

Von der Sonnenuhr zur Atomuhr

Eine kurze Geschichte der Zeitmessung

von Stefanie Hense



Im alten Ägypten waren die Stunden im Winter kürzer als im Sommer. Heute sind moderne Atomuhren so präzise, dass sie in zehn Milliarden Jahren nur maximal eine Sekunde falsch gehen.

Schon im Altertum hatten Menschen das Bedürfnis, die Zeit zu erfassen: sei es anhand von Kalendern, die für kultische Handlungen, im Ackerbau und im Handel verwendet wurden, sei es anhand von Uhren, die jeden Tag in mehrere Abschnitte gliederten. So bauten sich die alten Ägypter Sonnenuhren, die einen Tag – die Zeit zwischen Sonnenaufgang und Sonnenuntergang – in zwölf Stunden einteilten. Diese »Stunden« waren im Sommer entsprechend länger als im Winter und ließen sich überdies bei Dunkelheit und bei Regen nicht ablesen.

Um 1500 v. Chr. lösten die Ägypter dieses Problem durch die Erfindung der Wasseruhr: Sie bestand im Wesentlichen aus einem wassergefüllten Gefäß, durch dessen Boden das Wasser heraustropfte. Mithilfe von Markierungen an der Gefäßwand ließ sich dann ablesen, um wie viel der Wasserspiegel gesunken und damit wie viel Zeit vergangen war. Eine andere Möglichkeit der Zeitmessung stellte im Mittelalter das Abbrennen spezieller Kerzen dar. Für gleiche Kerzen ist der Materialverlust proportional zur Brenndauer.

Sonnen-, Wasser- und Kerzenuhren haben eines gemeinsam: Es sind sogenannte Elementaruhren, die unter Nutzung der Elemente oder astronomisch die Zeit messen. Sie sind allerdings Störeinflüssen unter-

worfen. Das Bedürfnis nach exakter und reproduzierbarer Zeitmessung trieb die Entwicklung mechanischer (später: elektrischer) Uhren voran. Zentrales Element sind darin stets ein künstlich erzeugtes, periodisches Ereignis sowie eine Zähl- und Anzeigevorrichtung, etwa Zeiger und Zifferblatt.

Außerdem benötigt eine Uhr Energie, die sie antreibt. Bei den Turmuhren des Spätmittelalters stammte diese Energie noch von einem Gewicht, das allmählich absinkt. Später wurde sie beim Wechselspiel von Spannung und Entspannung einer spiralförmigen Feder beziehungsweise bei der Schwingung eines Pendels freigesetzt. Allerdings arbeiten auch aufwendig konstruierte Federuhren nur auf mehrere Minuten pro Tag genau. Durch die Erfindung der Pendeluhr Mitte des 17. Jahrhunderts konnte die Genauigkeit dann um ein Vielfaches gesteigert werden: auf eine wöchentliche Gangabweichung von ungefähr einer Minute. Der um 1500 entwickelte Minuten- und der 1673 durch den Niederländer Christiaan Huygens konstruierte Sekundenzeiger erlaubten es zudem, von dieser Präzision auch im täglichen Betrieb zu profitieren, bei der Navigation auf See ebenso wie in der beginnenden Industrialisierung des 18. Jahrhunderts.

An der Schwelle des 20. Jahrhunderts begann die Ära der Präzisionszeitmesser: mit dem Bau einer Pendeluhr, deren Gang nur noch um eine Zehntelsekunde pro Tag abwich. Sie befand sich zum Teil im Vakuum, damit ihr gleichmäßiger Gang nicht durch Luftdruckschwankungen verfälscht wurde. Diesen Kunstgriff wandte auch der englische Ingenieur William Shortt zu Beginn der 1920er Jahre an, ging dabei allerdings noch ein Stück weiter, indem er die Abweichung auf rund eine Sekunde pro Jahr reduzierte. In einem evakuierten Tank betrieb er als Referenz eine Pendeluhr, die keine eigenen Zeiger besaß und daher kaum noch mechanischen Störungen unterlag. Über Funk kommunizierte die Referenz-Uhr mit einer zweiten Pendeluhr, die dann die Zeit anzeigte. Alle dreißig Sekunden synchronisierte Shortt sie mit der ersten Uhr.

Für mechanische Uhren war damit die maximal mögliche Präzision erreicht. Noch weiter wurde sie erst gesteigert, als die deutschen Physiker Adolf Scheibe und Ulrich Adelsberger 1932 die Quarzuhr entwickelten. Deren Herzstück ist ein Quarz (Piezokristall), dessen positiv und negativ geladene Atome durch Anlegen einer äußeren Wechselspannung pro Sekunde rund 33000-mal gegeneinander schwingen; der Gangfehler einer Quarzuhr beträgt nur noch etwa 200 Mikrosekunden pro Tag.

Heutzutage gehören Quarz-Funkuhren zum Alltag: Batteriebetriebene Quarzuhren werden über Funk nachreguliert und auf die gesetzliche Zeit der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt (PTB) eingestellt. Um diese festzulegen, betreibt die PTB verschiedene Atomuhren. In einer »klassischen« Cäsium-Atomuhr werden Cäsium-Atome in einem Ofen verdampft und durch die Einstrahlung von Mikrowellen dazu gebracht, in einen höheren Energiezustand zu wechseln. Gemäß internationaler Definition wurde eine Sekunde 1967



festgelegt als »das 9192631770-fache der Periodendauer der Strahlung, die dem Übergang zwischen den beiden Hyperfeinstrukturniveaus des Grundzustandes von Atomen des Nuklids ^{133}Cs entspricht«.

Die Übergangsenergie, die möglichst genau bestimmt und konstant gehalten werden muss, ist umgekehrt proportional zur gesuchten Periodendauer. Nach diesem Prinzip funktionieren die beiden ältesten Atomuhren der PTB (1969 und 1986 in Betrieb genommen). Daneben betreibt die PTB die entscheidend weiterentwickelten Cäsium-Fontänen (1999 und 2010 in Betrieb genommen): Unter dem Einfluss von Laserkühlung bewegen sich ihre Cäsium-Atome wesentlich langsamer. Folglich sind sie länger unter dem Einfluss der Mikrowellenstrahlung, die umso besser auf die Übergangsenergie abgestimmt werden kann.

Noch 100-mal genauer kann die Zeit mithilfe des Übergangs in einer Ytterbium-Einzelionenuhr gemessen werden, der mithilfe einer noch schnelleren Schwingung bestimmt wird: mit der elektromagnetischen Schwingung des sichtbaren Lichts. Diese Uhr, die dementsprechend auch optische Uhr genannt wird, geht in 10 Milliarden Jahren um maximal eine Sekunde falsch. Zum Vergleich: Die Erde ist gerade einmal 4,5 Milliarden Jahre alt. ●

Zwei der vier primären Atomuhren bei der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt (PTB).

Die Autorin

Dr. Stefanie Hense, 46, ist freie Wissenschaftsjournalistin. Sie studierte Physik in Marburg und promovierte in Karlsruhe. Die ehemalige FAZ-Redakteurin schreibt für das Uni-Journal der Philipps-Universität Marburg, den UniReport der Goethe-Universität und das Wissenschaftsmagazin »LookKIT« des Karlsruher Instituts für Technologie.

stefanie_hense@web.de