

Die Meister der Zeit

In Braunschweig ticken die genauesten Atomuhren der Welt – nun geht es in die Quantenwelt

VON BRIGITTE RÖTHLEIN

Wenn an Silvester die Champagnerkorken knallen, kommt es auf ein paar Sekunden hin oder her nicht wirklich an. Ganz anders bei der offiziellen Zeitnahme: Da muss das neue Jahr so exakt wie möglich anfangen, und zwar überall auf der Welt, damit die internationale Kommunikation funktioniert.

Auch für GPS-Navigation, Astronomie, Raumfahrt und Erdvermessung ist es wichtig, dass die Zeit auf Milliardstel Sekunden genau global abgestimmt ist. Ein deutsches Institut hat dabei ein wichtiges Wort mitzureden: die Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB) in Braunschweig.

Uhren sind Statussymbole. Früher galt der Mann von Welt als wohlhabend, wenn er eine dicke französische Taschenuhr, eine Zwiebel, aus der Westentasche hervorzog, heute zeigt die edle Armbanduhr am Handgelenk, dass man zu denen gehört, die sich etwas leisten können. Und beispielsweise die Zytglogge am Berner Stadttor oder der Londoner Big Ben sind Touristenattraktionen und berühmte Zeitgeber für ihre Stadt.

Auch die Nationen haben ihre Vorzeig-Uhren. Sie sind ausschlaggebend dafür, welche Position das Land in der wissenschaftlichen Gemeinschaft der Metrologen einnimmt und welche Rolle es spielt bei der internationalen Festsetzung und Kontrolle der Zeit. Die deutschen Spitzenuhren findet man in der Braunschweiger Bundesanstalt. Dort, in der sorgfältig von der Umwelt abgeschirmten Uhrenhalle, leben drei Generationen von Uhren unter einem Dach.

„Leben“ ist hier das richtige Wort, obwohl es sich natürlich nur um Gegenstände handelt. Aber die Braunschweiger Uhren leben in zweierlei Hinsicht: Erstens arbeiten sie unermüdlich, und zwar sehr genau, und zweitens werden sie von ihren Betreuern ständig weiterentwickelt, verbessert und verfeinert. Ein unaufhörlicher Reifeprozess ist das, der dazu führt, dass die Zeitmessung immer zuverlässiger und genauer wird.

„Eine große Ehre“

Drei offizielle Atomuhren der PTB trugen bisher zur Berechnung der amtlichen Weltzeit bei. Am 16. Dezember 2009 kam nun eine vierte hinzu, sie geht in 40 Millionen Jahren höchstens um eine Sekunde falsch. „Dass sie nun auch in den innersten Zirkel der Zeitmessung aufgenommen wurde, ist eine große Ehre, denn insgesamt gibt es nur zwölf derartige Primäruhren auf der Welt“, freut sich Jens Simon, der Sprecher der PTB. „Damit gehört die PTB zur absoluten Elite der Zeitmess-Institute.“ Außer ihr hat nur



PTB

Die neue Cäsium-Fontänenuhr in Braunschweig steuert die Weltzeit mit.

Angeregte Atome

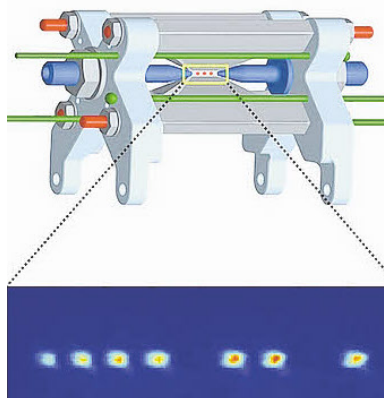
So funktioniert eine Atomuhr:

Ein Strahl von Cäsiumatomen wird mit Mikrowellen einer ganz bestimmten Frequenz bestrahlt. Sie bringen die Atome dazu, auf ein höheres Energieniveau zu springen. Ein physikalisches Messgerät sortiert dann all diese aus, fängt sie auf und zählt sie. Je höher die Ausbeute ist, desto genauer entspricht die Frequenz der Mikrowellenstrahlung dem atomaren Übergang. Eine Rückkopplung hält sie immer genau auf diesem Wert.

Fontänenuhr: Auch hier benutzt man einen Cäsium-Atomstrahl, aber die Cäsiumatome werden zunächst stark abgekühlt und auf diese Weise extrem verlangsamt. Die sich dann bildende Wolke aus langsamen Cäsium-Atomen wird nach oben beschleunigt, so dass die Atome wie Wassertropfen in einer Fontäne hochfliegen und schließlich nach einer Steighöhe von einem knappen Meter wieder herunterfallen. Während dieses Fluges werden auch hier die Atome mit Mikrowellen bestrahlt, um sie anzuregen. Die Zeit, die sie für ihren Weg benötigen, ist wesentlich länger als die kurze Flugzeit durch eine normale Atomuhr. So kann man auf geschickte Weise die

Messzeit verlängern, ohne dass man meterlange Rohre benötigt.

Die optische Uhr: Ein Ytterbium-Ion wird in einer Ionenfalle gespeichert und fast auf den absoluten Nullpunkt heruntergekühlt. Analog zum Prinzip der Atomuhr bestrahlt man dieses Ion mit Wellen einer ganz bestimmten Frequenz – diesmal von einem Laser – und hebt es in einen angeregten Zustand. Die Frequenz des Lasers dient dann als Maß für die Zeiteinheit.



PTB

Ionenfalle für optische Uhren: Eine Kette von Ionen wird durch einen Laser zum Leuchten gebracht.

noch das französische Internationale Büro für Maße und Gewichte in Sèvres so viele Zeitnormale.

Zwei der vier Braunschweiger Uhren sind Cäsium-Atomuhren, die schon seit Jahrzehnten ihren Dienst tun. Sie nutzen die Tatsache aus, dass Cäsiumatome Mikrowellen einer ganz bestimmten Frequenz – und nur diese – aufnehmen können und dadurch angeregt werden. Die Genauigkeit dieser Uhren ist dadurch eingeschränkt, dass der Atomstrahl, den sie verwenden, nur wenige Meter lang sein kann. Dies begrenzt die Zeit, die zum Messen der Frequenz zur Verfügung steht.

Eine Verbesserung bringen hier die beiden anderen Uhren: Es sind sogenannte Cäsium-Fontänen. In ihnen werden Cäsiumatome stark abgekühlt und auf diese Weise verlangsamt. Danach beschleunigt man sie nach oben, so dass die Atome wie Wassertropfen in einer Fontäne hochfliegen und schließlich wieder herunterfallen. Während dieses Fluges werden auch hier die Atome mit Mikrowellen bestrahlt, um sie anzuregen. Die Messzeit ist jedoch wesentlich länger als bei den Atomstrahluhren.

Der Weg in die Zukunft

Um ihren Vorreiterstatus zu behalten, erproben Forscher an der PTB auch neue Verfahren, die die Uhren noch genauer machen sollen als bisher. Im Vordergrund stehen dabei sogenannte optische Uhren: Sie beruhen auf einem einzelnen Ytterbium-Ion – also einem geladenen Atom –, das in einer Ionenfalle gefangen gehalten wird. Mit einem Laser kann man es ebenfalls anregen und die dazu nötige Frequenz zur Zeitmessung verwenden.

Noch hundertmal genauer als heute soll eine optische Uhr gehen, die Professor Piet O. Schmidt derzeit an der PTB baut: Er benutzt in seiner Falle ein Aluminium-Ion. Ein schwieriges Unterfangen, das lange Zeit als unmöglich galt.

Aluminium ist zwar von seiner Struktur her besonders gut geeignet für diesen Zweck, bietet aber nicht die experimentellen Voraussetzungen, die man für eine konventionelle optische Uhr benötigt. Piet O. Schmidt kann sie nur realisieren, indem er dieses Manko durch quantenphysikalische Tricks umgeht. Und um dies zu leisten, muss er Quantenlogik anwenden, ein Gebiet, das erst vor wenigen Jahren zunächst für den Bau von Quantencomputern erfunden wurde.

„In meinem Fall hat es mich sehr gereizt, die Quantenlogik auf einen praktischen Zweck anzuwenden, nämlich damit eine Atomuhr zu bauen“, sagt der 38-jährige Physiker. Wenn er damit Erfolg hat, wird wohl schon bald der genaue Jahreswechsel mit Hilfe von Quantenzuständen bestimmt.