fanden nur alle 4 Jahre an diesem Ort statt. Die Stätten Isthmia und Nemea stehen auf jeweils zwei der vier Quadranten, weil diese Spiele alle 2 Jahre stattfanden.

4) Die große Spirale unten ist eine Anzeige zur periodischen Wiederholung von Finsternis-Ereignissen und ist als sogenannter Saros- oder Finsternis-Zyklus bekannt mit einer Länge von 223 Mondzyklen oder etwa 18 Jahren und $11 \frac{1}{2}$ Tagen. Diese 223 Mondzyklen sind in vier Reihen schneckenförmig im Kreis angeordnet und zeigen Symbolgruppen, die auf die Art des Finsternis-Ereignisses (Sonnen- oder Mondfinsternis) sowie auf die Tages- oder Nachtzeit und die Stunde hindeuten. In der Mitte der Saros-Spirale befindet sich wieder ein Zeiger, der in die gravierte Rille der Spirale eingreift und so mit seiner Spitze entlang der Reihen der Kalendermonate mitwandert.



Modell der Rückseite.

5) Im Inneren des Saros-Zyklus befindet sich ein weiterer in drei Segmente unterteilter Kreis mit einem Zeiger: hier handelt es sich um den sogenannten Exeligmos- (oder Triple Saros)-Zyklus, der einen dreifachen Saros-Zyklus beschreibt, d. h. $3 \times 223 = 669$ Mondmonate. Wie bereits beschrieben, entspricht ein Saros-Zyklus einer Dauer von 18 Jahren und $11 \frac{1}{2}$ Tagen. Ein Exeligmos-Zyklus ergibt also wieder annähernd eine ganze Zahl an Tagen. Steht der Zeiger des Exeligmos-Zyklus auf dem ersten Drittel, können die Angaben im Saros-Zyklus so verwendet werden, wie sie da stehen. Steht er im zweiten Drittel, rechnet man 8 Stunden zum angegebenen Zeitpunkt, an dem ein Finsternis-Ereignis erwartet wird, hinzu. Steht der Zeiger des Exeligmos-Zyklus im dritten Drittel, rechnet man 16 Stunden hinzu. ■■



DIE AUTORIN

Dr. Carola Dahlke

ist Kuratorin für Informatik und Kryptologie am Deutschen Museum, mit großer Faszination für Rechenmaschinen und Datenmengen. Zuvor war die Geowissenschaftlerin viele Jahre in der Umwelt- und Klimaforschung tätig.



In der Zeitfabrik

Observatorien entwickelten sich ab dem 19. Jahrhundert zu regelrechten Fabriken der Zeitmessung. Astronomen stellten die Uhren nach der Bewegung der Sterne, bis in den 1950er-Jahren der Siegeszug der Atomuhr begann. Von Eckhard Wallis

In der Astronomie-Ausstellung des Deutschen Museums befindet sich ein Meridiankreis. Es handelt sich dabei um ein Fernrohr, das entlang einer Achse in Nord-Süd-Richtung drehbar ist. Damit wurde der Durchgang der Sterne durch den Meridian protokolliert (siehe auch Seite 31).

In der Geschichte der Uhr muss irgendetwas gewaltig schief gelaufen sein. Zumindest aus ästhetischer Sicht drängt sich dieser Eindruck bei einem Besuch der Abteilung Zeitmessung im Deutschen Museum auf. Bei den historischen Sonnen- und Tischuhren aus früheren Jahrhunderten stehen Meisterstücke des Kunsthandwerks dicht an dicht gedrängt und wetteifern um den Blick des Publikums. Am anderen Ende des Raums erheben sich einige große, graue Kästen aus dem 20. Jahrhundert: Quarzuhren und Atomuhren. Mit ihren Knöpfen, Anschlüssen und Messgeräten wirken sie auf manchen vielleicht noch bedrohlich, viele werden aber einfach achtlos an ihnen vorbeigehen.

Es wäre jedoch denkbar unfair, diese Schränke voller Elektronik nur an ihrer Schönheit zu messen. Ihre glänzenden Wettbewerber wurden gezielt zu Repräsentationszwecken gebaut. Als Statussymbol sollten sie den Betrachter oder die Betrachterin nicht nur mit ihrer Genauigkeit sondern auch mit der kunstfertigen Gestaltung beeindrucken. Während zu diesem Zweck Verzierungen und Ornamente am richtigen Platz sind, verweisen die unterkühlten und funktionalen Formen der Quarzuhren auf eine ganz andere Form der modernen Zeitmessung: die Zeitfabrik.

Die Zeitfabrik? Natürlich wird Zeit nicht tatsächlich an Fließbändern produziert, in Gläser abgefüllt und in Lastwagen zum Endverbraucher transportiert. Trotzdem zeigten sich in der wissenschaftlichen Zeitmessung seit dem 19. Jahrhundert erstaunlich viele Ähnlichkeiten zur industriellen Produktion.

Vor ihrer »Industrialisierung« erfolgte die Bestimmung der Tageszeit oft in grober Näherung durch die Verwendung von Sonnenuhren oder die Beobachtung des Sonnenstandes ohne Hilfsmittel. Manchmal wurde diese Aufgabe bestimmten Personen aufgetragen: So wurden beispielsweise in Klöstern im Mittelalter ausgewählte Mönche damit betraut, aus der Beobachtung der Sterne am Himmel und mit Hilfe einer Wasseruhr die Gebetszeiten zu bestimmen und die Mitbrüder rechtzeitig zu wecken.

Ohne die Beobachtung des Himmels ging es nicht. Die mechanischen Uhren des ausgehenden Mittelalters wiesen große Fehler auf und mussten täglich neu gestellt werden. Die tägliche, scheinbare Drehung des Himmels diente als

universelle Referenz, nach der die Uhren gestellt wurden. Umgekehrt benötigte man für astronomische Beobachtungen auch eine genau bestimmte Zeit. Bis ins 19. Jahrhundert beschränkte sich die Astronomie im Wesentlichen auf die Beobachtung der Position von Sternen, Planeten, Sonne und Mond. Hier war die Zeit der zentrale Parameter, um die Bewegung der Objekte am Himmel zu verstehen.

Durch die Nutzung genauer Uhren zur Bestimmung des Längengrades wurde die Zeitmessung im 18. Jahrhundert zu einer Tätigkeit von großer praktischer Bedeutung. Mit der Gründung von Observatorien erhielt sie zudem feste Orte und wurde ein Teil der beruflichen Aufgaben der Astronomen. Zu regelrechten Zeitfabriken, die diesen Namen verdienen, wurden diese Orte aber erst im Laufe des 19. Jahrhunderts. Am Royal Greenwich Observatory waren um 1811 nur der »Astronom Royal« Nevil Maskelyne, und ein Assistent verzeichnet, zum Ende des Jahrhunderts hingegen um die fünfzig Mitarbeiter. Wie in einer Fabrik waren die Arbeitsabläufe streng geregelt, die einzelnen Tätigkeiten aufgeteilt und klare Hierarchien etabliert: Oben stand der »Astronom Royal«, dann folgten Assistenten, die Beobachtungen durchführten, und zuletzt Rechenkräfte, »Computers« auf Englisch.

Dieser fein aufgeteilten Personalhierarchie stand auch ein stark zergliederter Arbeitsablauf gegenüber. Nachts erfolgten Beobachtungen des Durchgangs von Sternen durch den Meridian, also durch die Nord-Süd-Linie am Himmel. Für jeden Stern erfolgt der Durchgang zu einer klar definierten Zeit. Wenn beispielsweise die Sonne den Meridian durchquert, dann ist es genau 12 Uhr mittags in der echten Ortszeit. Durch die Beobachtung der Sterndurchgänge



Die Bechersonnenuhr aus der Sammlung der Bayerischen Akademie der Wissenschaften zeigt – korrekt ausgerichtet – die wahre Ortszeit an. Das Liniennetz besteht aus zwei verschiedenen Zeitsystemen. Eines ist gültig im ungefüllten Zustand (»sine aqua«), das andere im gefüllten (»refractorum aquae«).



Präzisionspendeluhr Riefler von 1890 aus der Münchner Universitätssternwarte.

konnte diese Zeitbestimmung viele Male in jeder Nacht stattfinden. Bis diese Beobachtungen tatsächlich bei der Uhr ankamen, mussten aber erst noch einige weitere Arbeitsschritte stattfinden: Die Beobachter markierten durch einen Knopfdruck lediglich den Zeitpunkt des Sterndurchgangs auf einem rollenden Papierzylinder. Im Anschluss mussten in mühseliger Kleinarbeit die Papierrollen ausgewertet werden, insbesondere um die unvermeidlichen Beobachtungsfehler durch statistische Verfahren zu glätten. Anders als die Beobachtungen wurden diese Routinearbeiten oft auch Frauen übertragen, beispielsweise der Gruppe der »Harvard Computers« um 1900. Ein extremer Gender-Pay-Gap wird für die Entscheidung bestimmt auch eine Rolle gespielt haben, konnte man doch vom Lohn für einen Mann auch zwei Frauen bezahlen. Am Ende der Berechnungen wurden die Ergebnisse in der Regel nur auf Papier zusammengestellt.

Die Uhren selbst wurden nicht immer sofort korrigiert, um ihren Gang nicht unnötig zu stören. Eine Uhr, die drei

Sekunden nachgeht, und jeden Tag der Zeit eine Sekunde mehr hinterherhängt, ist genauso nützlich wie eine Uhr, die perfekt geht. Das Entscheidende ist, die Abweichung genau zu kennen. Nicht nur in all seiner Komplexität trägt die Zeitbestimmung im Observatorium um 1900 also industrielle Züge, auch ein Produkt, die Tabelle mit der Abweichung der Uhren von der beobachteten Zeit, steht am

Ende. Überspitzt gesagt: nicht die Uhr wird gestellt, sondern Zeit wird hergestellt.

Auch die Auslieferung des Produkts wurde zu dieser Zeit perfektioniert. Ab Mitte des 19. Jahrhunderts sendeten Observatorien in den Vereinigten Staaten und Europa Zeitsignale über Telegrafienlinien, manchmal gegen Gebühr, andernorts als einen steuerfinanzierten, frei zugänglichen Dienst an der Allgemeinheit. Zugleich wuchs mit den großen technischen Systemen, wie der Eisenbahn auch der Bedarf an Koordination und Synchronisation. Mit dem Aufkommen von Radiosignalen um die Wende zum 20. Jahrhundert stand ein Kanal zur Verfügung, um die genaue Zeit des Observatoriums überall verfügbar zu machen.

Die Berechnung der Weltzeit

Aber auch die Astronomen selbst konnten nun auf der ganzen Welt durch Radiosignale ihre Uhren vergleichen. Ein weltumspannendes Netz aus Observatorien entstand, und im Jahr 1919 nahm das Weltzeitbüro an der Sternwarte von Paris seine Arbeit auf. Die Aufgabe: Der tägliche Empfang aller Zeitsignale und die Berechnung einer echten Weltzeit aus diesen Signalen. Das »Weltzeitbüro« oder Bureau International de l'Heure, publizierte die Ergebnisse regelmäßig in Heftform. Im sogenannten *Bulletin Horaire* kann bis heute jedermann nachlesen, wie viel Uhr es am 23. September 1931 um 22 Uhr an Orten wie Greenwich, Paris oder Washington D. C. war. Was wie ein Witz klingt, ist eine Frage der Präzision: Kein Zeitsignal wurde exakt zur richtigen Zeit ausgesandt. Wer damals für eine hochpräzise astronomische Messung nur den Empfang des 22-Uhr-Signals notierte, musste noch einige Monate auf das *Bulletin Horaire* warten. Erst dann konnte sie oder er in den endlosen Zahlenkolonnen nachlesen, dass das Signal an jenem Tag um 22 Uhr, 0 Minuten und 23 Millisekunden die Sendestation verlassen hatte. Dieser Millisekundenwert ist das Ergebnis einer Mittelwertrechnung, also gewissermaßen ein Kompromiss aus allen mehr oder weniger ungenauen Zeitsignalen.

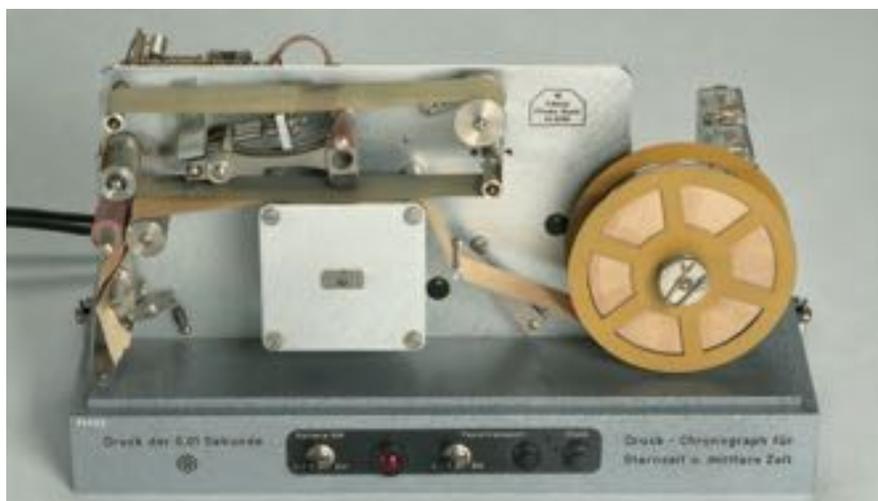
Bis in die Mitte des 20. Jahrhunderts hinein folgte die Zeitmessung diesem Schema. Spuren der astronomischen Zeitfabriken kann man im Deutschen Museum noch fin-

den: Hinter den eingangs erwähnten grauen Kästen versteckt sich ein Druckchronograph, der auf endlosen Papierstreifen den Eingang von Zeitsignalen erfasste, und direkt dahinter Pendeluhren, die teils bis in die 1950er-Jahre als Taktgeber der Observatorien verwendet wurden. Ein Meridiankreis ist in der Astronomie-Abteilung zu finden. Dieses Fernrohr ist nur entlang einer Achse drehbar, in Nord-Süd-Richtung. Schließlich diente es nicht der genauen Beobachtung von Objekten an beliebigen Orten am Himmel, sondern nur der akribischen Protokollierung des Durchgangs der Sterne durch den Meridian.

Die Astronomie lieferte die Tageszeit mit einer Präzision von Sekundenbruchteilen, mehr als im täglichen Leben oder für die genaue Positionsbestimmung von Schiffen nötig war. Die Präzision des *Bulletin Horaire* war außerhalb von Observatorien oft überflüssig. Bestellt man heute in einer Universitätsbibliothek oder der Bibliothek des Deutschen Museums das *Bulletin Horaire* aus den 1950er-Jahren, so stehen die Chancen gut, dass die Seiten noch nicht aufgeschnitten sind. (Außer in Bibliotheken, die der Autor bereits besucht hat.)

Mit dem großen Wachstum der Radiotechnik entstand ein neuer, ganz anders gearteter Bedarf für genau gemessene Zeit. Radiowellen erschlossen sich in der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts eine Vielzahl von Anwendungen, welche, ohne allzu sehr zu übertreiben, die Welt nachhaltig veränderten: Funk, Radio und frühe, noch experimentelle Fernsehprogramme erlaubten die Kommunikation in Echtzeit über bisher ungeahnte Distanzen und ohne die Bindung an Kabelnetze. Durch die Entwicklung der Radartechnik wurde es möglich, Objekte in großer Entfernung, etwa Schiffe oder Flugzeuge, mit unsichtbaren Strahlen zu ertasten, auch bei völliger Dunkelheit.

Die Zeitmessung liefert eine zentrale Information im Umgang mit Radiowellen: ihre Frequenz. Was das Radioprogramm vom Sender zum Empfänger trägt, sind extrem schnelle Schwingungen im elektromagnetischen Feld. Die Frequenz liefert ein Maß für die Schnelligkeit dieser Schwingungen: Eine Frequenz von einem Hertz bedeutet, dass das Feld eine volle Schwingung pro Sekunde ausführt. Um eine Frequenz genau zu messen, braucht man also im Prinzip zwei Dinge: einen Zählmechanismus und eine sehr



genaue Messung der Dauer, über die die Schwingungen gezählt werden.

Die Schwingungen in Radio- und Radarsystemen liegen im Bereich von Kilohertz bis Gigahertz, also Tausende bis zu mehreren Milliarden Schwingungen pro Sekunde. Eine genaue Kenntnis der Frequenz ist für die meisten Anwendungen zentral: Ein Radioempfänger muss genau auf die Frequenz eingestellt sein, auf der der Sender sendet. Zugleich muss der Sender immer stabil auf der gleichen Frequenz bleiben, um sicherzugehen, dass der Empfänger das Programm empfangen kann. Anders herum ermöglicht dieses System das gleichzeitige Senden auf mehreren Kanälen: Zwei verschiedene Inhalte können z. B. auf den Frequenzen von 101.7 Megahertz und 100.8 Megahertz gleichzeitig gesendet werden. Die ZuhörerIn kann ihr Empfangsgerät auf eine der beiden Frequenzen einstellen, und so den einen Inhalt empfangen, ohne von der Sendung auf der anderen Frequenz gestört zu werden.

Kleine Fehler mit großen Auswirkungen

Andererseits sind auch direkte Zeitmessungen in der Radiotechnik von Bedeutung: In Radarsystemen werden Radiowellen in kleinen Pulsen auf das Ziel geschickt. Das Ziel reflektiert die Pulse zurück zur Antenne. Aus der Zeit, die dieses Radioecho braucht, um wieder bei der Radarantenne anzukommen, lässt sich die Entfernung des Ziels bestimmen, da die Geschwindigkeit bekannt ist. Allerdings



Bild oben: Der Druckchronograph von 1953 registriert Minute, Sekunde und Hundertstelsekunde.

Bild unten: Schwingquarz für eine Quarzuhr (1000 Hz) von 1966.



Links: Quarzuhr mit Elektronenröhren »CF Qu« von Rohde & Schwarz. Rechts: Cäsiumatomuhr »Oscillatom B 5000-20« von Oscilloquartz. Beide Uhren können in der Ausstellung Zeitmessung im Deutschen Museum besichtigt werden.

sind die Pulse extrem schnell, fast 300 000 km pro Sekunde. Kleine Fehler in der Zeitmessung führen deshalb schnell zu großen Fehlern in der Entfernung. Ähnlich funktionieren auch Radionavigationsysteme: Die Laufzeit von Radiopulsen von mehreren Sendestationen zum Empfänger werden gemessen. Aus dem Vergleich der Laufzeiten lässt sich die Position berechnen. Früher waren das feste Stationen nahe der Küste für die Navigation auf See. Heute nutzen wir die Signale der Satelliten des GPS-Systems.

Dramatische Bedeutung erlangte die genaue Zeit- und Frequenzmessung im Zweiten Weltkrieg, als Radarsysteme zu einer kriegsentscheidenden Technologie avancierten. Für die astronomische Zeitindustrie hieß das zwar einerseits, dass die Nachfrage nach ihrem Produkt stieg. Aber mit der Radiotechnik war ihr andererseits bereits ein würdiger Konkurrent erwachsen. Radioingenieure in den Bell Telephone Laboratories hatten bereits 1927 erstmalig ein Gerät gebaut, in dem das Hin und Her des Pendels zuverlässig durch elektrische Schwingungen ersetzt wurde: die Quarzuhr. Das Herzstück dieser Uhr war ein Quarzkristall, der unter bestimmten Bedingungen elektrische Schwingungen mit einer klar definierten Frequenz abgab, ähnlich einer Stimmgabel, die von einem Ton mit der richtigen Tonhöhe selbst zum Schwingen angeregt wird.

Die Quarzuhr war wegen ihrer hohen Frequenzen deutlich besser für den Einsatz in der Radioelektronik geeignet als die Uhren der Observatorien: Anders als bei Pendeluhren waren hier Schwingungen im Bereich von 100 Ki-

lohertz am Werk, also 100 000 Schwingungen pro Sekunde. Damit war die Kalibrierung von Radiofrequenzen in einem ähnlich hohen Bereich deutlich leichter möglich. Diese Instrumente waren allerdings reichlich sperrig: Die Quarzuhr von Rohde und Schwarz von 1938 im Deutschen Museum, eine der ersten industriell produzierten Quarzuhren, misst fast zwei Meter Höhe. Von den Quarzuhren, wie wir sie heute am Handgelenk tragen, war man damals noch weit entfernt.

Für die astronomische Zeitindustrie hätte die Entwicklung der Quarzuhr nur ein weiterer Schritt in der Geschichte der Uhrentechnik sein können. Schließlich zeigten auch Quarzuhren, ebenso wie Pendeluhren, nicht von Natur aus die richtige Zeit, sondern mussten regelmäßig korrigiert werden. Bisher hatte die Drehung der Erde um ihre eigene Achse, also die tägliche scheinbare Bewegung der Sterne und der Himmelskörper, diese Funktion erfüllt. Die Quarzuhr brachte dieses astronomische Prinzip der Zeitmessung aber an seine Grenzen. Um 1935 zeigten die Physiker Udo Adelsberger und Adolf Scheibe an der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt, dass Quarzuhren weniger Schwankungen unterworfen waren, als die Drehung der Erde selbst. Unregelmäßigkeiten in der Erdrotation waren bereits zuvor aufgrund astronomischer Beobachtungen vermutet worden. Nun waren aber auch erstmals Uhren vorhanden, die beinahe genauer als die Zeit selbst liefen.

Neben dieser fundamentalen Unzulänglichkeit zeigte sich im Zweiten Weltkrieg aber auch eine ganz praktische Schwäche der astronomischen »Zeitproduktion«: Ihre Langsamkeit. Astronomen konnten die Berechnung der Weltzeit im *Bulletin Horaire* abwarten, auch wenn das manchmal Monate dauerte. Radiotechniker im Kriegseinsatz konnten sich diese Geduld nicht erlauben, sondern drängten auf schnelle Lösungen. Auf diesen Druck reagierte das Royal Greenwich Observatory mit Akkordarbeit und einer massiven Ausdehnung des astronomischen Beobachtungsprogramms. Eine dauerhaftere Lösung für eine schnellere und sicherere Zeitbestimmung bahnte sich aber in den späten 1940ern von anderer Seite an.

Bereits seit dem späten 19. Jahrhundert hatte sich die Idee durchgesetzt, dass einzelne Atome wie kleine Stimmgabeln in Schwingungen versetzt werden konnten. Auf

Basis dieser Erkenntnis lag der Weg zum Prinzip der heutigen Atomuhren nicht mehr weit: Stellen Sie sich dafür eine Stimmgabel vor, die direkt vor einem Lautsprecher steht. Der Lautsprecher gibt einen Ton mit einer verstellbaren Tonhöhe aus. Sie beginnen mit einem Ton der deutlich tiefer ist als der Ton der Stimmgabel und schrauben den Ton immer weiter nach oben. Wenn Sie genau die Note der Stimmgabel treffen, beginnt die Stimmgabel von alleine zu schwingen. Das Prinzip der Atomuhr ist sehr ähnlich: Sie bestrahlen ein Gas (also eine Ansammlung von Atomen eines bestimmten Elements) mit einer Radiowelle mit einer einstellbaren Frequenz. Sie drehen so lange an der Frequenz, bis die Atome zu schwingen beginnen. Das kann man zum Beispiel durch ein Fluoreszenzleuchten nachweisen, oder dadurch, dass die Atome des Gases durch ihre Schwingung die Energie der Radiowelle absorbieren. Durch dieses Signal wissen Sie, dass Ihre Radiowelle nun genau mit der Eigenfrequenz der Atome dieses Elements schwingt. Entscheidend ist hier, dass diese Eigenfrequenz für alle Atome desselben Elements identisch ist. Egal wo, egal wann, können mit diesem Verfahren Radiofrequenzen auf einen Referenzwert kalibriert werden.

Zeitmessung im Atomzeitalter

Das Prinzip war bereits länger bekannt, bis etwa 1940 gab es aber nicht die Dringlichkeit, um eine Atomuhr im Labor zu bauen. Der Krieg hatte die Prioritäten verschoben, und auch nach 1945 bestand der Druck, die Radiofrequenztechnik weiterzuentwickeln. In der etwas paranoiden Atmosphäre des frühen Kalten Krieges konnte das National Bureau of Standards in den USA relativ leicht argumentieren, dass die Frage der Radiofrequenzmessung sich im nächsten Krieg schnell zu einer Frage von »Weiterleben oder Vernichtung als Nation« auswachsen könnte. Mit solchen Argumenten versehen konnte ein Team unter dem Physiker Harold Lyons schnell an die Arbeit gehen, und nach kurzer Zeit 1949 eine erste Atomuhr fertigstellen.

Aber nicht nur Nationen mit militärischen Ambitionen engagierten sich in der Atomuhr-Entwicklung. Die erste Atomuhr auf dem europäischen Kontinent wurde 1955 in einem Labor im Schweizer Uhrmacherstädtchen Neuchâtel konstruiert. Für die dortige Uhrenindustrie war der

technische Fortschritt eben auch eine Frage von »Weiterleben oder Vernichtung«. Dass deren Überleben auch im »Atomzeitalter« der Zeitmessung gesichert werden konnte, zeigt im Deutschen Museum der nächste der »grauen Schränke«: Eine Cäsiumatomuhr, Modell Oscillatom, vom Schweizer Hersteller Ebauches aus dem Jahr 1972. Bevor sie als Museumsstück endete, wurde diese Uhr vom Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt in der Antennestation in Weilheim eingesetzt.

Mit den ersten Atomuhren bahnte sich ein großer Wandel in den Zeitfabriken an: Ab 1956 waren kommerziell gefertigte Atomuhren »von der Stange« verfügbar. Für die Observatorien bedeutete das das Ende einer Monopolstellung. In Deutschland ist heute keine Sternwarte, sondern die Physikalisch-Technische Bundesanstalt in Braunschweig verantwortlich für die gesetzliche Zeit. In anderen Ländern haben Observatorien erfolgreich ihr Terrain verteidigt, z.B. in den USA das Observatorium der US-Navy oder das Pariser Observatorium. Aber auch in diesen Institutionen haben PhysikerInnen und ElektrotechnikerInnen die Herrschaft über die Uhren übernommen. Wo noch in den 1950er-Jahren nächtliche Beobachtungen am Fernrohr den Takt für die Uhren angaben, stehen heute quasi vollautomatische und hochempfindliche elektronische Apparate in abgeschirmten und gesicherten Kellergewölben. Genauso wie in der normalen Industrie hat sich auch in der Zeitfabrik inzwischen eben vieles automatisiert.

Die Zeit unserer Armbanduhr, von Smartphones und Computern kommt heute über Funk, über das Stromnetz oder das Internet aus diesen Kellergewölben zu uns. Und wozu das alles? Nur um uns selbst mit Weckern, Terminerinnerungen und Verspätungsmeldungen permanent auf Trab zu halten? Ein Objekt wie die Bechersonnenuhr in der Abteilung Zeitmessung können wir da, ganz ohne Nostalgie, wie eine Mahnung zu einem entspannten und verspielten Umgang mit der Zeit lesen. Für die Terminplanung gänzlich ungeeignet zeigt uns eine Sonnenuhr dafür die wahre Sonnenzeit. Und richtig funktionieren kann sie nur, wenn sie korrekt auf den Standort eingestellt ist. Eben nur im Hier und Jetzt. Probieren Sie es bei Ihrem nächsten Besuch auf unserer Sonnenuhrenterrasse doch einfach mal aus. ■■■

Zum Weiterlesen

Für einen Überblick über die Zeitmessung im 20. Jahrhundert: Tony Jones, *Splitting the second: The story of atomic time*. Institute of Physics Publishing, 2000

Zum Einstieg in die Thematik im 19. Jahrhundert: Ian Bartky, *Selling the true time*. Stanford University Press, 2000

DER AUTOR

Eckhard Wallis

hat Physik mit dem Schwerpunkt Quantenoptik studiert und promoviert seit 2015 über die Geschichte der Zeitmessung in Frankreich nach 1945. Seit Juli 2019 ist er wissenschaftlicher Volontär im Ausstellungsprojekt »Licht und Materie« am Deutschen Museum.



Das besondere Museumsobjekt

In der Abteilung Zeitmessung des Deutschen Museums befindet sich eine 1803 in Europa gefertigte, zum Export in den Orient bestimmte Taschenuhr. Sie illustriert das Interesse des Orients an technischen Objekten, die es ermöglichten, Individualität und persönlichen Geschmack auszudrücken. Von Artemis Yagou

Wer wissen möchte, wie die Menschen in früheren Jahrhunderten mit der heute so wertvollen Ressource Zeit umgegangen sind und wie sie diese ermittelten, ist in der Abteilung Zeitmessung des Deutschen Museums genau richtig. In einem Ausstellungsbereich, der mit dem Motto »Zeit zum Mitnehmen« überschrieben ist, sind unter anderem tragbare Uhren vom 17. Jahrhundert bis heute zu sehen, darunter eine ebenso unscheinbare wie ungewöhnliche Taschenuhr aus dem Jahr 1803. Ihr Zifferblatt ist mit Zahlensymbolen versehen, die wir als EuropäerInnen nicht lesen können, weil die Zahlen in arabischer Schrift sind.

Uhren wie diese wurden im Europa des 18. und 19. Jahrhunderts in großer Zahl hergestellt. Sie waren für den kleineren bis mittleren Geldbeutel bestimmte Massenware und wurden ins Osmanische Reich exportiert. Das erstreckte sich damals von Südosteuropa, Kleinasien über den Nahen Osten bis nach Nordafrika und stellte daher einen großen und attraktiven Markt dar.

Interessanterweise wurde das Objekt 1911 von Oskar von Miller persönlich für die damals noch im Aufbau begriffenen Sammlungen erworben. Warum der Museumsgründer ausgerechnet diese Uhr kaufte, ist unbekannt. Möglicherweise spielte sein Interesse an den Kulturen des Orients eine Rolle, die die EuropäerInnen und besonders die Deutschen damals ungemein faszinierten. Die geheimnisvolle Andersartigkeit des Orients hatte im damaligen Europa eine regelrechte Orientmode ausgelöst. Die wiederum führte dazu, dass sich die gehobenen Krei-

Taschenuhr aus dem Jahr 1803 mit Zahlen in arabischer Schrift aus der Sammlung des Deutschen Museums

Junger Osmane, der stolz seine Uhr vorweist und mit seinem Besitz angibt.



Zum Weiterlesen

Carlo Cipolla, *Gezählte Zeit: wie die mechanische Uhr das Leben veränderte*, Berlin 2011

Michael Stern und Helmut Mann, *Porträt einer Taschenuhr: kleine Uhrenkunde für Liebhaber*, München 2008

se im Orient für die Errungenschaften des Okzidents zu interessieren begannen. So dokumentiert die in Europa gefertigte Taschenuhr nicht nur das wachsende Interesse des Westens an lukrativen Märkten im Orient, sondern

gleichermaßen die Wünsche der dortigen Käufer nach europäischen Produkten.

Eine Abbildung aus dem ausgehenden 18. Jahrhundert zeigt einen jungen Osmanen mit einer Taschenuhr in der Hand. Der große Abstand zwischen Betrachter und Uhr deutet darauf hin, dass der junge Mann wohl in erster Linie seinen Besitz zur Schau stellen und weniger die exakte Uhrzeit ablesen wollte. In der Tat waren Taschenuhren, die in Europa schon seit dem 16. Jahrhundert bekannt waren, ursprünglich Repräsentationsgeschenke für Könige und hohe Staatsbeamte. Allmählich wurden sie unverzichtbare Utensilien für Männer, die häufig auf Reisen oder beruflich auf eine zuverlässige Zeitmessung angewiesen waren. Mit zunehmender Verbreitung wurden sie kleiner und dank technischer Verbesserungen auch präziser. Sie entwickelten sich nach und nach zu einem weitverbreiteten Accessoire, das in verschiedenen stilistischen Ausführungen, Dekors und Materialien erhältlich war.

Seit dem 17. Jahrhundert konnten sich weite Teile der Bevölkerung Zentral- und Nordeuropas eine Taschenuhr leisten. Obwohl sie immer beliebter wurden, waren diese Uhren keineswegs billig. So weist der Historiker Jan de Vries darauf hin, dass Taschenuhren über einen langen Zeitraum teuer waren, »sogar Billigexemplare kosteten den Arbeitslohn mehrerer Wochen. Doch sie setzten sich durch, weil sie typische Objekte waren, die gekauft wurden, wenn jemand unverhofft etwas Geld zur Verfügung hatte. Ein Seemann, der nach jahrelanger Abwesenheit aus Ostindien oder von einem erfolgreichen Walfang zurückgekehrt war, ein Farmarbeiter nach beendeter Erntesaison, der Empfänger einer kleinen Erbschaft, der erfolgreiche Dieb – solche und andere Leute schafften sich im 18. Jahrhundert eine kleine Zahl sichtbarer Statussymbole an, zu denen immer auch eine Taschenuhr gehörte.«

Statussymbol und modisches Accessoire

Dass sich im Europa der frühen Neuzeit immer breitere soziale Schichten einen derartigen Luxusartikel leisten konnten, war ihrem Arbeitsfleiß geschuldet. Ihr Kaufverhalten spiegelte wider, welchen Stellenwert die Arbeit für ihr Selbstwertgefühl hatte. Der Besitz einer Taschenuhr stand symbolisch für das Leben eines selbstgenügsamen und selbstbewussten Individuums, das selbstbestimmt über seine Zeit und sein Geld verfügen konnte. Da eine Taschenuhr stets am Körper getragen und bei Bedarf aus der Tasche gezogen werden konnte, war sie Funktions- und Modeartikel in einem. In Zeiten zunehmender geschäftlich oder kulturell motivierter Mobilität versinnbildlichte dieses tragbare technische Objekt Innovation, aber auch soziale Distinktion. Da die Grenzen zwischen den Gesellschaftsschichten immer durchlässiger wurden, musste die mobile Mittelschicht neue Konsum- und Repräsentationsformen finden. Diese Suche nach immer Neuem, das begehrenswert schien, war aber nicht nur für bestimmte

Die Besitzer einer Taschenuhr liebten es, die fein gearbeiteten Teile ihrer Uhr zu betrachten und ihren Bewegungen zuzusehen.



Vier Taschenuhren für den osmanischen Markt aus dem Fitzwilliam Museum in Cambridge. Technisch und ästhetisch stellen sie Variationen des gleichen Themas dar. Auf dem Foto ist oben links eine Uhr von George Prior zu sehen.

Schichten in Europa typisch, sondern auch im Osmanischen Reich zu beobachten. Deshalb wurden im späten 18. und beginnenden 19. Jahrhundert Uhren aller Art systematisch aus Europa, besonders England, ins Osmanische Reich exportiert. Dort waren sie bei der muslimischen, christlichen und jüdischen Bevölkerung gleichermaßen beliebt.

Löwe und Leopard

Das Kernstück einer Taschenuhr besteht aus ihrem von zwei Metallplatten bedeckten Werk. Die Käufer liebten es, dass man dessen mechanische Bewegungen sehen und beobachten konnte. Die Uhr selbst wurde durch ein silbernes Gehäuse geschützt, das oft reich verziert und damit in der Lage war, den Geschmack ihres Besitzers auszudrücken. Bestimmte Punzen – eine Art Stempel – auf der Oberflä-



che lieferten Informationen über Material, Herkunft und Hersteller. Im Fall der osmanischen Uhr aus den Sammlungen des Deutschen Museums sieht man in der obersten Punze einen nach links blickenden Löwen. Dieses Symbol zeigt, dass es sich bei dem verwendeten Material um Sterlingsilber handelt, einer Legierung aus 92,5 Prozent Silber und 7,5 Prozent eines anderen Metalls, üblicherweise Kupfer. Die Punze links unten, ein bekrönter Leopardenkopf, gibt an, dass die Uhr in London gefertigt wurde.

Die Punze rechts unten mit dem gerahmten Großbuchstaben H zeigt, dass das Gehäuse im Jahr 1803 hergestellt wurde. In der Mitte findet man die Buchstaben TC RC in einem Rahmen und damit Informationen über den Hersteller. In unserem Fall handelt es sich wahrscheinlich um die Initialen der Geschäftspartner Thomas und Richard Carpenter aus London. Ganz unten ist die Punze W zu erkennen, die nicht entschlüsselt werden kann. Möglicherweise bezeichnet sie einen Uhrmachermeister oder Gesellen, der die Uhr repariert oder das Scharnier gefertigt hat.

Auf dem emaillierten Zifferblatt findet sich die Aufschrift »Geo:Charle London« und auf der Rückseite des Uhrwerks »GeoCharle London«. Das Logo »George Charles« ist aus der Literatur bekannt. So kennzeichnete der englische Uhrmacher George Prior, der in der zweiten Hälfte des 18. Jahrhunderts der führende Hersteller

Die Punzen auf dem Silbergehäuse der Taschenuhren liefern wertvolle Informationen über ihre Eigenschaften und ihre Geschichte.



DIE AUTORIN

Dr. Artemis Yagou

ist Design- und Technikhistorikerin. Sie ist wissenschaftliche Mitarbeiterin am Forschungsinstitut des Deutschen Museums, wo sie sich mit der Geschichte von technischem Spielzeug und dem Zusammenhang von Technik und Luxus beschäftigt.

von Taschenuhren für das Osmanische Reich war, seine Produkte. Prior fertigte und vertrieb nicht nur hochwertige Uhren, sondern auch solche minderer Qualität, die er mit »George Charles« kennzeichnete. Dass in der Beschriftung unserer Uhr das endständige »s« im Namen »Charles« fehlt und der Name »Geo:Charle« und »Geo Charle« in zwei verschiedenen Schreibweisen auftaucht, könnte auf eine Fälschung hinweisen. Die Rückseite des Metallgehäuses ist außerdem mit der Seriennummer 3392 beschriftet, die eine Datierung der Uhr erlaubt. Nach britischem Recht mussten Uhrwerk und Gehäuse nummeriert werden, so dass das Fehlen einer Seriennummer ebenso ein Indiz für eine Fälschung gewesen wäre. Dennoch ist das Vorhandensein einer Seriennummer keine Echtheitsgarantie. Ob unsere Uhr tatsächlich ein von George Prior hergestelltes Original ist, bleibt also unklar. Möglicherweise stammen Uhrwerk und Gehäuse auch aus zwei verschiedenen Quellen und wurden nur zu einem Hybridobjekt kombiniert.

Bei unserem Objekt handelt es sich um eine einfache, relativ billige, in großen Mengen eigens für das Osmanische Reich hergestellte Taschenuhr, die mit den dort üblichen Zahlen beschriftet ist. Solche Uhren fanden weite Verbreitung und viele Käufer. George Prior und sein Sohn Edward produzierten schätzungsweise mehr als 78 000 Uhren für das Osmanische Reich. Alle Taschenuhren dieses Typs ähneln sich und lassen sich eindeutig von den hochwertigen, luxuriös verzierten Exemplaren unterscheiden, die Herrscher und Diplomaten als Geschenk erhielten.

Imitate als billige Massenware

Der gute Ruf der robusten, von George Prior gefertigten Uhren führte dazu, dass seine Produkte auf dem europäischen Kontinent, besonders von Schweizer Uhrmachern aus Genf und Neuchâtel, imitiert und zu Billigpreisen auf den Markt geworfen wurden. Diese Fälschungen sind oft an fehlerhaften Beschriftungen oder Rechtschreibfehlern bei den Namen zu erkennen. Auch die Punzen auf der Rückseite der Uhren müssen kritisch betrachtet werden – sie sind nicht zwangsläufig ein Beweis für ein Original.

Belastbare Aussagen, ob es sich nun um ein Original oder eine Fälschung handelt, werden zudem dadurch erschwert, dass Einzelteile englischer Uhren im 18. Jahrhundert oft in verschiedenen Werkstätten gefertigt wurden, die sich häufig sogar in verschiedenen Städten befanden und am Schluss nur noch zusammengebaut wurden. Obwohl die Verkäufer der fertigen Uhren vorzugsweise in London saßen, konnten verschiedene Teile oder Halbfabrikate durchaus aus Liverpool, Coventry, Birmingham und Sheffield kommen. Außerdem war es keineswegs unüblich, dass die Londoner Hersteller Werke, Gehäuse und sogar fertige Uhren aus der Schweiz importierten und unter ihrem Namen als angeblich in London hergestellt weiterverkauften. Die Praxis der Uhrenherstellung war

so komplex, dass es extrem schwerfällt, Original und Fälschung zu unterscheiden.

Genau dies aber ist für den heutigen Antiquitätenhandel eine sehr wichtige Information. Im 18. und 19. Jahrhundert spielte das Kriterium der Echtheit für die Kundschaft im Osmanischen Reich vermutlich noch keine Rolle. Obwohl wir wenig über die Nutzer und Nutzerinnen der Uhren wissen, dürfen wir doch mit einiger Berechtigung annehmen, dass sie nicht wirklich zur Zeitmessung verwendet wurden. Vielmehr dürfte ihr Wert vor allem in ihrer Nutzung als Statussymbol bestanden haben. Dies entspräche dem generellen Trend, dass Taschenuhren seit ihrer fortschreitenden Miniaturisierung zunehmend den Charakter eines Schmuckstücks erhielten, dessen Äußeres wichtiger als ihre Funktion war. Natürlich konnte sich jemand, der eine Taschenuhr besaß, unkomplizierter mit anderen Leuten verabreden, doch in erster Linie ging es ihm wohl um die Zurschaustellung eines Statussymbols und die Demonstration sozialer Distinktion.

Freude am bescheidenen Luxus

Taschenuhren wie diese wurden üblicherweise an einer stolz vorgezeigten Uhrenkette getragen, an die man noch Schlüssel, Medaillen und anderen Nippes hängen konnte. Die Uhrketten wurden oft zusammen mit der Uhr geliefert. Eine von Edward Prior hergestellte Uhr aus dem 19. Jahrhundert, die sich heute im Silberschmiede-Museum im griechischen Ioannina befindet, datiert aus der Spätzeit der in England für den osmanischen Markt gefertigten Taschenuhren. Edward Prior führte das Geschäft seines Vaters bis Ende der 1860er-Jahre weiter. Danach galten die englischen Taschenuhren zunehmend als altmodisch und mutierten allmählich zu Sammler- und Museumsobjekten.

Die hier beschriebenen Taschenuhren sind typische Artikel von »Populär-Luxus« oder »Luxusartikeln des gemeinen Mannes«, die sich eindeutig von den »echten« Luxusartikeln der gehobenen Schichten unterscheiden. Im Gegensatz zu hochwertigen Luxusartikeln, die sich



Diese Puppe aus dem Benaki Museum in Athen zeigt, dass Taschenuhren wichtige Modeaccessoires für Männer waren.

vor allem durch die Verarbeitung seltener, dauerhafter, wertvoller und wertbeständiger Materialien auszeichnen, sind die »Luxusartikel des gewöhnlichen Volkes« durch andere Merkmale charakterisiert: ihren günstigen Preis, ihr für den Nutzer attraktives Design und die Freude, die sie ihrem Besitzer bereiten. Und zu der zählte immer auch die Möglichkeit, sich durch den Besitz und das Vorzeigen der Objekte zu bestätigen und als Individuum mit eigenem Geschmack von seinen Zeitgenossen abzugrenzen. ■■

Anzeige




HERBSTZEIT
IM SCHLOSSGUT

Buchbar 21.09.2020 – 30.11.2020 ab € 369,- pro Person
3 Übernachtungen für zwei Personen im Doppelzimmer inkl. 1 Tag Trekkingbike oder ½ Tag E-Bike, einer 60-minütigen Massage, und einem Museums- oder Kristall-Therme-Eintritt, jeweils pro Person.
Oberambach 1 - 82541 Münsing | Tel: 08177 9323 | www.schlossgut.de


DAS BUCHHOTEL AM VERANDEN DER
SCHLOSSGUT OBERAMBACH

Sind Zeitreisen möglich?

Es ist ein alter Menschheitstraum, sich frei durch die Zeit zu bewegen. Allerdings setzt die Naturwissenschaft hier klare Grenzen. Zeitreisen in die Zukunft funktionieren. Eine Reise in die Vergangenheit ist dagegen noch nie gelungen. Von Andreas Müller

In der Science-Fiction gehören Reisen in die Vergangenheit und Zukunft zu den faszinierendsten Phänomenen, die der Geschichte eine raffinierte Wendung geben können. Die dreiteilige Kinofilmreihe *Zurück in die Zukunft* schlachtet diese Idee meisterhaft aus. Der Zuschauer hat großen Spaß, den Verstrickungen zu folgen, beispielsweise wenn der Protagonist seinen Eltern in der Vergangenheit begegnet und aus Versehen die eigene Geburt verhindert. Ein Beispiel aus der jüngeren Science-Fiction ist das Weltraumspektakel *Interstellar*, bei der ein weit gereister Astronaut später seiner eigenen Tochter begegnet, die älter ist als er selbst.

Offenkundig stellt sich der Konsument von Zeitreise-Science-Fiction die Frage: Kann das wirklich funktionieren? Auf der Basis der modernen Physik können wir diese Frage erstaunlicherweise bejahen, allerdings gibt es klare Grenzen.

Zahlreiche Verstrickungen auf ihren Reisen durch die Zeit erleben Protagonist Marty McFly (Michael Fox, im Bild links) und sein Freund Dr. Emmett Brown (Christopher Lloyd, im Bild rechts) in der Science-Fiction-Trilogie *Zurück in die Zukunft* (1985) von Robert Zemeckis.

Raum und Zeit in Einsteins Theorien

Albert Einstein (1879–1955) formulierte im Jahr 1915 die spezielle Relativitätstheorie und zehn Jahre später die allgemeine Relativitätstheorie. Beide Theorien haben unser Verständnis von Raum, Zeit, Energie und Masse in komplett neue Erkenntnisdimensionen katapultiert. Das wesentliche Resultat der speziellen Relativitätstheorie besteht darin, dass die Lichtgeschwindigkeit im Vakuum – knapp 300 000 Kilometer pro Sekunde oder eine Milliarde Kilometer pro Stunde – das universelle Tempolimit im Universum ist. Beobachter, die sich relativ zueinander mit Geschwindigkeiten bewegen, die in solche Bereich kommen, erleben merkwürdige relativistische Effekte: Zeitspannen werden gedehnt und räumliche Längen verkürzt. Offenbar sind Zeit und Länge relative Größen, die vom individuellen Beobachter abhängen. Genau diese Relativität gab Einsteins Theorie den Namen.



Das grundsätzlich Neue an der neuen Beschreibung war das Konzept der Raumzeit, was jedoch nicht auf Einstein, sondern auf seinen ehemaligen Lehrer Hermann Minkowski (1864–1909) zurückgeht. Die drei Raumdimensionen Länge, Breite und Höhe sowie die Zeit als vierte Dimension sind zu einem vierdimensionalen Kontinuum verwoben: der Raumzeit. Wir bewegen uns durch dieses Raum-Zeit-Kontinuum und erleben dabei die Relativität der Zeit. Unser relatives Erleben von Zeit wird im berühmten Zwillingsparadoxon auf die Spitze getrieben. Die dabei sehr unterschiedlich gealterten Zwillinge sind jedoch mit nüchterner Physik widerspruchsfrei zu erklären.

In der Zeit nach 1905 erweiterte Einstein seine Betrachtungen auf beschleunigte Beobachter und formulierte im Jahr 1915 die allgemeine Relativitätstheorie. Aus heutiger Sicht ist es eine Theorie der Gravitation, die sich als das Beste entpuppt, was wir haben, um die Schwerkraft quali-

tativ und quantitativ zu beschreiben. Einsteins allgemeine Relativitätstheorie löst die Newton'sche Gravitationsphysik ab, wenn die Schwerkraft sehr stark wird. Mehr noch: Einsteins Konzept sieht in der Gravitation keine Kraft mehr, sondern vielmehr eine Eigenschaft der vierdimensionalen Raumzeit. Massen und andere Energieformen krümmen die Raumzeit und verursachen so geometrisch Bewegungen auf verbogenen Wegen.

Bis heute hat sich die Relativitätstheorie als Einsteins größter Wurf herausgestellt. Generationen von Physikern testeten diese Theorie immer wieder in naturwissenschaftlichen Experimenten und bestätigten die theoretischen Vorhersagen: die Periheldrehung des Planeten Merkur und mittlerweile auch von anderen kosmischen Körpern; die

1 Zeitdehnung durch Bewegung und Lorentzfaktor

Die Geschwindigkeiten werden in der Relativitätstheorie auf die Lichtgeschwindigkeit c im Vakuum bezogen: $c \approx 3 \times 10^8$ m/s. Gegen diesen atemberaubenden Wert sind alle typischen Geschwindigkeiten von Objekten auf der Erde winzig. Relativistische Effekte wie die Dehnung der Zeit durch Bewegung treten erst zutage, wenn Geschwindigkeiten vergleichbar mit c werden.

Eine Größe, die das in Einsteins Theorie quantifiziert, ist der Lorentzfaktor γ , der einer gewählten Geschwindigkeit v zugeordnet wird. Man erhält ihn gemäß $\gamma = (1 - v^2/c^2)^{-1/2}$. Ein Zeitintervall Δt wird um diesen Faktor γ gedehnt, ein Phänomen, das speziell relativistische Zeitdilatation genannt wird. Die folgende Tabelle enthält Zahlenbeispiele:

Objekt	Geschwindigkeit v (km/h)	Geschwindigkeit v/c	Lorentzfaktor γ
Pkw auf Autobahn	200	$1,9 \times 10^{-7}$	≈ 1
Myonen in der Höhenstrahlung	$1,0739 \times 10^9$	0,995	10
Jet eines Gammablitzes (GRB)	$1,0791 \times 10^9$	0,99995	100
Proton im Teilchenbeschleuniger LHC	$1,0793 \times 10^9$	0,999999991	7500

Myonen sind schwere Geschwisterpartikel des Elektrons und kommen in der energiereichen Höhenstrahlung vor. Die Lebensdauer eines Myons beträgt nur rund zwei Mikrosekunden, wird jedoch aufgrund der Zeitdilatation zu dem zehnfachen Wert gedehnt, so dass merklich viele Myonen nachweislich den Weg zur Erdoberfläche schaffen. Ohne Einsteins Zeiteffekte wären sie kaum dort angekommen. Myonen sind Zeitreisende!

Lichtablenkung im Schwerfeld der Sonne (Sonnenfinsternis von 1919) sowie an Gravitationslinsen in der Kosmologie; die Rotverschiebung durch die Gravitation der Erde (Pound-Rebka-Experiment, 1960) und von Weißen Zwergsternen (Walter Adams an Sirius B, 1925); der Shapiro-Effekt, bei dem es bei Signalen zu Zeitverzögerungen kommt, wenn sie an Massen vorbeigeschickt werden. Der jüngste Triumph sind natürlich die Gravitationswellen, die Einstein im Jahr 1915 vorhersagte und die mit den LIGO-Detektoren in den USA im September 2015 – fast genau 100 Jahre später! – registriert wurden. Das entsprechende Messsignal GW150914 stammt von zwei Schwarzen Lö-



Mit hochpräzisen Atomuhren an Bord starteten im Oktober 1971 die Physiker Joseph C. Hafele (l.) und Richard Keating (r.) zu einem Rund-um-die-Welt-Flug.

chern von jeweils etwa 30 Sonnenmassen, die in großer Entfernung kollidierten und dabei die Raumzeit in heftige Schwingungen versetzten. Derartige Signale können in der Theorie auf Computern simuliert werden, und die Messung folgte genau der Vorhersage. Dieser Durchbruch in der Gravitationsphysik wurde im Jahr 2017 mit dem Nobelpreis für Physik gewürdigt, der an die führenden LIGO-Wissenschaftler Reiner Weiss, Kip S. Thorne und Barry Barish vergeben wurde.

2 Gravitative Zeitdehnung und Rotverschiebung

Das Verrinnen der Zeit wird nicht nur durch die Bewegung einer Uhr beeinflusst (siehe Kasten 1), sondern auch durch die Gravitation. Dieser Effekt namens gravitative Zeitdilatation ist die Kehrseite eines Phänomens, das Gravitationsrotverschiebung heißt. Anschaulich besagt das: Lichtwellen, die von einer Masse ausgehen, müssen gegen die Gravitation Arbeit verrichten und verlieren dabei Energie. Der Energieverlust eines Lichtteilchens äußert sich darin, dass es eine längere Wellenlänge bekommt: Es wird gerötet. Je kompakter die Masse ist, umso stärker ist dieser Effekt. Übertragen auf die Zeit schließen wir, dass Uhren im Tal durch die Gravitationsrotverschiebung langsamer ticken als auf einer Bergspitze. Auch diese Form der Zeitdehnung wurde eindrucksvoll im Hafele-Keating-Experiment bestätigt. Die nachstehende Tabelle gibt Zahlenbeispiele für das Ausmaß der gravitativen Zeitdehnung für verschiedene Objekte. Denn in der allgemeinen Relativitätstheorie lässt sich ein ähnlicher Faktor definieren wie der Lorentzfaktor der speziellen Relativitätstheorie.

Objekt	Masse (kg)	Oberflächenradius (km)	Gravitative Zeitdehnung	Zeitintervall 1h wird zu (min)
Erde	6×10^{24}	6367	≈ 1	59,99999996
Sonne	2×10^{30}	700 000	0,999998	59,9999988
Neutronenstern	4×10^{30}	10	0,64	38,39
Schwarzes Loch	10×10^{30}	15	0	0

Eine feste Zeitspanne von einer Stunde wird durch die gravitative Zeitdehnung an der Oberfläche des betreffenden Objekts verlangsamt zum Zahlenwert, der in der letzten Spalte steht.

Schwarze Löcher sind schwarz, weil an ihrem Ereignishorizont die Gravitationsrotverschiebung unendlich groß wird. Strahlung – und übrigens auch Gravitationswellen –, die dort startet, kommt niemals beim Beobachter an. Mit anderen Worten: Für einen Außenbeobachter bleibt am Horizont eines Schwarzen Lochs die Zeit stehen! Oder noch mal anders gesagt: Schwarze Löcher liegen in unserer unendlichen Zukunft.

Zeitdehnung im Flugzeug

Zeitreisen funktionieren – das hat sich schon vor 50 Jahren im Hafele-Keating-Experiment erwiesen. Die beiden Physiker Joseph C. Hafele und Richard E. Keating synchronisierten im Jahr 1971 zwei hochpräzise Atomuhren, die damals etwa die Größe eines Kühlschranks hatten. Dabei verblieb eine Referenzuhr am Erdboden, während die andere an Bord eines Flugzeugs mitflog. Für ein Forschungsflugzeug gab es keine Geldmittel, so dass die Experimentatoren einfach eine Linienmaschine nutzten.

Die Effekte der relativen Zeit machen sich in zweifacher Weise bemerkbar: Zum einen bewegt sich die Uhr im Flugzeug relativ zum Erdboden näherungsweise mit konstanter Geschwindigkeit. Aufgrund der speziellen Relativitätstheorie muss die Uhr im Flieger anders ticken als diejenige am Boden (siehe Kasten 1). Die einfache Regel besagt: Je schneller sich eine Uhr bewegt, umso langsamer tickt sie. Interessanterweise spielt die Flugrichtung eine Rolle, weil sich bei einer Reise nach Osten die Geschwindigkeit des Flugzeugs und diejenige der Erddrehung addieren. Hafele und Keating konnten hierbei eine spezielle relativistische Zeitdehnung von (minus) 184 Milli-



ardstel Sekunden nachweisen. Bei einem Flug nach Westen verringert die Erddrehung hingegen die Relativgeschwindigkeit beider Uhren und entsprechend fällt die Zeitdehnung durch Bewegung geringer aus: (plus) 96 Milliardstel Sekunden. Zum anderen wird der Gang der Uhren beeinflusst durch die Flughöhe. Hierbei kommt die allgemeine Relativitätstheorie zum Tragen (siehe Kasten 2). Sie besagt anschaulich: Je näher eine Uhr an einer Masse ist, umso langsamer tickt sie. Die Uhr im Flieger tickt durch diesen Effekt schneller.

Der gravitationsbedingte Gangunterschied, der von Hafele und Keating gemessen werden konnte, betrug 144 Nanosekunden (Flug nach Osten) beziehungsweise 179 Nanosekunden (Flug nach Westen). Im Wesentlichen sollten diese Messwerte identisch sein, weil die Flugrichtung natürlich keinen Effekt auf die Gravitation hat. Der hier dokumentierte Unterschied ist lediglich auf Messunsicherheit zurückzuführen, die im Bereich von 20 Nanosekunden liegen.

Wir fassen zusammen: Im Allgemeinen überlagern sich die Zeitdehnungseffekte von spezieller und allgemeiner Relativitätstheorie. Die Physiker Hafele und Keating stellten insgesamt einen Gangunterschied von (minus) 59 Nanosekunden beim Flug ostwärts und (plus) 273 Nanosekunden bei der Reise nach Westen fest. An dem konkreten Beispiel sehen wir bereits, dass Zeitreisen auf der Erde ein sehr überschaubares Maß aufweisen. Mit gewöhnlichen Uhren können wir Zeitvariationen im Bereich von einigen hundert Nanosekunden (10 bis 7 Sekunden) nicht nachweisen, geschweige denn spüren.

Dennoch haben die winzigen relativistischen Zeiteffekte in unserer hochtechnisierten Welt inzwischen an Bedeutung gewonnen: Bei der Steuerung von Satelliten oder bei Navigationssystemen beeinflussen sie die Genauigkeit und müssen berücksichtigt werden. Einstein ist hundert Jahre nach Erfindung seiner Theorie in alltäglichen Anwendungen angekommen.

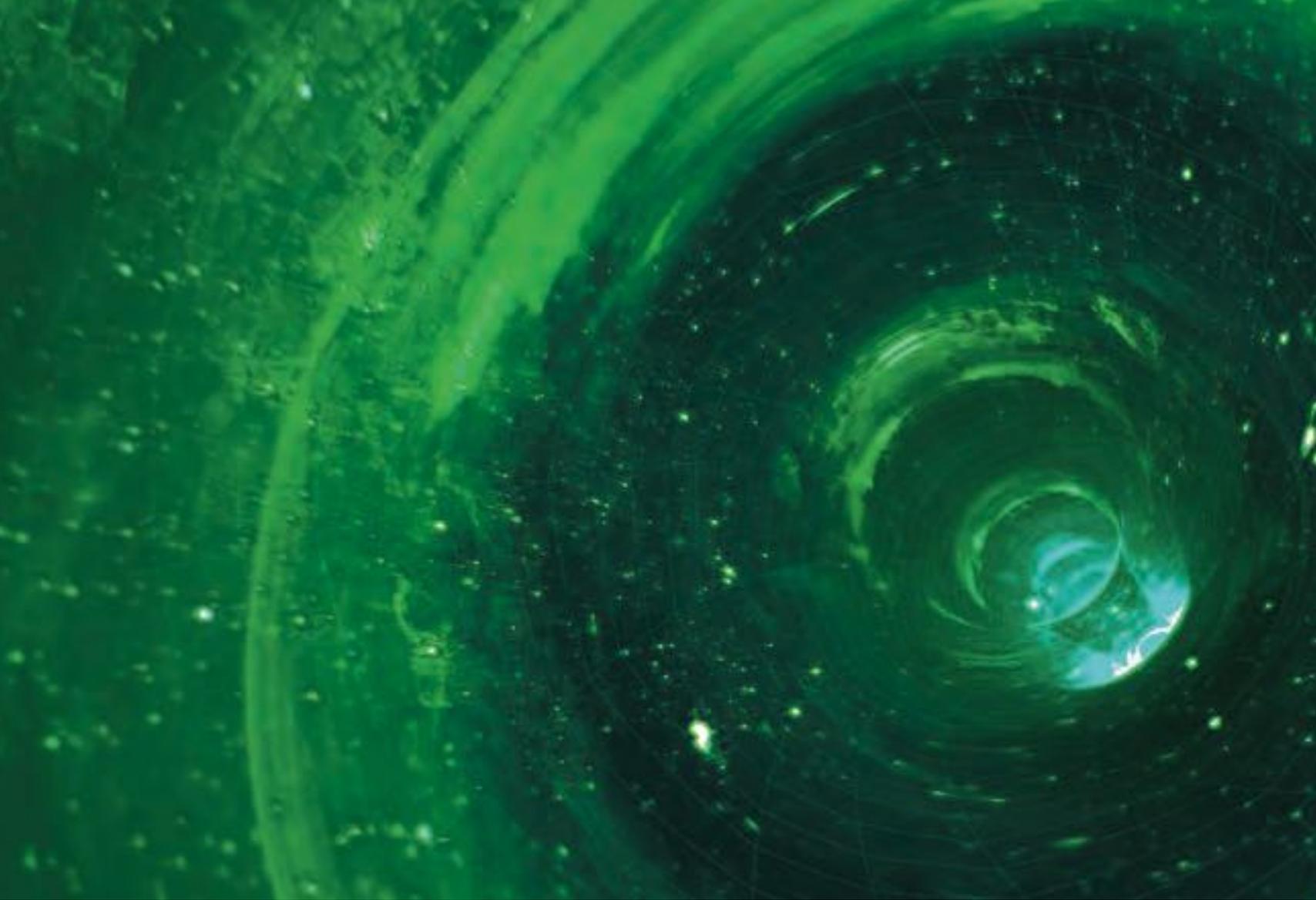
Reisen in die Zukunft

Überträgt man das Hafele-Keating-Experiment in den Weltraum und betrachtet extremere Bedingungen, also höhere Geschwindigkeiten, die vergleichbar werden mit

Durch ein Schwarzes Loch reisen die Astronauten im Science-Fiction-Drama *Interstellar* in eine ferne Zukunft. Der Nobelpreisträger und Astrophysiker Kip Thorne beriet Regisseur Christopher Nolan, so dass die Ereignisse aus wissenschaftlicher Sicht in diesem Film korrekt dargestellt werden.

der Lichtgeschwindigkeit und zieht man weiterhin heftigere Gravitationsunterschiede in Erwägung, weil kompakte Massen wie Neutronensterne oder Schwarze Löcher involviert sind, dann ist das Ausmaß des Gangunterschieds von Uhren natürlich bedeutsamer. Im Kinofilm *Interstellar* aus dem Jahr 2014 beispielsweise wurde das vollkommen richtig dargestellt. Kein Wunder: Der bereits erwähnte Nobelpreisträger Kip Thorne, der weltweit als bester Kenner von Einsteins Gravitationstheorie angesehen werden muss, war wissenschaftlicher Berater von Christopher Nolan, dem Regisseur des Films. (An dieser Stelle sei Thornes populärwissenschaftliches und wundervoll illustriertes Buch zum Film mit dem Titel *The Science of Interstellar* sehr empfohlen.)

In der Geschichte geht es um Astronauten, die ein fiktives Schwarzes Loch in der Nähe des Gasplaneten Saturn nutzen, um in ferne Galaxien zu reisen. Dabei treten Zeiteffekte in mannigfacher Form auf, die im Film physikalisch richtig dargestellt werden. Unter anderem trennen sich die Astronauten des Raumschiffs »Endurance«. Während ein Stoßtrupp mit einer Landeinheit einen Planeten in Augenschein nimmt, verweilt der Rest der Crew an Bord



des Hauptschiffs. Die Inspektion dauert für die Landcrew nur ein paar Stunden. Da sich beide Teams auf stark unterschiedlichen Gravitationsniveaus befinden, vergehen an Bord des Hauptschiffs Jahre! Damit sie sich beim Zusammentreffen überhaupt begrüßen können, musste sich die Crew des Hauptschiffs in Kälteschlaf versetzen – was in der Science-Fiction ein gängiger Kniff ist, um lange Reise- oder Wartezeiten lebend überstehen zu können.

Nachdem der Protagonist Cooper nach all seinen Welt- raumabenteuern zur Erde zurückkehrt, trifft er auf seine Tochter Murphy, die er verlassen musste, als sie etwa zehn Jahre alt war. Während er nur wenige Monate, vielleicht Jahre gealtert war, traf er auf seine inzwischen etwas mehr als neunzigjährige Tochter. Die relativistischen Effekte von Zeitreisen hatten mit aller Härte zugeschlagen und waren auch hier wissenschaftlich korrekt. Was offenkundig geschehen war, müssen wir als Zeitreise in die Zukunft ansehen: Cooper war in die Zukunft gereist, in der seine kleine Tochter eine gebrechliche alte Frau geworden war!

Reisen in die Vergangenheit

Zeitreisen in die Zukunft sind in den Naturwissenschaften völlig unstrittig. Sie geschehen und nachweislich unterliegen wir ihnen im Alltag, wenn auch mit vernachlässigbaren Auswirkungen. Wie sieht es jedoch mit Reisen in die Vergangenheit aus?

Wurmlöcher stellen Abkürzungen durch Raum und Zeit dar. Ob es sie wirklich gibt, ist bis heute nicht klar.

Im ersten Teil der Filmtrilogie *Zurück in die Zukunft* reist die Hauptfigur Marty McFly, verkörpert von Michael J. Fox mit einer Zeitmaschine – einem von Doktor Emmett Brown umgebauten DeLorean – versehentlich vom Jahr 1985 in das Jahr 1955. Durch ein Missgeschick verhindert er, dass sich seine Eltern kennenlernen – und bringt damit seine eigene Existenz in Gefahr: Wenn Vater und Mutter nicht zusammenkommen, kann er nicht geboren werden. Im ersten Film dreht sich folglich alles darum, dass die Eltern wieder auf die richtige Spur im Raum-Zeit-Kontinuum kommen.

In der Fachliteratur rangieren derlei Widersinnigkeiten der Erforschung von Zeitreisen unter dem Begriff »Großvater-Paradoxon«. Reist man in die Vergangenheit und tötet (aus Versehen oder mit Absicht) den eigenen Großvater, bevor er Kinder zeugt, wie kann man dann existieren, wenn man in eine Zukunft zurückkehrt, in der es Vater oder Mutter eigentlich nicht gibt?

Solche Fragen verknoteten schon viele Hirnwindungen von Zeitreiseforschern. Ganz nüchtern betrachtet, müssen wir zunächst folgender Tatsache ins Gesicht blicken: Noch nie kam ein Zeitreisender aus der Zukunft zu uns und sagte: »Hallo! Hier bin ich. Ich komme aus der Zukunft.« Es mag Leute gegeben haben, die das behaupteten, aber sehr wahrscheinlich schenkte man ihnen keinen Glauben. Überzeugende Beweise für eine solche Reise



fehlen jedenfalls bis heute. Und das ist schon erstaunlich. Denn es wäre ja denkbar, dass die Naturwissenschaft und Technik in 100, 1000 oder 10 000 Jahren Zeitmaschinen hervorbringt, die Zeitreisen in die Vergangenheit gestatten. Es wäre dann kein Problem, in unsere Gegenwart zu reisen. Das geschah jedoch offenbar nicht. Wie deuten wir das?

Der berühmte Physiker und Kosmologe Stephen W. Hawking (1942–2018), der sich mit Schwarzen Löchern, dem Urknall und fundamentalen Fragen der Naturwissenschaft auseinandersetzte, erklärt das so: Zeitreisen in die Vergangenheit sind schlichtweg verboten. Diese unbewiesene Vermutung hat in der Fachwelt einen schicken Namen bekommen: Die Zeitschutzvermutung (time protection conjecture). Es gibt allerdings Naturgesetze, die nahelegen, dass an diesem Verbot etwas dran sein muss, und zwar Gesetze der Wärmelehre, also der Thermodynamik, die ein Teilgebiet der Physik ist. Nach dem Ersten Hauptsatz der Thermodynamik kann Energie weder erschaffen noch vernichtet, sie kann nur von einer Form in die andere umgewandelt werden – zum Beispiel von Lage- in Bewegungsenergie. Maschinen, die diesem Ersten Hauptsatz widersprechen, heißen Perpetuum mobile erster Art. Noch nie wurde ein solcher Widerspruch entdeckt, auch wenn beispielsweise die Kunstwerke des Niederländers M. C. Escher den Anschein erwecken, dass es

sie geben könnte, wenn beispielweise eine Strömung ganz von alleine ein Gefälle nach oben fließt

Nach dem Zweiten Hauptsatz der Thermodynamik ist die thermodynamische Größe namens Entropie konstant oder kann nur zunehmen. Entropie ist ein Maß für Unordnung. Damit ist gemeint, dass sich Systeme in der Natur zeitlich so entwickeln, dass sie von einem Zustand der Ordnung und einfachen Struktur in einen neuen Zustand übergehen, der komplexer strukturiert und damit weniger geordnet ist. Auf diese Weise lässt sich eine Richtung der Zeit ablesen, oder eleganter formuliert: Die Entropiezunahme legt den thermodynamischen Zeitpfeil fest. Maschinen, die im Widerspruch zum Zweiten Hauptsatz stehen, heißen Perpetuum mobile zweiter Art. Auf dem Punkt gebracht, widersprechen Zeitreisen in die Vergangenheit dem Zweiten Hauptsatz der Thermodynamik und sind deshalb verboten. Dies steht im Einklang mit den Beobachtungen in naturwissenschaftlichen Experimenten.

Wurmlöcher und andere Exoten

Alles gut, könnte man meinen. Nichtsdestotrotz machten im Zusammenhang mit Zeitreisen in die Vergangenheit interessante Konzepte von sich reden, so die hypothetischen Wurmlöcher. Könnten sie nicht nur Abkürzungen durch Raum und Zeit darstellen, sondern sogar zu einem raumzeitlichen Punkt zurückführen?

Um das zu verstehen, werfen wir am besten einen Blick auf Raum-Zeit-Diagramme. Stellen Sie sich vor, dass Sie frühmorgens in Frankfurt am Main aufwachen und für den Tag geplant haben, ins Deutsche Museum nach München zu reisen. Ihren Weg durch Raum und Zeit können wir als Raum-Zeit-Diagramm darstellen. Nach dem Frühstück in Frankfurt steigen Sie um 7 Uhr morgens in den Zug. Der ICE kommt drei Stunden später in München an. Nach kurzer Fahrt mit der S-Bahn gehen Sie die letzten Meter zu Fuß auf die Museumsinsel. Nach einem interessanten Führungsprogramm, schönen Eindrücken in den Ausstellungsbereichen und einem herrlichen Ausblick auf der Dachterrasse genießen Sie Münchens Lokalitäten bei einem Abendessen. Schließlich treten sie spät die Heimreise an und kommen gegen 1 Uhr nachts zu Hause in Frankfurt an. Das Diagramm zeigt Ihre Reise durch Raum und



DER AUTOR

Dr. Andreas Müller
ist Astrophysiker und
Chefredakteur der Zeitschrift
Sterne und Weltraum.
2012 erschien sein Buch
Zeitreisen und Zeitmaschinen
bei Springer Spektrum,
Heidelberg.

Zeit, wobei wir zur Vereinfachung die dritte Raumdimension vernachlässigt haben.

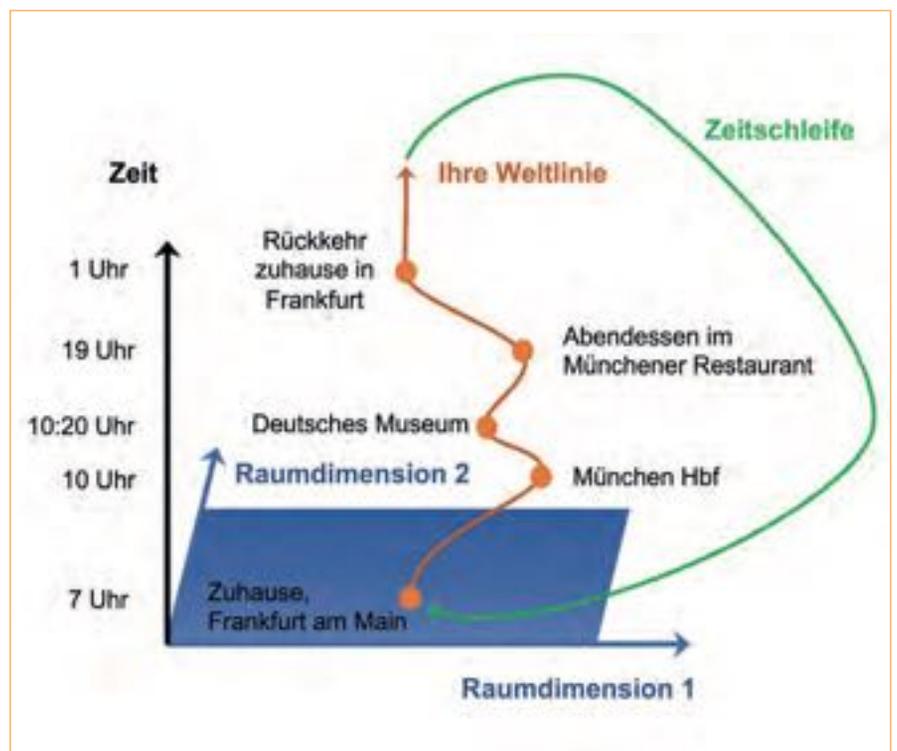
Wie sähe eine Zeitreise in die Vergangenheit in einem solchen Diagramm aus? Nun, wenn Sie die Möglichkeit hätten, Ihren Tag in München nochmals genauso zu erleben, dann müsste Ihr Pfad im Raum-Zeit-Diagramm oben in irgendeiner Weise wieder unten am Raumzeitpunkt (»Ereignis«) anknüpfen: Wir hätten es mit einer Zeitschleife zu tun. In der Filmkomödie *Und täglich grüßt das Murmeltier* aus dem Jahr 1993 erlebte Bill Murray als Reporter denselben Tag wieder und wieder – er machte das Beste daraus und wusste das Wissen um das Schicksal zu nutzen, zum Beispiel um das Herz seiner angebeteten Kollegin zu gewinnen. Im Film wurde freilich nicht erklärt, wie es zu dieser seltsamen Zeitschleife kam.

Relativitätstheoretiker bezeichnen derartige Zeitschleifen als geschlossene zeitartige Kurven (closed timelike loops). Es gibt sie tatsächlich in der Theorie! Insbesondere rotierende Raumzeiten wie die Gödel-Lösung aus dem Jahr 1949, die ein rotierendes Universum beschreibt, oder die Kerr-Lösung (1964), welche ein sich drehendes Schwarzes Loch beschreibt, zeigen solche geschlossenen zeitartigen Kurven. Der Begriff »zeitartig« hat in der Relativitätstheorie eine genaue Definition (Stichwort Lichtkegel und raumzeitlicher Abstand). Das Wort beschreibt solche Wege durch Raum und Zeit (»Weltlinien« oder fachlich: Geodäten), die Objekte nehmen, deren Ruhemasse nicht verschwindet. Im Gegensatz dazu heißen die Wege von Lichtteilchen, die bekanntlich Ruhemasse null haben, »lichtartig«. Schließlich komplettieren die raumartigen Geodäten die drei Kategorien von Wegen, die jedoch als unphysikalisch angesehen werden, weil sie das fundamentale Kausalitätsprinzip verletzen.

Zusammenfassung

Zeitreisen in die Zukunft sind möglich und gut experimentell untermauerte Tatsache. In geringem Ausmaß von Sekundenbruchteilen erlebt sie jeder von uns im Alltag. Reisen in die Vergangenheit wurden noch nicht verifiziert – im Gegenteil: Es sieht vielmehr danach aus, dass Naturgesetze sie verbieten. Das würde auch erklären, weshalb wir noch keinem Zeitreisenden aus der Zukunft begegnet sind. ■■

Das Diagramm illustriert einen Weg durch Raum und Zeit für ein Alltagsbeispiel (orange). Eine Reise in die Vergangenheit müsste Zeitschleifen (grün) erlauben.



Zwei Münchner im Dienst der Zeit

Erwin Sattler und Juwelier Hilscher teilen die Leidenschaft für Präzision und Schönheit seit zwei Generationen

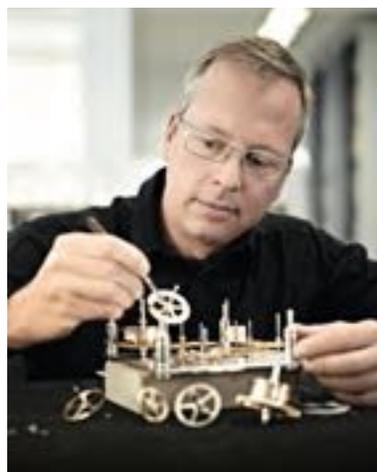
Aus der kleinen – im Jahr 1958 gegründeten – Uhren-Manufaktur Erwin Sattler ist in 60 Jahren ein weltweit führendes Unternehmen für Präzisionspendeluhren und Seilzug-Regulatoren geworden. Hier entstehen Objekte allerhöchster Güte, die handwerklich aus Meisterhand geschaffen wurden. Sie zeigen zuverlässig die Zeit an, darüber hinaus jedoch stellen sie oftmals das besondere Etwas in einem Büro, Wohnraum oder sogar auf einer Yacht dar.

Und hier kann man sie kaufen – bei Juwelier Hilscher. Der Name Hilscher steht in München für außergewöhnliche Leidenschaft – für das Uhrmacherhandwerk und für Menschen. Aus einer kleinen Uhrmacherwerkstätte wurde ein international renommiertes Fachgeschäft für Uhren und Schmuck, in dem die Begeisterung für Zeitmesser bereits seit 75 Jahren gelebt wird.

Seit nunmehr zwei Generationen teilen die beiden Unternehmen die Leidenschaft für Präzisionsuhren. Kai Pierre Thieß (Geschäftsführer Juwelier Hilscher) und Markus Glöggler (Mitinhaber und Produktionsleiter Erwin Sattler) führen die enge Kooperation fort.



Brigitte und Manfred Hilscher, Kai Pierre Thieß (v.l.n.r.)



Markus Glöggler

Markus Glöggler: „Eine Sattler-Uhr soll nicht nur die genaue Zeit anzeigen, sondern auch das Auge erfreuen. Von der Entwicklung des ersten Entwurfs des Uhrwerks bis hin zur Fertigstellung steht alles im Zeichen einer ausgewogenen Synthese aus modernsten Fertigungstechnologien und jahrhundertaltem Handwerk. So können wir gewährleisten, dass eine Sattler-Uhr bis ins letzte Detail den hohen Ansprüchen gerecht wird.“

Kai Pierre Thieß: „Die Zeitmesser der Firma Erwin Sattler räumen mit dem Klischee auf, dass Standuhren nicht mehr zeitgemäß seien. Als stilvolles Accessoire bereichern sie die Wohnkultur in den eigenen vier Wänden. Wer einmal die Atmosphäre des beruhigenden Kluges einer Sattler-Uhr in einem Raum erlebt hat, kann sich dem Zauber meist nicht mehr entziehen. Die Zeit wird nicht nur physisch in ihrer schönsten Weise spürbar, sie erhält auch einen Wert.“

Markus Glöggler: „Erwin Sattler-Fans schätzen die ausgefeilte Technik und den hohen handwerklichen Standard der rund 1.000 Präzisionsuhren, die wir pro Jahr herstellen. Unsere mechanischen Präzisionspendeluhren erreichen eine Gangabweichung von weniger als zwei Sekunden pro Monat.“

Kai Pierre Thieß: „Mit einer Lebensdauer von mindestens 100 Jahren sind Uhren von Erwin Sattler ganz außergewöhnliche Investitionen, die nicht nur für eine Generation getätigt werden. Wir betreuen Kunden, deren Sattler-Uhren seit vielen Jahrzehnten die besonderen Momente der Familie begleiten.“



Kai Pierre Thieß



Opus Tourbillon von Erwin Sattler.

HILSCHER

IHR JUWELIER IN SCHWABING UND AM AIRPORT MÜNCHEN

NORDENDSTRASSE 50, 80801 MÜNCHEN
WWW.JUWELIER-HILSCHER.DE

Sonnenuhren zum Mitnehmen



Drei Objektbeispiele aus dem Deutschen Museum zeigen die Vielseitigkeit tragbarer Sonnenuhren mit Kompass. Sie sind die heimlichen Stars frühneuzeitlicher Zeitmessung. Von Mareike Wöhler

Zeit ist, was die Uhr zeigt.« Dieser Albert Einstein zugeschriebene Satz, eine polemische Antwort auf die Frage eines Reporters nach dem Wesen der Zeit, trifft den Kern aus Sicht der Instrumentengeschichte gut: Je nach Einteilung kann eine Uhr Unterschiedliches anzeigen, lange Zeiträume ebenso wie kurze. Nicht immer war die Genauigkeit so wichtig, wie dies die kleinsten Zeiträume nahelegen, die heute mit synchronisierten Atomuhren gemessen werden können. Bis mindestens Ende des 17. Jahrhunderts spielten Minutenanzeigen hauptsächlich bei astronomischen Messungen eine Rolle, im Alltag genügte die Einteilung in Viertelstunden.

Einst Prüfer am Berner Patentamt, hat Einstein bei dem Spruch wohl an eine mechanische Uhr gedacht. Diese verbreitete sich seit dem spätmittelalterlichen 14. Jahrhundert rasch in Europa, zunächst als Schlaguhr an öffentlichen Gebäuden. Räderuhren zeigten zwar die praktischen gleichlangen Stunden (Äquinoktialstunden) an, waren jedoch nicht nur teuer, sondern auch unzuverlässig, weshalb freie Künstler und Handwerker nun vermehrt Sonnenuhren herstellten. Diese gab es bereits seit der Antike. Neben ortsfesten Sonnenuhren, die an Wänden angebracht wurden, in Gärten oder auf sonnenbeschienenen Tischen standen und für den jeweiligen Breitengrad vor Ort angefertigt

Eine elfenbeinerne Klappsonnenuhr von Jacob Karner, Nürnberg um 1640 (Länge: 8,9 cm).

wurden, waren dies auch kleinere tragbare Sonnenuhren, die als persönliche Zeitmesser fungierten und ihre Nutzer unabhängiger machten. Weitverbreitet waren Zylindersonnenuhren und einfache Ringsonnenuhren aus Metall, die sogenannten Bauernringe. Beide gehören zur Gruppe der Höhensonnenuhren und maßen die sich im Laufe des Jahres verändernde Höhenposition der Sonne am Himmelsgewölbe. Das in Sonnenuhren integrierte Wissen beruht auf astronomischen Beobachtungen und Kenntnissen der Himmelsmechanik. Als Elementaruhr bildet jede Sonnenuhr die Position der Sonne im Laufe des Tages und somit die Konstellation Erde-Sonne ab. Zugleich ist in den Skalen und Einzelteilen jeder Sonnenuhr auch das sich im Laufe der Zeit verändernde Weltwissen ihrer Hersteller und Nutzer gespeichert. Entsprechend zeigt sie uns deren Vorstellung von Zeit, die wir mit unserer erst abgleichen müssen.

Im 15. Jahrhundert kam ein neuer Sonnenuhrtyp auf, der auf Grundlage des äquatorialen Koordinatensystems den Stundenwinkel (Azimut) der Sonne maß. Zwei technische Innovationen waren für dessen Entwicklung erforderlich: Zum einen war dies ein im Winkel der Ortsbreite schräg gestellter, weil erdachparalleler Schattenstab (auch -faden), der sogenannte Polos. Bei diesem war die Richtung (und nicht die Länge) des Schattenwurfs relevant, was eine genauere Zeitablesung ermöglichte. Zum anderen war es die Integration des Kompasses in die Sonnenuhr,



Eine Taschenräderuhr mit integrierter Sonnenuhr und kleinem Kompass, 1565 vielleicht in Süddeutschland hergestellt (Durchmesser: 5,2 cm).

die für die erforderliche Südausrichtung des Polos entlang des Meridians sorgte. Nun ließen sich an den Sonnenuhren nicht mehr (nur) ungleich lange, im Laufe des Jahres veränderliche Temporalstunden, sondern (auch) gleich lange Äquinoktialstunden ablesen. Damit war eine Vergleichbarkeit der Zeitanzeige von Räder- und Sonnenuhr gewährleistet.

Seit Mitte des 15. Jahrhunderts wurde die tragbare Kombination aus Sonnenuhr mit Kompass und Polos vielleicht zuerst in Wien, bald in Nürnberg und Augsburg, später auch in Dieppe und weiteren Städten Europas hergestellt. Die verwendeten Materialien waren Elfenbein, Metall und Holz. Bei den in diese Uhren integrierten Kompassen war die ortsabhängige Abweichung des magnetischen vom geografischen Nordpol durch kleine Missweisungspfeile angegeben, nach denen die Kompassnadel ausgerichtet wurde. Auch dies konnte die Genauigkeit der Zeitmessung erhöhen.

Die neuen Sonnenuhren haben die Verbreitung der mechanischen Uhr als Korrektiv unterstützt. Es gab genug Kundschaft für beide Uhrenarten. Dass beide Uhrenarten nicht nur nebeneinander existierten, sondern auch direkt kooperierten, zeigt das erste Objektbeispiel aus der Sammlung des Deutschen Museums.

Vertrauen ist gut, Kontrolle besser: Eine Sonnenuhr zur Regulierung

1905 schenkte der Uhrenfabrikant Arthur Junghans dem Deutschen Museum dessen älteste Kleinuhr: eine auf 1565 datierte, runde Taschenräderuhr (Inv.-Nr. 2266) mit einem Durchmesser von nur 5,2 cm, vergoldetem Gehäuse und eisernem Werk. Dieses vor Beschädigungen schützende Gehäuse weist an einem Scharnier eine Öse auf. Unklar ist, ob die nur 135 g schwere und mit 2,4 cm relativ flache Uhr hieran mit einer Kette um den Hals getragen werden konnte – dieser Formtyp wird dann als Halsuhr bezeichnet – oder ob sie dafür zu fragil war und es sich um eine reine Dosenuhr handelt.

Auf dem Zifferblatt werden die gleich langen Stunden mit römischen Ziffern (I-XII, mit Halb- und Viertelstundenunterteilungen) von einem metallenen Weiser angezeigt. In die Mitte des silbernen Zifferblatts sind Pflanzen

und fünf Vögel in polychromem Tiefschnittemaille eingearbeitet, unter der Ziffer »XII« z.B. eine Eule. Auch durch den geschlossenen, mit Fischblasenkranz durchbrochenen Deckel ließ sich die Uhrzeit ablesen. In der Nacht konnte sie an Knöpfen ertastet werden, die sich über den Ziffern befinden. Der Mechanismus der Uhr – Spindelhemmung mit Foliot (Waag), Schweinsborstenregulierung, Stackfreed – lief trotz dem den Kraftverlauf der Zugfeder regulierenden Stackfreed noch ziemlich unregelmäßig. Im hinteren Teil ist daher eine Sonnenuhr mit kleinem Kompass eingebaut, die Stundenlinien (XI-XII-VI) anzeigt und dem Stellen und der Überprüfung der mechanischen Uhr diente. In die Stundenskala eingebettete Deklinationskurven mit den 12 Tierkreiszeichen zeigen die monatliche Tageslänge an. Das Stackfreed weist auf eine Herstellung der Uhr in Süddeutschland hin.

Die Vergoldung und das in den Deckel eingravierte, noch nicht identifizierte Wappen mit Stier oder Auerochse und Dreiblatt legen nahe, dass die Uhr für einen Auftraggeber angefertigt wurde, der vielleicht Adliger, Kaufmann oder Gelehrter war. Die elegant verzierte Uhr könnte auch für eine Dame hergestellt worden sein. Ein solches Schmuckstück war modern, als Luxusgut ein Statussymbol und – wie jedes Zeitmessinstrument – zugleich ein Symbol der Vergänglichkeit (Vanitas). Die Nutzerin oder der Nutzer konnte mit ihr nicht nur astronomisches Wissen zeigen, sondern auch demonstrieren, dass die von Gott gestundete Zeit maßvoll genutzt wurde.

Eine zusammenklappbare Kompass-Sonnenuhr zur Orientierung in Zeit und Raum

Gucken Sie auch auf Ihr Mobiltelefon, wenn Sie die Uhrzeit wissen möchten? Bereits in der frühen Neuzeit gab es tragbare Sonnenuhren mit vielen Funktionen, die für den Transport zugeklappt und in die Tasche gesteckt werden konnten.

Stellen wir uns das zweite Beispiel, eine in Nürnberg aus Elfenbein hergestellte, 8,9 cm lange Klappsonnenuhr (Inv.-Nr. 19652), einmal in Action vor: Zunächst öffnet sie ihre zwei Platten in einem Winkel von 90° und fixiert sie hinten an den Scharnieren mit zwei Haken. Nun stellt sich



die Uhr mit Hilfe des in den Grundplattenboden eingebauten Kompasses in Süd-Nord-Richtung entlang des Meridians ein. Der Faden spannt sich zwischen beiden Platten so, dass sein Schatten gleichzeitig auf die Skala der Vertikalsonnenuhr auf der Deckelinnenseite und die Horizontalsonnenuhr auf der Oberseite der Grundplatte fällt. Die Vertikalsonnenuhr zeigt die Stunden mit römischen Ziffern (VI-XII-VI, mit Halbstundensternen und Viertelstundenpunkten) an, die in dem Halbkreis unter dem sechsstrahligen Stern in arabischen Ziffern (6-12-6) wiederholt werden. Die Horizontalsonnenuhr zeigt die Stunden mit arabischen Ziffern (4-12-8, mit Halbstundensternen und Viertelstundenpunkten) an. Der erdachparallele Polfaden kann bei dieser Uhr nicht auf andere Breitengrade verstellt werden, auch gibt es nur eine Horizontalsonnenuhrskala.

Die Polhöhe dieser Uhr wurde noch nicht ermittelt, unverstellbare Uhren sind aber häufig für 48° oder 49° Nord angefertigt, was dem Herstellungsort Nürnberg entspricht. Unter der Kompassschale befinden sich noch zwei kleinere Sonnenuhren, deren Schatten von dem mittigen Stiftgnomon, einem senkrechten Schattenstab, angezeigt wird: eine für die ab Sonnenuntergang gezählten italienischen Stunden (9 bis 23) und eine für die ab Sonnenaufgang gezählten babylonischen Stunden (1 bis 15). Bei beiden wurden 24 gleiche (äquinoktiale) Stunden gemessen, auch als Große Uhr bezeichnet.

Als weitere nützliche Indikation wurde auf die Oberseite der Deckplatte eine 16-teilige Windrose mit deutschen Himmelsrichtungsangaben in verschiedenen Abstufungen (»OST / OSO / SO / SSO / SVD« usw.), 32 Kompasspunkten (1-32) und Zeigerarm angebracht. Bei einem Blick durch das Loch im Deckel auf die Kompassnadel ließ sich auch die geschlossene Uhr ausrichten. Die in die Uhr eingravierten bzw. mit Metallpunzen eingeschlagenen Skalen und Ornamente wurden mit Pigmenten schwarz, rot und grün eingefärbt.

Eine elfenbeinerne Klappsonnenuhr von Jacob Karner, Nürnberg um 1640 (Länge: 8,9 cm).

Zum Weiterlesen

Penelope Gouk, *The Ivory Sundials of Nuremberg, 1500–1700*. Cambridge 1988

Ralf Kern, *Wissenschaftliche Instrumente in ihrer Zeit*. Bd. 1: *Vom Astrolab zum mathematischen Besteck*. 15. und 16. Jahrhundert. Köln 2010

Dirk Syndram (Bearb.), *Wissenschaftliche Instrumente und Sonnenuhren*. Kunstgewerbebesammlung der Stadt Bielefeld/Stiftung Huelsmann, München 1989

Auf der Website digital.deutsches-museum.de finden Sie viele Sonnenuhren der Fachgebiete »Zeitmessung« und »Astronomie« des Deutschen Museums abgebildet und beschrieben.

Hergestellt wurde die Klappsonnenuhr von Jacob Karner, einem 1612 geborener Nürnberger Kompassmacher – so die Bezeichnung der Hersteller von Kompasssonnenuhren. Hierauf weisen die in das Elfenbein im Boden der Kompassschale eingepunzte Meistermarke »3« sowie das zwischen den Stiftgnomon der Grundplatte angebrachte Herstellerkürzel »IK« hin, das für Jacob (Iacob) Karner steht. Er heiratete der Historikerin Penelope Gouk zufolge erstmals 1634 und machte etwa zu diesem Zeitpunkt auch seinen Meister. Die »3« zeigt an, dass er sein in Nürnberg seit 1608 gesperrtes Handwerk bereits in der dritten Generation ausübte, weitere Familienmitglieder waren bis ins 18. Jahrhundert als Kompassmacher tätig. Die Uhr kann nach dem Vergleich mit anderen Uhren des Herstellers und der in den Kompassboden angebrachten Missweisung – der sich über die Zeit ändernden Abweichung des magnetischen vom geografischen Nordpol, die hier gen Null tendiert – auf etwa 1640 datiert werden.

Sonnenuhr und Kompass zur Vermessung

Als drittes Beispiel aus der Sammlung des Deutschen Museums dient ein 15,5 cm langer Zirkel aus vergoldetem Messing, in den eine Sonnenuhr mit Kompass integriert ist (Inv.-Nr. 18096). 1561 hergestellt vom Augsburger Christoph I. Schissler (um 1531–1608), ist das Instrument ein Zeitgenosse der eingangs vorgestellten Taschenräderruhr. Auf der Oberseite steht auf einem der beiden Zirkelschenkel auf Latein, worum es sich genau handelt: »HOROLOGIVM HORIZONTALE · AD / ELEVATIONES POLI · 47 · 48 · 49 GRAD« also um eine Horizontalsonnenuhr zur Nutzung auf den Polhöhen 47°, 48° und 49° nördlicher Breite. Die Sonnenuhr zeigte im Heiligen Römischen Reich ungefähr auf den Breitengraden zwischen Lindau am Bodensee, München und Nürnberg die richtige Uhrzeit an. Vor der Nutzung muss ein schattenwerfendes Poldreieck (»INDEX HORARVM // TRIANGVLVS VMBRÆ«) eingesteckt und der Kompass wieder eingenordet werden. Nun lassen sich von Sonnenauf- bis Sonnenuntergang (5-12-7)



die gleichlangen Stunden auf der Skala der Horizontalsonnenuhr an dem vom Poldreieck geworfenen Schatten ablesen. Halbstundenpunkte bieten eine Feingliederung der Zeit. Das Zirkelinstrument setzt sich insgesamt aus acht Einzelinstrumenten zusammen: Neben einem einfachen Stechzirkel, der Sonnenuhr und dem Kompass sind dies noch ein Maßstab, eine Wasserwaage, ein (heute fehlendes) Lot, ein Zeichenzirkel und eine Schmiege. In solche tragbaren Multifunktionsstools der frühen Neuzeit, auch in die bei Hof und im Stadtbürgertum beliebten astronomischen Kompendien, wurden häufig Sonnenuhren mit Kompassen integriert.

Diese drei Sammlungsobjekte zeigen mit ihrer Formenvielfalt exemplarisch, dass Sonnenuhren die heimlichen Stars der frühneuzeitlichen Zeitmessung sind. Ohne sie wäre weder die Regulierung von Räderuhren noch das Ausrichten von Vermessungsinstrumenten möglich gewesen. Zwar waren sie auf Sonnenschein angewiesen, doch waren häufig auch Nachtuhren in sie eingebaut, die bei hellem Mondlicht die Zeit anzeigten. Trotz Einführung des Pendels für ortsfeste Großuhren und der Spiralfederunruh für mobile Kleinuhren im 17. Jahrhundert waren Sonnenuhren weiterhin gefragt. Der Astronom Johann Elert Bode (1747–1826) lässt noch 1793 neben die sechs Jahre zuvor an der Königlichen Akademie der Wissenschaften angebrachte erste Berliner Normaluhr eine Wandsonnenuhr zu deren Kontrolle setzen. Hierdurch habe er, so Bode, »unser[m] Berlin einen richtigen Zeithalter verschafft«. Die Unter den Linden entlangflänierenden Herren konnten ihre mechanischen Taschenuhren nun wieder nach der wahren Ortszeit stellen. Für die von der Normaluhr anfangs ebenfalls angezeigte mittlere Ortszeit waren sie noch nicht bereit. Deren Zeiger mussten wieder entfernt werden, da sie noch für Verwirrung sorgten. ■■

Horizontalsonnenuhr auf der Oberseite eines Zirkelinstruments aus ergoldetem Messing von Christoph I. Schissler, Augsburg 1561 (Länge: 15,5 cm).



DIE AUTORIN

Mareike Wöhler
ist Historikerin und wissenschaftliche Mitarbeiterin im Team »Deutsches Museum Digital«.

Lirutti

Holzkultur



www.lirutti-holzkultur.de
shop.lirutti-holzkultur.de
info@lirutti-holzkultur.de
 T. +49 (0) 160 - 55 00 59 8



Hinein in neue Rechnerwelten

Die Theoretische Physik sagt Quantencomputern ein großes Potenzial voraus. Bis diese aber – zunächst für Rechenzentren – verfügbar sind, wird es voraussichtlich noch einige Jahrzehnte dauern. Von Klaus Wagner



In Las Vegas präsentierte IBM Anfang 2019 den ersten kommerziellen Quantencomputer mit 20 Quantenbits. Kaufen kann man die Anlage nicht. Sie soll über einen Cloudservice zugänglich gemacht werden.

tungen oder einen Chip erinnert. Stattdessen finden sich Metallgehäuse auf jeder Etage. In ihnen verborgen sind unter anderem Vorrichtungen zur Signalverstärkung, für die Kühlung und zur elektromagnetischen Abschirmung des Quantenprozessors, der unterhalb der untersten Plattform montiert ist. Eine Vielzahl verchromter, drahtartiger Gebilde verlaufen von den Böden zu den Decken der Etagen und sind auf halber Höhe jeweils zu einer Schleife gewunden. Wer käme schon auf die Idee, dass es sich hierbei um koaxiale Supraleiter handelt. Für den Betrieb verschwindet die schmucke Apparatur von IBM in einer grauen, tonnenartigen Metallhülle. Dann herrscht darin die sagenhaft niedrige Temperatur von wenigen Millikelvin über dem absoluten Nullpunkt und ein ultrahohes Vakuum sorgt dafür, dass es keine störenden Wechselwirkungen mit Molekülen in der Luft gibt. Geeignete Bedingungen für die supraleitenden Quantenbits.

Schneller sein ist keine Zauberei

Die schnellsten Hochleistungscomputer der Erde führen bis zu 18 000 000 000 000 000 Rechenschritte und mehr pro Sekunde aus. Dennoch dauern Berechnungen für Simulationen biologischer Prozesse oder die medizinische Forschung immer noch mehrere Stunden oder gar Tage. Oder sie sind aufgrund ihrer Komplexität noch gar nicht möglich.

Im Gegensatz zu diesen klassischen Rechnern, die Berechnungen nacheinander ausführen, verarbeiten Quantencomputer (Q-Computer) Informationen parallel und sollen dadurch wesentlich schneller sein. Einmal ausgereift sind sie speziell für solche Aufgaben vorgesehen, bei denen viele Eingangsgrößen viele Ausgangsgrößen bestimmen. Zum Beispiel, um beim Design von Arzneimitteln auf atomarer Ebene deren quantenphysikalische Interaktion mit Stoffwechsellenzymen zu analysieren oder bei Störungen im Bahnverkehr in kürzester Zeit die Fahrpläne aller betroffenen Züge aneinander anzugleichen. Suchmaschinen, die jeden Augenblick Millionen von Anfragen bearbeiten, könnten Abermilliarden von Suchergebnissen noch schneller präsentieren. Excel-Tabellen ausfüllen oder Briefe schreiben wird mit einem Q-Computer niemand wollen.

Was ist denn das? Sieht aus, wie ein Kronleuchter, ist aber keiner, und manche bezeichnen das Ding als Kühlschrank. Aber auch das trifft nicht zu. Eine Kollegin des Autors hätte geantwortet: »Ein Klavier ist es jedenfalls nicht«, und hätte damit zweifellos recht gehabt.

Alles glänzt und blinkt, und nichts erweckt den Anschein, man hätte einen Computer vor sich. Mehrere messingfarbene Platten sind etagenartig durch senkrechte Abstandshalter miteinander verbunden. Weder eine Platine mit Steckplätzen für zusätzliche Prozessorkarten ist zu sehen noch sonst ein Bauteil, das an elektronische Schal-



Im IBM-Q-Lab in New York arbeiten Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler am universellen Quantencomputer.

Ein wichtiges Ergebnis in der Entwicklung der superschnellen Maschinen wurde im Oktober 2019 in der Fachzeitschrift *Nature* veröffentlicht. »Ein Wissenschaftlerteam von Google zeigte, dass es technologisch machbar ist, mit einer Verschaltung von mehr als 50 Qubits schneller eine Zufallszahl mit einer bestimmten Verteilung zu errechnen, als mit einem klassischen Algorithmus«, sagt der Wiener Physiker, Quanteninformatiker und Elektronikingenieur Georg Gesek. Mit Qubit bezeichnet man sowohl die kleinste physikalische Recheneinheit eines Q-Computers als auch dessen Informationseinheit.

Knapp dreieinhalb Minuten benötigte Sycamore, so der Name des Q-Rechners, um das Ergebnis zu ermitteln. Allerdings war das Rechenproblem speziell auf die Bearbeitung mit einem Q-Computer zugeschnitten. Die Simulation auf einem klassischen Supercomputer ergab, dass ein Rechner mit einer Million herkömmlicher Prozessoren für die notwendigen Rechenschritte 10 000 Jahre gebraucht hätte. IBM, Konkurrent von Google in Sachen Q-Computer, gab jedoch an, die Aufgabe mit herkömmlicher Rechentechnik in zweieinhalb Tagen lösen zu können. Dennoch, die »Quantenüberlegenheit« – das heißt, dass ein Q-Rechner ein bestimmtes Problem schneller lösen kann als ein herkömmlicher – könnte damit erreicht sein.

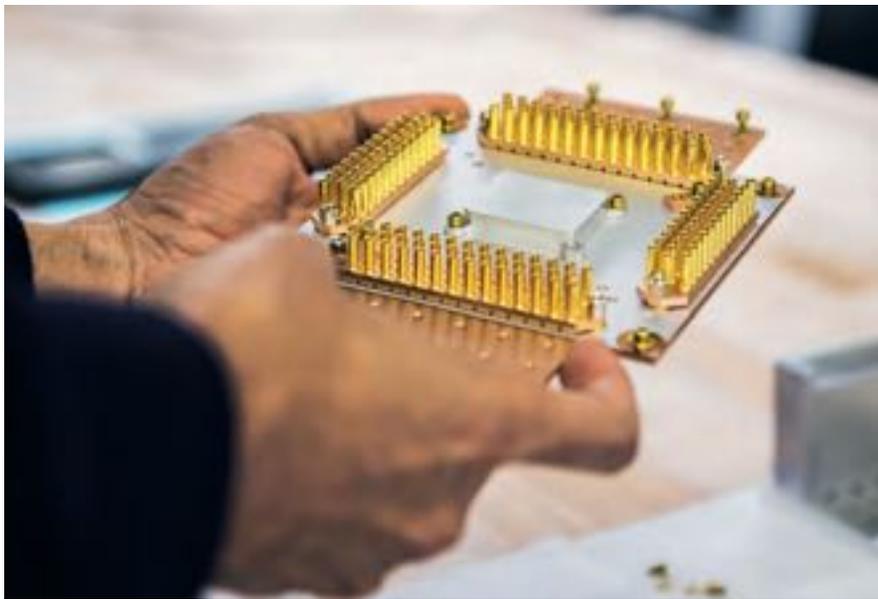
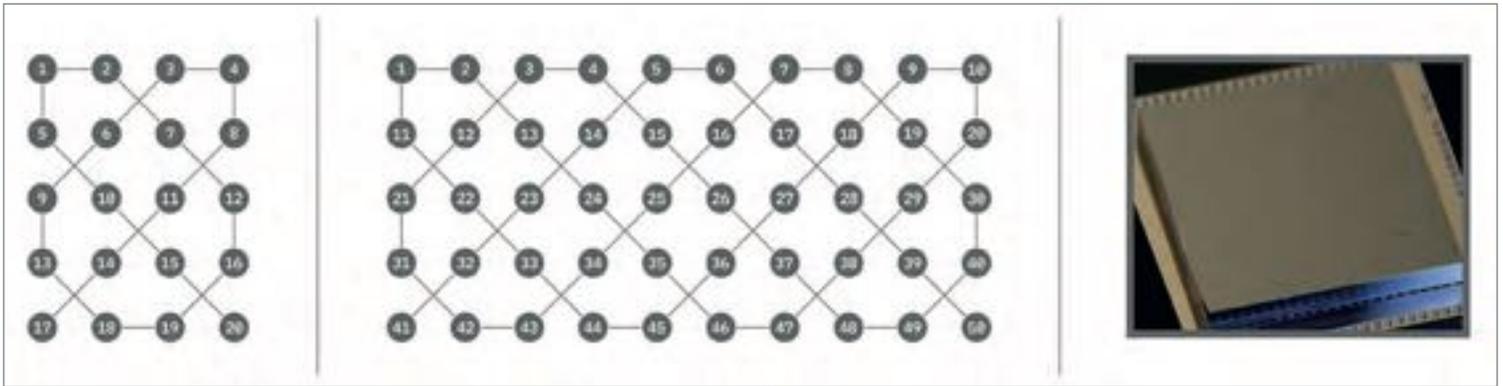
Mysteriöse Quantentheorien für sagenhafte Bits

»Die zu erwartende Rechenleistung der Q-Computer und damit letztlich der Qubits beruht auf Theorien, die im ers-

ten Drittel des 20. Jahrhunderts erforscht wurden«, sagt der Physiker Professor Martin Plenio, Direktor des Instituts für Theoretische Physik und des Zentrums für Quanten- und Biowissenschaften der Universität Ulm. Dabei wurden merkwürdige Entdeckungen gemacht: beispielsweise, dass Photonen nicht nur Wellen- sondern auch Teilchencharakter besitzen. Unglaublich, aber durch die Quantentheorie erklärt, mutet der Effekt der Verschränkung an. Hierfür bringt man zwei oder mehrere Teilchen so miteinander in Wechselwirkung, dass der Zustand eines Teilchens die Zustände aller anderen Teilchen beeinflusst – auch wenn diese räumlich weit voneinander getrennt sind.

Eine Möglichkeit zur kontrollierten Verschränkung, zum Beispiel einzelner Atome oder Ionen, besteht darin, dass man diese mittels elektromagnetischer Felder einfängt. Dadurch lassen sie sich in Abständen von ungefähr zehn Mikrometern in einer Kette aufreihen, dem Q-Register, und dann einzeln mit einem Laser beschießen, was der Dateneingabe entspricht. Die darauf folgende Wechselwirkung der Teilchen führt zu einer Dynamik, die quantenlogischen Gattern entspricht, welche die Operationen des Q-Computers durchführen. »Jedes Atom, das nicht in diese Register gehört, kann zu einer Störung führen und gibt Anlass, die Technik zu verbessern«, sagt Plenio.

Das gezielte Verschränken von Qubits ermöglichen eine enorme Flexibilisierung auf dem Chip eines Q-Computers, denn bei jedem Rechenschritt werden diese funktionellen Einheiten neu miteinander kombiniert. Und das ergibt einen weiteren Schub bei der Rechenleistung. »Auf



einem klassischen Chip dagegen sind die Transistoren in fester Weise miteinander verknüpft, und der Programmcode greift immer wieder auf unterschiedliche Verschaltungen zu«, erläutert Gesek. Dabei wird jeweils nur ein ganz kleiner Teil der Chipkapazität genutzt.

Nicht weniger verblüffend ist der Superpositionseffekt, wonach ein Teilchen gleichzeitig an mehreren Orten sein kann. Stellt man sich für ein spinbasiertes Qubit, zum Beispiel ein Elektron, den Spinvektor als Radius einer Kugel vor, so kann die Pfeilspitze des Vektors entweder zu deren Nordpol oder bei Spinumkehr zum entgegengesetzten Südpol zeigen und dabei die Informationswerte Eins oder Null annehmen. Da sich die Vektorspitze theoretisch an jeden Punkt auf der Kugel verschieben lässt, kann das Qubit beliebig viele Zustände gleichzeitig darstellen, die im Idealfall auch zur selben Zeit verarbeitet werden. Das Bit eines klassischen Computers entspricht dagegen dem Schaltzustand eines Transistors und hat nur entweder den Wert Eins oder Null. »Die enorme Stärke des Q-Computers liegt darin, dass mit der Anzahl der ihm zur Verfügung stehenden Qubits die darstellbare Information exponentiell anwächst«, sagt Professor Oliver Ambacher, Leiter des Fraunhofer-Instituts für Angewandte Festkörperphysik IAF in Freiburg i. Br. Nicht weniger als elf

Bild oben: Quantenrechner nutzen die Effekte der Quantenmechanik: Qubits können nicht nur die Zustände 0 und 1 annehmen, sondern auch beide Zustände gleichzeitig: In Bits wären das die Zustände 00, 01, 10 und 11. Quantenrechner können mit diesen vier Zuständen gleichzeitig rechnen und somit auch mehrere Rechenwege parallel einschlagen.

Bild unten: Die Platine mit dem Quantenprozessor von Google, präsentiert im Herbst 2019.

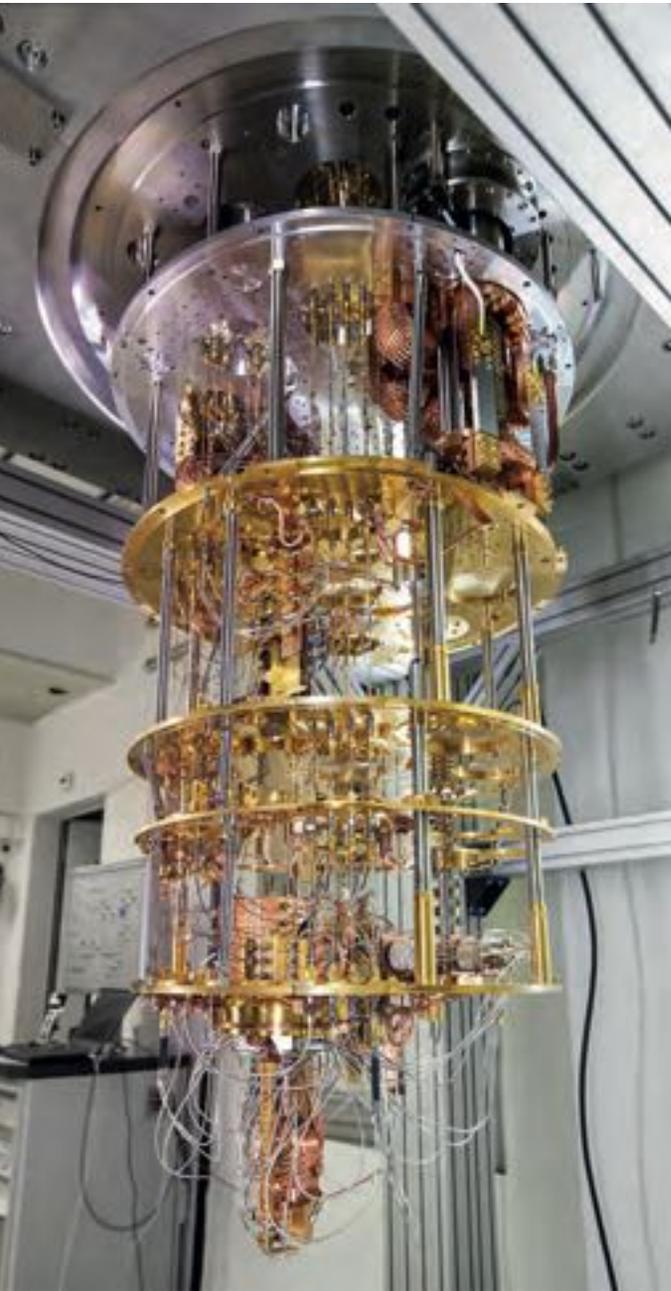
Fraunhofer-Institute kooperieren mit IBM seit einiger Zeit beim Aufbau eines nationalen Kompetenzzentrums für Q-Computing.

Die weitere Entwicklung der Q-Rechnertechnologie könnte in den kommenden Jahren zu einem universellen Q-Computer führen, der nicht nur alle denkbaren Q-Algorithmen sondern auch alle Algorithmen für herkömmliche Computer berechnet. Die notwendige Voraussetzung hierfür ist, dass die Qubits nicht nur deutlich präziser werden und sich miteinander beliebig verschränken lassen, sondern auch mit klassischen Schaltkreisen interagieren können. »Innerhalb der Messgenauigkeit können wir bisher aber nur etwa 1000 Zustände eines Qubits unterscheiden, und in Expertenkreisen ist man sich einig, dass eine neue Art von Qubits notwendig ist«, sagt Gesek, der auch Gründer und Geschäftsführer von Novarion, einer Herstellerfirma für Computersysteme ist. Aus seinen Andeutungen geht hervor, dass er eine Vorstellung davon hat, wie man diese entwickeln könne.

Eigenständig ist der Neue nicht

Q-Computer sind in ihrer Rechenleistung konventionellen Computer zwar potenziell überlegen, ohne diese aber nutzlos. Denn sowohl für die Dateneingabe, als auch das Auslesen der Qubits zur Darstellung eines Ergebnisses sind herkömmliche Rechner erforderlich. Dabei gilt, je leistungsfähiger der Q-Computer, desto leistungsfähiger muss auch der mit ihm gekoppelte Rechner sein. Da sich die Zustände in quantenmechanischen Systemen immer nur mit bestimmten Wahrscheinlichkeiten angeben lassen, ist auch das Ergebnis von Rechenoperationen im Q-Computer mit einer gewissen Unsicherheit belastet. »Aus diesem Grund wiederholt die Anlage jeden Rechenschritt so oft, bis eine Ergebnissicherheit erreicht ist, die sich durch einen weiteren Rechendurchgang nicht mehr signifikant erhöhen lässt«, erklärt Ambacher.

Störungsfrei laufen die Berechnungen jedoch noch nicht ab, und häufig brechen sie nach einigen Mikrosekunden oder wenigen Sekunden ab. Die Ursache hierfür ist die Empfindlichkeit der Qubits gegenüber Umwelteinflüssen, und es gehört zu den großen Herausforderung für die Forschung, deren Stabilität zu erhöhen. Atome, deren Elektro-



Weltweit wird an der Nutzung der Quantentechnologie geforscht. An der ETH Zürich untersucht ein Team mit dieser Apparatur, wie die Fehlerquote von Quantencomputern reduziert werden kann. Das Problem: Werden die sehr fragilen Quantenzustände gestört, schleichen sich Ungenauigkeiten ein.

nenspins für Rechenoperationen dienen, können in Kristallstrukturen eingebettet sein. »Je höher die Temperatur in der Umgebung der Kristalle, desto mehr schwingen darin die Gitteratome und gehen störende Wechselwirkungen mit den Elektronen und ihren Spins ein«, sagt Ambacher. Werden Q-Computer auf wenige Millikelvin gekühlt, sind die Positionen der Atome praktisch eingefroren und die Fehlerhäufigkeit ist reduziert.

Aber selbst bei diesen Umgebungsbedingungen tritt bei einem Q-Computer noch ein Fehler pro 100 Rechenoperationen auf und damit ist die Fehlerhäufigkeit um 16 Größenordnungen höher als bei einem derzeitigen Hochleistungscomputer. Deswegen versuchen auch die Wissenschaftler vom Fraunhofer IAF die Fehlerrate weiter zu senken. »Unsere Aufgabe ist es, das Rauschen der Mikrowellenstrahlung zum Ansteuern der Qubits so weit wie möglich zu unterdrücken«, sagt Ambacher.



DER AUTOR

Dr. rer. nat. Klaus Wagner
ist freier Autor für
Wissenschaft und Technik
in München.

Es gibt aber noch andere Möglichkeiten die Leistung eines Q-Chips zu optimieren. Durch Q-Fehlerkorrektur kann man versuchen, den Verlust der Überlagerungsfähigkeit von Q-Teilchen zu verhindern. »Mathematisch lässt sich für einzelne Korrekturmethode zeigen, dass man durch geschickte Kombination der Qubits Rechensysteme erhalten kann, die ähnlich robust sind, wie die eines klassischen Computers« sagt Plenio.

Voraussetzung ist allerdings, dass die Qubits nur noch einen Fehler in 1000 Operationen aufweisen. Würde das gelingen und wäre es möglich, mehrere hunderttausend Qubits auf einem Chip unterzubringen, sei die Zeit für den Aufbau einer Q-Industrie gekommen. Plenio und sein Team entwickelten eine Technik, Elektronen- und Kernspins mit höchster Qualität miteinander in Wechselwirkung zu bringen. Das kontrollierbare System funktioniert bei Raumtemperatur und könnte dadurch den Bau kleinerer und billigerer Q-Computer ermöglichen.

Einstweilen tut es ein Simulator

Einen Q-Computer für Rechenzentren gibt es zwar noch nicht, aber es sind bereits mehr als hundert Q-Computersimulatoren auf dem Markt. »Bereits ein kostengünstiger Hochleistungsrechner kann einen Q-Computer mit mehr als 40 Qubits simulieren«, sagt Gesek. Wesentlicher Unterschied ist, dass der herkömmliche Rechner sehr viel mehr Rechenschritte benötigt als ein Q-Computer. Mit solch einem Simulator lassen sich nicht nur Q-Algorithmen für zukünftige Fragestellungen entwerfen. Eine österreichische Universitätsklinik plant, demnächst einen derartigen Rechner für ein Referenzprojekt einzusetzen, um neue Medikamente zu entwickeln, so der Unternehmer.

Wenn die Finanzierung steht, will Gesek innerhalb von fünf Jahren in einem Startup einen hybriden universellen Q-Computer entwickeln. Auf einem Chip sollen dann klassische und Q-Informationstechnologie vereint sein. Welche Technologie dann welche Bearbeitungsschritte übernimmt, werde sich aus der zu bearbeitenden Fragestellung heraus ergeben. »Der passenden Simulator zu dieser Art von Q-Computer ist ebenfalls bereits vorhanden«, sagt Georg Gesek. ■



Gestalten Sie Zukunft mit Ihrem Testament!

Bitte beachten Sie den dieser
Auflage beigelegten Flyer

Kontakt:

Sabine Ratzenberger

Tel. 089/2179-314

s.ratzenberger@deutsches-museum.de

Deutsches Museum



Museumsinsel 1 · 80538 München · www.deutsches-museum.de/spenden



Die Schwedin Greta Thunberg begab sich im Sommer 2018 in einen »Schulstreik für das Klima«. Weltweit erregte ihr Engagement Aufsehen und motivierte Hunderttausende Schülerinnen und Schüler, wie ihr Vorbild Greta jeden Freitagvormittag für das Klima zu demonstrieren.

Erfinderische Frauen haben nicht nur mit den normalen Schwierigkeiten zu kämpfen, die damit verbunden sind, eine außergewöhnliche Idee in die Tat umzusetzen. Noch immer müssen sie sich auch gegen jene Vorurteile und Barrieren durchsetzen, die sich ihnen als Erfinderinnen in den Weg stellen: »Erfindungen sind Männersache«, lautet eines dieser Vorurteile. »Frauen und Technik ... « ein anderes. »Hinter jeder Erfinderin steht ein Mann«, ein drittes. Auch die Barrieren sind zahlreich: In der Vergangenheit mussten Frauen oftmals einen steinigen Weg gehen, um Wissen zu erwerben, denn viele jahrhundertlang wurde ihnen der Zugang zu Universitäten, Forschungseinrichtungen oder Bibliotheken verwehrt, und auch ihre schulische Bildung war dürftig oder gar nicht vorhanden, mit einigen wenigen Ausnahmen aus der Oberschicht. Noch bis ins 20. Jahrhundert wirkten Frauen überwiegend am Herd und im Haushalt ihrer Familien. Männer sahen die weibliche Tugend vor allem darin, männliche Genies zu gebären und großzuziehen. Die Vorstellung vom erfolgreichen Mann, der zumeist als Einzelkämpfer agierte, war fest in den Köpfen verankert.

Die Reihe der Frau war stets die zweite

Gelangen Frauen trotzdem Erfindungen, wurden diese von Männern patentiert, denn dem weiblichen Geschlecht war das Anmelden von Patenten bis in die An-

Rebellische Erfinderinnen

Jeden Tag werden Dutzende neue Erfindungen gemacht. Von der Idee bis zur Umsetzung braucht es nicht nur Kreativität und Tatkraft, sondern vor allem auch Zeit. Ein Blick in die Vergangenheit bringt zahlreiche Erfinder hervor – die Liste ist lang und vornehmlich männlich. Erfinderinnen tauchen hier oftmals nur am Rande auf, doch auch sie gibt es schon seit Hunderten von Jahren. Von Melanie Jahreis

fänge des 19. Jahrhunderts schlichtweg verboten – man traute ihnen weder Kreativität noch Geschäftssinn zu. Auch in der Wissenschaft wurden die Leistungen der Frau jahrhundertlang stillschweigend ausgeblendet oder ganz aus dem Gedächtnis gelöscht. Wollten Frauen trotzdem forschen, dann mussten sie dies ohne Bezahlung und unter einem ihnen wohlgesonnenen Mann tun. So erklärt sich die nicht geringe Zahl von Forscherpaaren: Nur diejenige Frau, die im Windschatten eines Mannes zu segeln verstand, bekam die Chance, ihren wissenschaftlichen Ehrgeiz auszuleben. Kam es dabei zu Ergebnissen und Erfolgen, so wurden diese dem Mann zugerechnet, der den Ruhm ganz allein einheimste. Beispiele dafür gibt es noch im 20. Jahrhundert, am bekanntesten ist wohl Lise Meitner, die Entdeckerin der Kernspaltung, wofür ihr jüngerer Mitarbeiter Otto Hahn 1944 den Nobelpreis bekam. Und auch die Entdeckung der DNS-Doppelhelix durch Rosalind Franklin in den 1950er-Jahren ist auf diese Weise bei zwei Männern gelandet. Der Nobelpreis scheint damit in erster Linie wohl auch Männersache zu sein. In den 1990er-Jahren gab die Historikerin Margaret W. Rossiter der systematischen Diskriminierung von Frauen in der Wissenschaft einen Namen; sie nannte es »Matilda-Effekt«, zu Ehren von Matilda Joselyn Gage, die im 19. Jahrhundert eine Pionierin im Kampf um die Gleichberechtigung der Frau gewesen war.



Rosalind Franklin entdeckte 1950 die DNA-Doppelhelix. Den Nobelpreis dafür erhielten 1962 James Watson und Samuel Crick. Mit keinem Wort erwähnten sie während der Preisverleihung die Forschungsergebnisse ihrer Kollegin.



Doch auch im 21. Jahrhundert setzt sich die Marginalisierung von Frauen in der Wissenschaft fort. Dies zeigen die vielen Veröffentlichungen mit männlichen Forschungsleitern als Erstautoren. Noch immer ist es naiv zu meinen, der Wert einer Arbeit bemesse sich allein an deren Inhalt, unabhängig von dem Geschlecht, das dahintersteckt.

Frauen auf der Überholspur

Zwar findet man Vertreterinnen des weiblichen Geschlechts heute mehr und mehr in der Forschung, doch die traditionellen Rollenbilder sind längst noch nicht verblasst

und manche Frauen sind auch schlichtweg zu bescheiden. Das Buch *Rebel Minds – 44 Erfinderinnen, die unsere Welt verändert haben* soll Mut machen, verrückte Träume zu haben, sich hohe Ziele zu stecken und entschlossen dem eigenen Weg zu folgen. Die pointierten Geschichten des Buches zerstreuen jegliche Zweifel an den weiblichen Fähigkeiten und Fertigkeiten und zeigen, wie Frauen sich maßgeblich an den Fortschritten in der Technik, Forschung und im alltäglichen Leben beteiligen. Daher kann unsere Gesellschaft es sich einfach nicht erlauben, auf die Hälfte ihrer Talente zu verzichten. »Ich habe gelernt, dass man nie zu klein ist, um etwas zu bewirken«, hat Greta Thunberg, die Erfinderin der Fridays-for-Future-Bewegung, einmal gesagt. Und Florence Nightingale, der wir die wissenschaftliche Krankenpflege verdanken, hat schon im 19. Jahrhundert gemeint: »Wenn man mit Flügeln geboren wird, sollte man alles dazu tun, sie zum Fliegen zu benutzen«. In diesem Sinne: Hebt ab und entdeckt eure rebellischen Talente! ■■



DIE AUTORIN

Melanie Jahreis
war wissenschaftliche Mitarbeiterin in der Abteilung Technik. Als freie Autorin schreibt sie für den C. H. Beck Verlag und für das Institut für Film und Bild in Wissenschaft und Unterricht.

Am 12.11.2020 findet eine Lesung zu *Rebel Minds – 44 Erfinderinnen, die unsere Welt verändert haben* in der Veranstaltungsreihe BUCH UM SECHS in der Bibliothek des Deutschen Museums statt. Das Buch ist auch im Museumsshop erhältlich (C.H.Beck, ISBN: 978-3-406-75758-7).

Von Physikergrüßen, Sternen und Bienenstöcken

Widmungen in der Bibliothek des Deutschen Museums Von Eva Bunge

Bücher verraten uns viel über die Vergangenheit. Was aber wissen wir über das Buch an sich? Durch welche Hände ist es gegangen und welche Geschichten sind damit verknüpft? Wir werfen einen Blick in die Bibliothek des Deutschen Museums, um nachzuvollziehen, über welche Umwege einige Bücher auf die Isarinsel gekommen sind.

Das älteste Buch der Bibliothek des Deutschen Museums ist das *Poeticon Astronomicum*, das die Mythologie der Sternbilder beschreibt. Es wurde 1482 in Venedig gedruckt und feiert damit in diesem Jahr seinen 538. Geburtstag. Die Bibliothek erwarb das Buch 1917 vom berühmten Münchner Antiquar Ludwig Rosenthal, weiß jedoch recht wenig darüber, durch welche Hände das Buch in seiner langen Geschichte ging und auf welchem verschlungenen Weg es schließlich seinen Weg nach München fand. Ähnliches gilt für sehr viele der inzwischen fast eine Million Bände, die sich seit der Gründung der Bibliothek 1903 angesammelt haben. In einigen Fällen lässt sich aber zumindest ein Teil der Vorgeschichte der Bibliotheksbücher rekonstruieren.

Eine Frage der Provenienz

Viele Bücher der Bibliothek des Deutschen Museums wurden im regulären Buchhandel erworben, aber die Bibliothek erhielt auch viele Stiftungen von Verlagen und Privatpersonen. Schon Oskar von Miller hatte Verlage als Partner für das Museum gewonnen und potenzielle Spender wiederholt angeschrieben, um Schenkungen für die Bibliothek einzuwerben. Die Herkunft der Bücher wurde von den Bibliotheksmitarbeitenden im Zugangsbuch und teils auch im Buch selbst vermerkt. So kann die Bezugsquelle in vielen Fällen identifiziert werden. Wenn eine Institution aber auf eine mehr als hundertjährige Geschichte zurückblickt, dann kommt es unweigerlich zu Informationsverlusten. Antiquariate werden geschlossen, bei Umzügen werden Stiftungen aus ihrem Zusammenhang gerissen, Akten gehen verloren, und wenn als Stifter nur ein Herr Müller vermerkt ist, dann wird es schwierig mit der Recherche.

Aber warum ist es überhaupt wichtig, sich mit der Herkunft der Bibliotheksbestände zu beschäftigen? Solche Recherchen zur Herkunft von Büchern (aber auch Kunstwerken und anderen Kulturgütern) werden als Proveni-

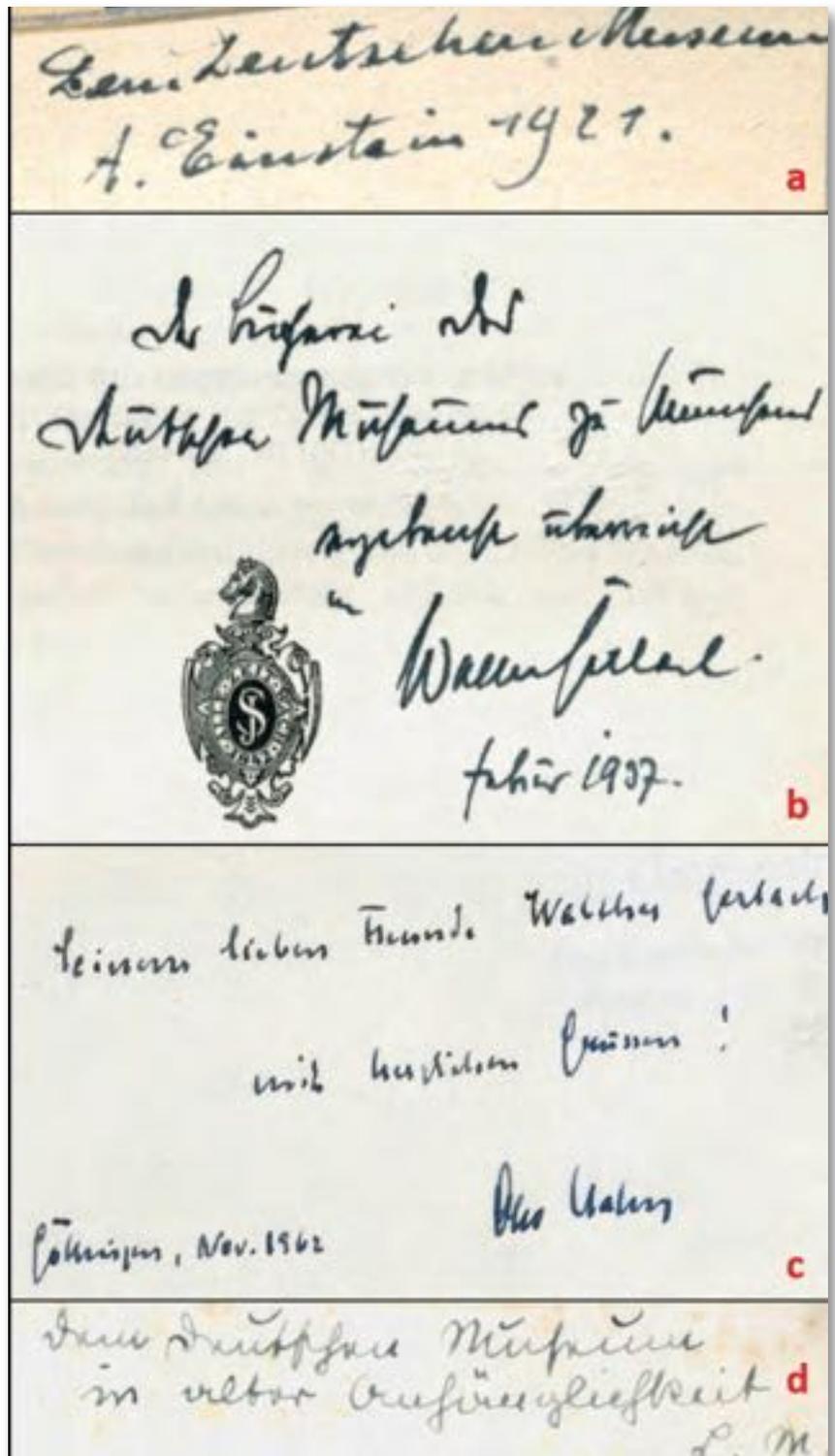


Bild linke Seite: Widmungen
bekannter Physiker:
a – Albert Einstein
b – Walther Gerlach
c – Otto Hahn
d – Lise Meitner

enzforschung bezeichnet und es gibt viele Anwendungsbereiche. Der bekannteste Fall sind die Recherchen zur Restitution von während der Zeit des Nationalsozialismus enteigneten Besitztümern.

Ein weiterer Aspekt ist insbesondere für die Bibliothek eines Forschungsmuseums von Bedeutung: Die wenigsten Stifter und Nachlassgeber hinterließen dem Museum nur Bücher oder Archivalien oder Objekte. In vielen Fällen ist es eine Mischung aus allen dreien. Durch die Kombination mehrerer Quellen lassen sich neue Erkenntnisse gewinnen. Aus der Bibliothek einer Wissenschaftlerin können beispielsweise Rückschlüsse auf wichtige Einflüsse und Inspirationen gezogen werden. Möglicherweise existieren sogar Anstreichungen in Texten, die Gedankengänge illustrieren. Und wenn die Forschenden früherer Tage sich gegenseitig ihre Veröffentlichungen zuschickten, versahen sie diese oft mit kurzen Widmungen im Buch. So lassen sich Korrespondenzen und Netzwerke rekonstruieren.

Die Provenienzforschung kann also auch einen Beitrag zur Geschichte von Wissenschaft und Technik leisten. Sie kann auch einen Einblick in das berufliche oder private Leben der Menschen geben, durch deren Hände die Bücher der Bibliothek in der Vergangenheit gingen.

Physikergrüße

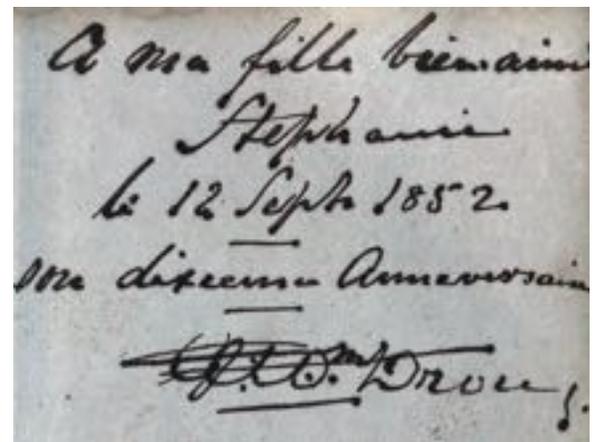
Wie erfolgreich das Werben des Deutschen Museums und insbesondere des Museumsgründers Oskar von Miller um Stiftungen war, lässt sich ziemlich gut nachverfolgen, wenn man sich eine Reihe der bekanntesten Größen der Physik des 20. Jahrhunderts vornimmt. Sucht man im Bibliothekskatalog nach Widmungen einschlägiger Namen, so wird man schnell fündig: Schon beim berühmtesten aller Physiker gibt es einen Treffer: Albert Einstein stiftete 1921 ein Exemplar seiner Veröffentlichung *Geometrie und Erfahrung* (Signatur 1929 A 3241) und schrieb kurz und knapp auf das Titelblatt: »Dem Deutschen Museum. A. Einstein 1921«. Wohl weil er auch damals schon große Berühmtheit genoss, hoben die Bibliotheksmitarbeitenden sogar seine Absenderadresse auf und klebten sie ins Buch.

Auch der Begründer der Quantenphysik, Max Planck, stiftete der Bibliothek ein Buch. In seiner 1922 erschienenen *Einführung in die Theorie der Elektrizität und des Magnetis-*



Bild oben: Exlibris der Bibliothek des Deutschen Museums mit handschriftlich ergänztem Namen des Stifters, in diesem Falle Oskar von Miller.

Bild oben rechts: Widmung George William Drorys an seine Tochter Stephanie.



mus (Signatur 1934 A 1166 (3/1)) schrieb er – immerhin ein klein wenig wortreicher als Albert Einstein: »Dem Deutschen Museum hochachtungsvoll überreicht vom Verf.«

Eine der bekanntesten Physikerinnen überhaupt, Lise Meitner, die 1939 zusammen mit Otto Frisch die erste theoretische Erklärung der Kernspaltung publizierte, kann ebenso im Bestand gefunden werden. Sie stiftete dem Deutschen Museum ein Exemplar des von ihr und ihrem Assistenten Max Delbrück verfassten Buches *Der Aufbau der Atomkerne* aus dem Jahr 1935 (Signatur 1935 A 1111), in dem sie vermerkte: »Dem Deutschen Museum in alter Anhänglichkeit. L. M.« Neben diesem Exemplar ihrer Veröffentlichung hatte Lise Meitner auf Anfragen des Museums hin schon 1926 und 1934 verschiedene Tafeln und Abbildungen zu atomaren Prozessen für die Ausstellungen gestiftet.

Auch der Nachlass des bekannten Münchner Physikprofessors Walther Gerlach befindet sich im Archiv des Deutschen Museums, wo er unter anderem für seine schwer leserliche Handschrift bekannt ist. Das von ihm an die Bibliothek gestiftete Werk *Naturwissenschaftliche Erkenntnis und ihre Methoden* (Signatur 1937 A 363), das er 1937 zusammen mit Max Hartmann veröffentlichte, ist gewidmet: »Der Bücherei des Deutschen Museums zu München ergebenst überreicht. Walther Gerlach, Frühjahr 1937.« Gerlach war lange Jahre mit dem Nobelpreisträger und Entdecker der Kernspaltung Otto Hahn befreundet. Dieser schickte Gerlach gelegentlich seine Veröffentlichun-

Zum Weiterlesen

Weitere Beispiele für schöne Widmungen in der Bibliothek findet man im Museumsblog: www.deutsches-museum.de/blog/blog-post/2020/02/07/dem-deutschen-museum-gewidmet/



gen. Über Gerlachs Nachlass sind einige davon in die Bibliothek gekommen, beispielsweise ein Exemplar des Werks *Vom Radiothor zur Uranspaltung: eine wissenschaftliche Selbstbiographie* (Signatur 2007 A 18), in das Hahn schrieb: »Seinem lieben Freunde Walther Gerlach mit herzlichen Grüßen! Göttingen, Nov. 1962. Otto Hahn.«

So finden sich also allerlei kleine Anmerkungen und Überraschungen in den Büchern der Bibliothek, von bekannten Größen der Naturwissenschaft und Technik ebenso wie von eher Unbekannten. Manche äußerten sich nur kurz, andere wiederum nahmen sich die Zeit für ausführlichere Grußworte. In ihrer Gesamtheit zeugen sie sowohl von der Vielzahl der existierenden wissenschaftlichen Netzwerke als auch insbesondere von dem beeindruckenden Netzwerk, das der Museumsgründer Oskar von Miller zu Beginn des 20. Jahrhunderts aufbaute, um das Museum in Wissenschaft und Gesellschaft zu verankern.

Familiäre Schicksale in der Firmenbibliothek

Die verschlungenen Wege, die manche Bücher nahmen, bevor sie in der Bibliothek ankamen, können beispielhaft an dem Werk *Les Étoiles Animées* von Alfred Driou (Signatur 2009 A 8019) nachvollzogen werden, das 1851 in Paris veröffentlicht wurde. Der pseudonyme Autor möchte darin Kindern die Naturwissenschaften und Technik näherbringen und schickt dazu den noch heute berühmten Physiker, Astronom und Mathematiker Pierre-Simon Laplace im Kindesalter auf eine abenteuerliche Reise, auf der er so einiges erlebt und lernt. Hinter dem Titelblatt findet man eine Widmung in brauner Tinte: »A ma fille bien-aimée / Stephanie le 12. Sept. 1852 / son dixième Anniversaire / G[eorge] W[illiam] Drory«

Übersetzt: »Für meine geliebte Tochter Stephanie, am 12. September 1852, zu ihrem 10. Geburtstag.« Der Verfasser der Inschrift, George William Drory, war ein britischer Ingenieur und Gaswerkunternehmer, der unter anderem am Aufbau der Gasversorgung in Hannover in den 1820er-Jahren beteiligt war. Seine Tochter Stephanie heiratete 1862 den berühmten Chemiker August Kekulé, starb aber bereits im darauffolgenden Jahr im Kindbett. Das Buch ging anschließend wohl in den Besitz ihres Sohnes Stephan über, denn auf der Rückseite des vorderen Einbands

Bilder v.l.n.r.:

Porträtfotografie George William Drorys.

Illustration der Uranus aus *Les Étoiles Animées*.

Porträtfotografie Rudolf Diesels.

Widmung Diesels an Prof. Dr. Rathgen im Buch *Solidarismus – natürliche wirtschaftliche Erlösung des Menschen*.

ist dessen Exlibris eingeklebt. Nach dem Tod von August Kekulé wurde das Buch zusammen mit dessen Bibliothek an die Bayer AG verkauft, die damals eine umfangreiche chemische Firmenbibliothek aufbaute. Diese wurde 2008 im Zuge der Digitalisierung aufgelöst und in Teilen an das Deutsche Museum gestiftet. So kommt im Deutschen Museum einiges wieder zusammen, was lange Zeit getrennt war – denn auch der Nachlass von August Kekulé findet sich im Museumsarchiv. Dass sich der ganze Werdegang eines Buches so vollständig nachvollziehen lässt, ist allerdings ungewöhnlich. In den meisten Fällen können bestenfalls einzelne Stationen der Vorgeschichte, meist Informationen zum direkten Vorbesitz, ermittelt werden.

Diesels Bienenstöcke

Rudolf Diesel, der berühmte Ingenieur und Erfinder des Dieselmotors studierte 1875 bis 1880 in München und lernte dort auch Oskar von Miller kennen, dem er seitdem freundschaftlich verbunden war. Insofern verwundert es nicht, dass auch der Nachlass Diesels mit vielen Schachteln voll von Korrespondenzen, Manuskripten, Patenten und ähnlichen Unterlagen im Archiv des Deutschen Museums aufbewahrt wird. Die Bibliothek Diesels wurde dagegen nicht dem Museum vermacht. Im Bestand der Bibliothek befinden sich aber verstreut einige Bücher, die Anfang 1915 bei einer Berliner Buchhandlung gekauft wurden und von dieser per Exlibris als Teil der Privatbibliothek von Rudolf Diesel gekennzeichnet wurden. Sie enthalten keine Widmungen oder andere bemerkenswerte Kennzeichnungen, geben aber einen kleinen Einblick in die Interessen Diesels: Neben Titeln zum Motorenbau und Automobilen findet sich hier auch Literatur zu Eisenbahnen, U-Booten, zur Luftfahrt und über den Planeten Mars.

Im Bibliothekskatalog ist ein einziges Buch mit einer persönlichen Widmung Diesels verzeichnet. Es handelt sich um den Titel *Solidarismus – natürliche wirtschaftliche Erlösung des Menschen* (Signatur 1941 A 1193), das Diesel 1903 veröffentlichte und laut Biografen als eine seiner größten Leistungen betrachtete. Von der ursprünglichen 10000 Stück starken Auflage verkauften sich jedoch nur wenige hundert Exemplare. Er beschreibt darin seine Theorie einer solidarisch organisierten Wirtschaft, in der

Arbeiter Finanzen, Produktion und Vertrieb der Firmen selbst genossenschaftlich organisieren. Alle würden dabei einen kleinen Beitrag in eine Volkskasse einzahlen, um damit die Betriebe – die Diesel als Bienenstöcke bezeichnete – zu finanzieren. Auf dem Titelblatt des Exemplars in der Bibliothek des Deutschen Museums schrieb er: «Herrn Prof. Dr. Rathgen, Heidelberg, überreicht vom Verfasser.»

Damit ist aller Wahrscheinlichkeit nach Karl Rathgen gemeint, ein deutscher Ökonom und Gründungsrektor der Universität Hamburg, der zum Zeitpunkt der Veröffentlichung des Buches einen Lehrstuhl in Heidelberg betreute. Es ist anzunehmen, dass er nicht der einzige Empfänger von Diesels Schrift war, sondern nur einer unter mehreren. Beim Verschenken von Büchern handelte es sich um eine zu damaligen Zeiten übliche Praxis, die der Verbreitung der eigenen Arbeit und dem Informationsaustausch diente. Auf die Isarinsel kam das Buch im November 1941, nachdem es für 15 Mark von einer Leipziger Buchhandlung erworben worden war. Wie das Buch aber von Heidelberg nach Leipzig kam, kann nicht mehr nachvollzogen werden.

Stöbern

Das Stöbern in der Bibliothek fördert Interessantes und Kurioses zutage: Ein Buch beispielsweise, in das Ferdinand Graf von Zeppelin hineinschrieb, dass eine dort über ihn getätigte Aussage nicht zutreffend sei. Oder das Werk *Libro Primo D'Architettura*, auf dessen Buchdeckel sich der Münchner Maler Franz Naager mit einem Gemälde verewigte. Ein anderer Stifter hinterließ sogar ein kleines Gedicht über die Statik in seinem Werk. Und Widmungen vieler bekannter Persönlichkeiten wie Konrad Zuse, Werner von Braun oder Ludwig Erhard findet man ebenso wie tausende von Widmungen eher unbekannter Persönlichkeiten.

Alle der Bibliothek bekannten Widmungen und Besonderheiten sind übrigens auch im Online-Katalog verzeichnet und können dort über die freie Suche (Stichwort »Widmung« bzw. »Prov« für Provenienz) recherchiert werden. Und wenn eine Leserin oder ein Leser auf eine Widmung stößt, die noch nicht im Katalog verzeichnet ist, so freut sich die Bibliothek über eine entsprechende Benachrichtigung. ■■



Neu erschienen:

Abhandlungen und Berichte, Neue Folge, Band 33: Désirée Schaub, *Nützlichkeit und Erkenntnisfortschritt. Eine Geschichte des modernen Wissenschaftsverständnisses*

484 S., geb., Schutzumschlag, ISBN 978-3-8353-3685-8 (2020), 39,90 €

Nützlichkeit und Erkenntnisfortschritt

In ihrer Geschichte des modernen Wissenschaftsverständnisses schlägt Désirée Schaub den Bogen von der frühneuzeitlichen Naturforschung hin zu den Naturwissenschaften des 20. Jahrhunderts. Dabei zeigt sich, dass die Erwartungen sich wiederholt änderten – von einem universellen Nutzenideal des 17. und 18. Jahrhunderts bis zu jenem technischen Fortschrittsversprechen, das heute bestimmend ist.

Der Aufstieg der modernen Naturwissenschaften war getragen vom Glauben, dass das Wissen über die Natur sich stetig vermehren und über kurz oder lang für Mensch und Gesellschaft als nützlich erweisen würde, dass aber ein Erkenntnisfortschritt nur dann gewährleistet ist, wenn sich Forschung nicht allein an kurzfristigen Bedürfnissen ausrichtet.

Wie diese Annahmen das Selbstverständnis und die Entwicklung der Naturwissenschaften prägten, ist Thema dieses Buchs.

Die Autorin Désirée Schaub wurde an der Universität Köln promoviert und an der TU München habilitiert. Von 2006 bis 2016 arbeitete sie am Lehrstuhl für Technikgeschichte der TUM, der am Deutschen Museum angesiedelt ist, u. a. als Dilthey-Fellow und Laura-Bassi-Stipendiatin; ihre aktuellen Forschungsschwerpunkte liegen in der interdisziplinären Wissenschafts- und Technikforschung sowie in der Begriffs- und Diskursgeschichte. Für das vorliegende Buch wurde sie von der TUM mit dem Habilitationspreis ausgezeichnet.

Mit seiner Langzeitperspektive und seinem begriffsgeschichtlichen Instrumentarium leistet der Band nicht nur einen wichtigen Beitrag zur neuzeitlichen Wissenschaftsgeschichte, sondern bietet zugleich eine historisch fundierte Grundlage für aktuelle Debatten der Wissenschafts- und Innovationspolitik. Nutzenideale ändern sich. Was bleibt, ist die Einsicht, dass sich die Naturwissenschaften nicht allein an aktuellen Bedürfnissen ausrichten sollten.

Schaub' Buch *Nützlichkeit und Erkenntnisfortschritt* steht, wie alle Bände der Reihe, im Lesesaal der Bibliothek des Deutschen Museums und kann überall im Buchhandel, wie auch im Museumsshop online oder vor Ort erworben werden.

Dorothee Messerschmid-Franzen

Deutsches Museum Nürnberg Das Zukunftsmuseum



Anfang 2021 eröffnet im Herzen der Nürnberger Altstadt eine neue Zweigstelle des Deutschen Museums: das Zukunftsmuseum. Im Folgenden soll etwas Vorfremde auf dieses neue und besondere Haus geweckt und berichtet werden, wie es dazu gekommen ist. **Andreas Gundelwein und Melanie Saverimuthu**

Plötzlich war sie da – die Idee, in Nürnberg eine Zweigstelle des Deutschen Museums einzurichten. Entstanden ist sie im Frühjahr 2014 in einem Gespräch zwischen dem damaligen Bayerischen Finanzminister Dr. Markus Söder und dem Generaldirektor des Deutschen Museums, Prof. Dr. Wolfgang Heckl. Und es blieb nicht bei der Idee – im Rahmen der 2014 vom Bayerischen Kabinett beschlossenen Nordbayern-Initiative der Staatsregierung waren auch rasch politische Unterstützung und finanzielle Mittel für das Projekt verfügbar. Am Anfang konnte es niemand recht glauben, dass diese Idee Realität werden würde – trotzdem machten wir uns an die Arbeit.

Die zentrale Frage war, was diese neue Zweigstelle ausmachen, was sie zeigen und wie sie sich vom Haupthaus und den anderen Zweigstellen unterscheiden – und dabei natürlich möglichst nahtlos in die Nürnberger Museumslandschaft und das Portfolio des Deutschen Museums einfügen – sollte. Nach reiflichen Überlegungen standen dann Ende 2014 die grundlegende Idee und 2015 die zugehörige Konzeptskizze fest. Im gleichen Jahr begann auch bereits

die Suche nach einem geeigneten Standort, der schließlich mit dem Augustinerhof in Nürnberg gefunden und nach längeren Verhandlungen und Planungen 2017 mit Verträgen zwischen Deutschem Museum, dem Freistaat Bayern und dem Investor dingfest gemacht wurde. Es folgte der erste Spatenstich und 2018 die Grundsteinlegung. Im Frühjahr 2019 wurde Richtfest gefeiert und Ende 2019 der »veredelte Rohbau« an das Deutsche Museum übergeben.

Ziele und Konzept – was wird gezeigt?

Rasch war entschieden, in Nürnberg das bereits bestehende Themenportfolio des Deutschen Museums aus Technikgeschichte und aktuellen Technologien, um einen neuen Aspekt zu erweitern – Technologien der Zukunft.

Seit jeher besteht eine große Faszination für die Zukunft, auch wenn sich die Methoden, um einen »Blick in die Zukunft« zu werfen, über die Jahrhunderte verändert haben. Statt des großen Orakels der Antike, statt Kristallkugel oder Kaffeesatz, versuchen wir heute, durch Wettervorhersagen, Wahlprognosen oder Foresight-Analysen die

Zukunft vorherzusagen und Trends zu erkennen. Was bei all der neuen Methodik sicher ist: Die eine Zukunft gibt es nicht. Daher verzichtet das Zukunftsmuseum bewusst auf die Verwendung von klar definierten Zeithorizonten und schafft so Raum zur Darstellung von Zukunft als undefiniertem, offenem und von allen gestaltbarem Möglichkeitsraum bzw. »Zukunfts(t)raum«. Das Museum wird zum Ort, an dem verschiedene Zukünfte erfahr- und erlebbar werden.

Zukunft erlebbar machen

Das Thema »Zukunft« ist für ein Museum schwierig und teilweise widersprüchlich. Um es für das Medium Ausstellung greifbar zu machen, wurde als Grundlage für das Konzept die Frage »Science or Fiction?« formuliert. Durch diese Fragestellung erweitert sich die Auswahl möglicher Exponate; neben Prototypen aus den Forschungslaboren finden auch Visionen aus der Science-Fiction ihren Platz. Zugleich bietet sie ein Grundelement für die räumliche Gestaltung der Ausstellung. Durch diese Gestaltung kommt es, im wahrsten Sinne des Wortes, zu einer Gegenüberstellung von Wissenschaft und Fiktion. Auf der »Science«-Seite befinden sich aktuelle Innovationen und Prototypen aus den unterschiedlichsten Technikbereichen. Zeitgleich werden hier auch ihre Funktionsweisen sowie technischen und naturwissenschaftlichen Grundlagen durch eigens hierfür entwickelte Demonstrationen vermittelt. Der »Science«-Bereich ist somit der Teil der Ausstellung, der klassische museale Aspekte mit Science-Center Elementen kombiniert.

Die »Fiction«-Seite steht der »Science«-Seite direkt gegenüber und bildet das emotionale Komplementär. Vergangene und aktuelle Zukunftsvisionen, Utopien und Dystopien sowie Hoffnungen und Ängste finden sich hier wieder. Sie öffnen den Blick für mögliche zukünftige Konsequenzen, die aus dem Einsatz der auf der »Science«-Seite präsentierten Technologien resultieren könnten. Popkulturelle Elemente (Science-Fiction-Filme und -Bücher sowie -Kunst) sowie eigens entwickelte Stationen zu ethischen Fragestellungen stehen im »Fiction«-Bereich im Mittelpunkt und vermitteln durch visuelle, akustische, haptische und olfaktorische Eindrücke die emotionale Seite der »Zukunftstechnologien«. Durch diese Gegenüberstellung entsteht ein einzigartiges Spannungsfeld mit provokanten Fragen und herausfordernden interaktiven Stationen, welche die Besucher zum Nachdenken anregen sollen. Zugleich bietet das Spannungsfeld zwischen Science und Fiction die Möglichkeit, Stellung zu beziehen, eigene Standpunkte zu entwickeln oder zu überdenken sowie gemeinsam zu diskutieren.

Um auch der wissenschaftlichen Disziplin der Zukunftsforschung ihren Raum im Zukunftsmuseum zu geben, wurde ein der Ausstellung übergeordnetes Spiel entwickelt, welches sich der Methoden der Zukunftsfor-



2018 erfolgte die Grundsteinlegung (Bild oben) und bereits ein Jahr später konnte das Richtfest gefeiert werden (Bild unten).

sung bedient und diese in spielerischer Weise der Öffentlichkeit präsentiert. Die Besucherinnen und Besucher werden selbst zu Zukunftsforschern und bewerten, ähnlich der Delphi-Analyse, die Zukunftsfähigkeit gezeigter Technologien. Zeitgleich werden sie zum Gestalter ihrer eigenen Zukunft und entscheiden selbst, welche Technologie sie einsetzen wollen und welche nicht. Angelehnt an die Szenariotechnik erhalten sie dadurch am Ende des Spiels ihre eigene Zukunftswelt, in ihrer utopischen als auch dystopischen Ausführung – den zwei Seiten einer Medaille.

Darüber hinaus wird ihnen die Möglichkeit geboten, eigene Zukunftsentscheidungen mit denen anderer zu vergleichen. Die Besucher werden durch die Ausstellung und das Spiel mit dem gesamten breiten Spektrum möglicher Erwartungen konfrontiert und eingeladen, ihre eigenen Zukunfts(t)räume zu überdenken und zu gestalten. Ziel ist ein breiter gesellschaftlicher Diskurs und die fortlaufende Auseinandersetzung mit neuen Technologien und ihren Folgen – sowie eine Rückkopplung in die Forschung und Entwicklung, mithin ein echter Dialog. Das ist in dieser Form ein weltweit neuer Ansatz für ein Technikmuseum und eine spannende Herausforderung.

Ausgehend von oben beschriebener Grundstruktur des Hauses wurden fünf besonders zukunftsrelevante Themenfelder identifiziert, unter denen sich wichtige erwartbare technologische und daraus resultierend gesellschaftliche Veränderungen der kommenden Jahrzehnte zusammenfassen lassen. Diese Themenfelder beginnen im sehr persönlichen Lebensumfeld des Einzelnen wie »Arbeit und Alltag« und »Körper und Geist«, erweitern dann den Blickwinkel auf ein größeres Umfeld, das »Stadt Leben« und noch weiter auf das globale Feld: »Planet Erde«. Sie münden schließlich beim weiterhin aktuellen Traum der Menschheit von »Raum und Zeit«, der Eroberung des Weltraums und dem Verständnis des Universums.



Der Themenbereich »Arbeit und Alltag« beschäftigt sich mit der immer weiter fortschreitenden Digitalisierung unserer gesamten Lebenswelt. Dabei wird ein besonderes Augenmerk auf die Zukunft und Bedeutung der Robotik gelegt, angefangen mit der Präsentation neuester Industrierobotik über Kollaborative Robotik bis hin zur Pflegerobotik, zeigt sich hier deutlich der Übertritt der Maschine von der Arbeit in den Alltag. Ebenfalls besprochen und demonstriert werden Funktionsweise und Einsatzorte der künstlichen Intelligenz. Auch das Internet mit seiner unendlichen Reichweite, den damit einhergehenden neuen Formen der Kommunikation und Geschäftsmodellen darf an dieser Stelle nicht fehlen. All diese technischen Neuerungen erleichtern uns die Arbeit und dennoch sind sie immer von der Frage begleitet »Wie viel Technik wollen wir in unserem Leben – und wo?«

Im Themenfeld »Körper und Geist« treffen Besucherinnen und Besucher auf Technik in und an unseren Kör-

Bild oben: Visualisierung der Ausstellungseinheit »Urbanes Leben«.

Bild unten: Blick in die künftige Ausstellung »Arbeit und Alltag«.

pern. Es werden verschiedenste Formen von Messgeräten, Prothesen und Implantaten gezeigt, die helfen, unsere körperlichen Grenzen zu überwinden, oder auch biotechnologische Entwicklungen, die ein gesünderes und längeres Leben versprechen – aber unter welchen Bedingungen und mit welchen Folgen für die Menschheit?

»Stadt Leben« beschäftigt sich mit einem Thema, das bereits seit Jahrhunderten Projektion für Zukunftsvisionen ist: Architektonische Wunderwerke stehen hier ebenso im Mittelpunkt wie gesellschaftliche Notwendigkeiten, Fantastereien unter Wasser und im Luftraum zeigen das breite Spektrum des Denkbaren. Hinzu kommt das Thema Mobilität in Städten, angefangen beim Fahrrad, über Elektromobilität bis hin zum fliegenden Auto und Visionen wie Hyperloop und CargoCap ist alles dabei. Alles für sich großartige Ideen – doch wie verbindet man all diese Einzelteile so, dass sich am Ende alle in der Stadt wohlfühlen? Lösungen für die Städte sind das eine, es braucht aber auch Lösungen für das »System Erde« als Ganzes. Wie sensibel und perfekt aufeinander abgestimmt das komplexe System Erde ist, zeigt ein riesiger Globus von drei Metern Durchmesser, der sich im Luftraum über dem Themenbereich befindet. Darauf abgebildet sind die gegenseitigen Abhängigkeiten der verschiedenen Teilsysteme des Planets Erde, von Luft- und Meeresströmungen, Pflanzenbedeckungen und menschlichen Eingriffen zu finden.

Sollte die Rettung der Erde scheitern, bleiben gemäß der Science-Fiction-Literatur Möglichkeiten für Kolonien auf fremden Planeten als Alternative. Mit diesen Ideen setzt sich das Themenfeld »Raum und Zeit« auseinander. Oder ist die Erforschung des Alls nicht doch am Ende immer die Erforschung unseres Planeten – sind wir überhaupt bereit und in der Lage, unter den lebensfeindlichen Bedingungen des Weltalls zu leben? Welchen Einfluss alleine Schwerelosigkeit auf unterschiedlichste Materialien hat, zeigt ein im dritten Stock des Zukunftsmuseums startendes und im Erdgeschoss endendes Fallrohr, in dem für verschiedene Experimente für rund eine Sekunde lang Schwerelosigkeit erzeugt wird. Dieses Fallrohr kann von den Besucherinnen und Besuchern bedient und der Vorgang über eine Kamera beobachtet werden – ein bislang weltweit einmaliges Besucherexperiment.

Das Herzstück des Hauses bildet das »Forum« im ersten Stock: Hier beginnt und endet nicht nur jeder Ausstellungsbesuch. Hier findet auch die erste Einführung in die wissenschaftliche und faszinierende Thematik der »Zukünfte« statt. Darüber hinaus erhalten Besucher im Forum ihre selbst gestaltete, utopische und dystopische Zukunftswelt aus dem übergeordneten Spiel. Anknüpfend an diese Auswertung wird das Forum zum Ort des Zukunftsdiskurses durch eine permanente, moderierte Diskussion mit den Besuchern zu den aus dem Spiel generierten Dilemmata aus Utopie und Dystopie sowie den in den Themenbereichen herausgearbeiteten ethischen Aspekten

von Technologieinsatz. Ergänzt wird dieses Ausstellungsensemble durch drei Besucher- und Mitmach-Labore, eine virtuelle Arena und eine Bibliothek mit umfangreichem analogen und digitalen Lesestoff zum Thema.

Zukunftsorientiert durch Netzwerke

Allerdings hatte das Konzept von Beginn an einen »kleinen Haken«: Ausstellungen in Museen brauchen Objekte und Exponate. Diese stammen üblicherweise aus den Sammlungen der Museen. Im vorliegenden Fall verfügt aber weder das Deutsche Museum noch irgendein anderes Museum weltweit über eine Sammlung von »Zukunftsobjekten«. Die Lösung dieses Problems ist, dass wir in Nürnberg Prototypen, also ausgewählte »Technologien in der Entwicklung«, ausstellen. Auch über diese verfügt das Deutsche Museum nicht – aber Forschungseinrichtungen und Entwicklungslabore der Industrie. Daher wurde parallel zu den inhaltlichen und baulichen Planungen ein Netzwerk von Partnern in Industrie und Wissenschaft aufgebaut, die Prototypen und Exponate für das neue Museum beisteuern. Dieses partnerschaftliche Netzwerk ist auf Dauer angelegt, denn die Unterstützung ist nicht nur einmalig zur Eröffnung, sondern fortlaufend erforderlich: Wenn das Konzept des »Zukunftsmuseums« nicht innerhalb kurzer Zeit veraltet und überholt sein soll, muss es sich permanent erneuern und weiterentwickeln.

Mit der Einbindung der Partner aus Forschung und Entwicklung alleine war es nicht getan. Um vor Ort eine gute Anbindung an wichtige Akteure zu haben und das Konzept in der Entstehung zu testen und zu modifizieren, wurde eine breite, projektbegleitende Beteiligung durch enge Zusammenarbeit mit Schulen, Vereinen, Kultureinrichtungen und Öffentlichkeit in unterschiedlichen Formaten ermöglicht. Am Ende dieses Prozesses steht ein »Museum der Technik-Ethik« mit einer einzigartigen Kombination aus innovativer Ausstellung, begleitenden Programmen, auf die Ausstellung und die Bedürfnisse wichtiger Stakeholder ausgerichteten Laboren als außerschulische Lernorte und einem ambitionierten Dialoganspruch, der sich in der Praxis bewähren muss.

Sind Zukunftsfragen exklusiv?

Weltweit gibt es nur wenige Häuser, die sich explizit mit Zukunftsthemen auseinandersetzen. Bereits ein »Klassiker« ist das Miraikan in Tokio, das 2001 eröffnet wurde und im Stile eines Science-Centers modernste Technologien insbesondere aus dem Bereich Robotik und Automatisierung zeigt. 2014 kam mit dem Museu do Amanha in Rio de Janeiro ein weiteres Haus hinzu. Hier geht es um große Fragen der Menschheit, vom Klimawandel bis hin zur Bevölkerungsentwicklung. Diese werden vor allem in aufwendigen Medieninstallationen vermittelt. Das Museum of the Future in Dubai soll im kommenden Jahr eröffnen. Hier werden gemäß Konzept ebenfalls moderne Techno-



Entwurf des Ausstellungs-bereichs »System Erde«.

logien gezeigt. Dabei wird es einen starken Industriefokus geben und ethische Aspekte spielen keine zentrale Rolle. Im Herbst 2019 wurde das vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) geförderte Futurium in Berlin eröffnet. Das Futurium versteht sich als »Haus der Zukünfte« und zeigt in Zusammenarbeit mit Industrie und Wissenschaftseinrichtungen unterschiedliche Zukunftsentwürfe und mögliche Lösungen der Wissenschaft für aktuelle Probleme.

Das Zukunftsmuseum in Nürnberg liegt mit seinem Konzept zwischen diesen verschiedenen Entwürfen und nimmt eine Sonderrolle ein. Als Museum ist es sehr stark exponatbasiert und entwickelt seine Ausstellung aus Objekten heraus und um Objekte herum. In der Tradition des Deutschen Museums steht das Verständnis von gezeigten Technologien mittels Experimenten im Mittelpunkt, womit klassische Elemente eines Science-Centers aufgegriffen werden. Einzigartig ist die Verbindung mit Science-Fiction-Elementen und damit verbunden die Fokussierung auf ethische Aspekte von Technologie – bis hin zu dem Versuch, eine permanente Diskussion über diese Fragen im Forum des Hauses zu etablieren. Ob und wie dieses gelingt, ist ein Experiment mit offenem Ausgang.

Stand der Arbeiten

Aktuell erfolgen unter der Regie des Deutschen Museums der Innenausbau und nachfolgend die Einrichtung und Bestückung der neuen Ausstellungen und Labore. Nach Fertigstellung der Fußbodenbeschichtung und Installation der Beleuchtung werden ab Herbst 2020 die Ausstellungsmöbel und -vitrinen aufgebaut und nachfolgend die Exponate eingebracht. Aufgrund der Corona-Pandemie sind alle Prognosen mit Vorsicht zu genießen. Ziel bleibt trotzdem, die Pforten des neuen Hauses zu Beginn des Jahres 2021 für die Besucher zu öffnen – und dann wird es heißen: »Welcome to the future!« ■■



Ausstellungsbereich
»System Erde« im
Deutschen Museum in
Nürnberg.

Das Museum der Zukunft

Nach Vergangenheit und Gegenwart wagt das Deutsche Museum jetzt einen Blick in die Zukunft der Menschheit. In Nürnberg wird derzeit ein Museum fertiggestellt, das künftige Szenarien zur Diskussion stellt, technische Entwicklungen weiterdenkt und die Besucherinnen und Besucher auffordert, zu schauen, zu staunen und mitzureden. Wir laden Sie zu einem Gang durch das neue Museum ein, sprechen mit den Macherinnen und Machern und stellen Ihnen besonders spannende »Ecken« en detail vor.

Das nächste Heft erscheint im März 2020 – wenn Ihnen die Zeit bis dahin lang wird, schauen Sie doch mal unter deutsches-museum.de ins Internet. Ganz zukunftsorientiert experimentiert das Deutsche Museum hier mit neuen, nutzungs-freundlichen Formaten. Lassen Sie sich überraschen.

Kommen Sie gut und gesund durch den Rest des Jahres, wünscht Ihnen

Sabrina Landes

Im »Forum« kann
über Fragen der
Zukunft debattiert
werden.



Impressum

Das Magazin aus dem Deutschen Museum

44. Jahrgang

Herausgeber: Deutsches Museum München
Prof. Dr. Wolfgang M. Heckl
Museumsinsel 1, 80538 München
Postfach 80306 München
Telefon (089) 21 79-1
www.deutsches-museum.de

Gesamtleitung: Dr. Kathrin Mönch (Deutsches Museum)
Dr. Stefan Bollmann (Verlag C.H.Beck, verantw.)
Wissenschaftliche Beratung: Dr. Christian Sicka

Redaktionsleitung: Sabrina Landes | publishNET, Kafka-
straße 10, 81737 München, redaktion@publishnet.org
Grafik: Birgit Schwintek; Korrektorat: Andrea Bistrich; Bild-
redaktion: Inge Kraus

Verlag: Verlag C.H.Beck oHG, Wilhelmstraße 9, 80801 Mün-
chen; Postfach 400340, 80703 München, Telefon (089)
3 81 89-0, Telefax (089) 3 81 89-398, www.chbeck.de

Redaktioneller Beirat: Dr. Frank Dittmann (Kurator
Energietechnik, Starkstromtechnik, Automation), Gerrit
Faust (Leiter Presse- und Öffentlichkeitsarbeit), Melanie
Jahreis, Dr. Kathrin Mönch (Verlagsleitung), Dr. Christian
Sicka (Kurator Astronomie, Planetarium, Atomphysik, Zeit-
messung), Prof. Dr. Elisabeth Vaupel (Forschungsinstitut)

Herstellung: Bettina Seng, Verlag C.H.Beck oHG

Anzeigen: Bertram Mehling (verantw.), Verlag C.H.Beck
oHG, Anzeigenabteilung, Wilhelmstr. 9, 80801 München;
Postfach 400340, 80703 München; Disposition, Herstellung,
Anzeigen, technische Daten: Telefon (089) 3 81 89-604, Tele-
fax (089) 3 81 89-589. Zurzeit gilt Anzeigenpreisliste Nr. 36.

Repro: Rehbrand Medienservice GmbH, Hauptstraße 1,
82008 Unterhaching

Druck, Bindung und Versand: Holzmann Druck GmbH &
Co. KG, Gewerbestraße 2, 86825 Bad Wörishofen

Bezugspreis 2020: Jährlich 29,- Euro
Einzelheft 8,90 Euro, jeweils zuzüglich Versandkosten

Weitere Informationen: Deutsches Museum, Mitglie-
derservice, Museumsinsel 1, 80538 München, Telefon
(089) 21 79-310, mitgliederinfo@deutsches-museum.de,
www.deutsches-museum.de/mitgliederservice

Für Mitglieder der Georg-Agricola-Gesellschaft zur För-
derung der Geschichte der Naturwissenschaften und der
Technik e.V. ist der Preis für den Bezug der Zeitschrift im
Mitgliedsbeitrag enthalten. Weitere Informationen: Georg-
Agricola-Gesellschaft, Institut für Wissenschafts- und Tech-
nikgeschichte, TU Bergakademie Freiberg, 09596 Freiberg,
Telefon (03731) 39 34 06

Bestellungen von Kultur & Technik über jede Buchhand-
lung und beim Verlag. Abbestellungen mindestens sechs
Wochen vor Jahresende beim Verlag.

Abo-Service: Telefon (089) 3 81 89-679

Die Zeitschrift erscheint vierteljährlich. Sie und alle in
ihr enthaltenen Beiträge und Abbildungen sind urhe-
berrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der
engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes bedarf der
Zustimmung des Verlags. Der Verlag haftet nicht für un-
verlangt eingesandte Beiträge und Bilddokumente. Die
Redaktion behält sich vor, eingereichte Manuskripte zu
prüfen und ggf. abzulehnen. Ein Recht auf Abdruck be-
steht nicht. Namentlich gekennzeichnete Beiträge geben
nicht die Meinung der Redaktion wieder.
ISSN 0344-5690

 myclimate klimaneutral produziert
www.chbeck.de/nachhaltig

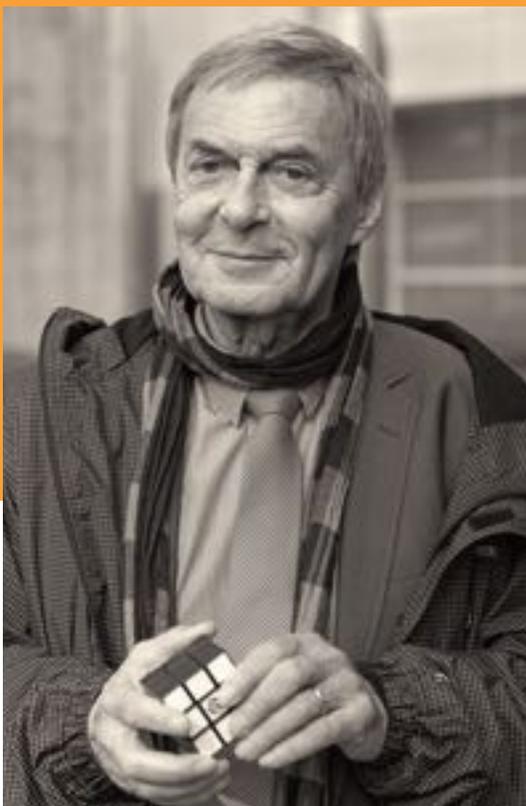
«In diesem Buch geht es um Rätsel.
Es geht um das Rätsel meiner selbst.
Es geht um das Rätsel dieses merkwürdigen Objekts,
das ich vor bald 50 Jahren erfunden habe.
Und es geht um das Rätsel von uns allen.»

Ernö Rubik

Er war das Kultobjekt der 80er Jahre: der Zauberwürfel, auch «Rubik's Cube» genannt. Und bis heute ist sein Bann ungebrochen. Jeder siebte Mensch auf der Welt hat mit ihm gespielt, das sind über eine Milliarde Menschen. Unzählige Bücher sind bereits über ihn geschrieben worden. Doch einer hat bisher geschwiegen: der Erfinder, Ernő Rubik. Nun legt er selbst ein Buch vor und erzählt vom Zauberwürfel und seiner Welt.



Aus dem Englischen von Andreas Wirthensohn | 215 Seiten | 8 Illustrationen | Gebunden
€ 19,95[D] | € 20,60[A] | ISBN 978-3-406-75572-9





„La Lorgnette Pittoresque“ früher
konischer Blechbetrachter, um 1849
Schätzpreis: 1.800 – 3.000 €



Großer
Elektromagnetischer
Motor mit Geissler-
Röhre, um 1900
Schätzpreis:
800 – 1.200 €

Seidel ST-726-GL
Sternmotor, um 1999
Schätzpreis:
1.000 – 1.500 €



Frederic Ives
„Parallax Stereogram“, c. 1902-1905
Schätzpreis: 1.400 – 3.000 €

157. Spezial-Auktion

»Photographica & Film« »Büro-Antik« »Wissenschaft & Technik«

30./31. Oktober 2020



Schweizerischer Bahnhofautomat mit
Figuren, Trommel und Glocken, um 1890
Schätzpreis: 16.000 – 18.000 €



Original NWDR / WDR Rundfunk-Interviewtisch, Funkhaus Köln, um 1952
Schätzpreis: 1.000 – 2.000 €



Schwarzwälder Stockuhr mit
Figurenautomaten, um 1890
Schätzpreis: 4.000 – 5.000 €



Standspieluhr „Fidelio“, ab 1895
Schätzpreis: 10.000 – 14.000 €

Noctilux-M 1:1 / 50mm,
Typ 11821, 1982
Schätzpreis: 4.000 – 6.000 €



Leica IIIg mit Leicavit
und Summarit-Objektiv
Schätzpreis: 1.200 – 1.600 €

Musik-Puppenautomat
„der Affen-Künstler“ mit Uhr,
Frankreich, um 1885
Schätzpreis: 5.000 – 6.000 €



Bodenstanduhr mit Carillon und
Mondphase von J. Friedrich Steen, um 1800
Schätzpreis: 12.000 – 15.000 €



...und vieles mehr!

Weitere Informationen unter www.Breker.com / **New Highlights**
und youtube.com/auctionteambreker

Voll-illustrierter 2-sprachiger (deutsch/englisch) **FARB-Katalog:** € 28,- • Lieferung nur gegen Vorkasse
(Scheck, Bar oder Kreditkarten mit Sicherheitsnummer „CVV“ und Verfalldatum: Mastercard / Visa / AmEx)

☛ **Einlieferungsschluss: 1. September 2020** ☛

AUCTION TEAM BREKER

Die Spezialisten für »Technische Antiquitäten«

Postfach 50 11 19, 50971 Köln * Tel.: +49-2236-38 43 40 * Fax: +49-2236-38 43 430
Otto-Hahn-Str. 10, 50997 Köln (Godorf) * e-mail: Auction@Breker.com * Geschäftszeiten: Di – Fr 9 – 17 Uhr

UNSERE INTERNATIONALEN REPRÄSENTANTEN

U.S.A.: Andrew Truman, Tel. (207) 485 8343 * AndrewAuctionTeamBreker@gmail.com

Australien & Neuseeland: P. Bardenheier, (NZ), Tel./Fax (+64) (0)9 817 72 68 * dbarden@orcon.net.nz

Japan: Murakami Taizou, Tel./Fax (06) 68 45 86 28 * murakami@ops.dti.ne.jp • **China:** Jiang Feng, Tel. 138 620 620 75 * jiangfengde@gmail.com

Hongkong, Taiwan, Singapur: Alex Shih-Chieh Lin, (HK), Tel. (+852) 94 90 41 13 * alexclin@gmail.com

England: Tel. +49 (0) 176 991 40593 * AuctionTeamBrekerUK@outlook.de • **Frankreich:** Pierre J. Bickart, Tel. (01) 43 33 86 71 * AuctionTeamKoln@aol.com

Russland: Maksim Suravegin, Tel. +7 903 558 02 50 * Maksim-ATB.ru@gmx.net

invaluable
The world's premier auctions and galleries

liveauctioneers