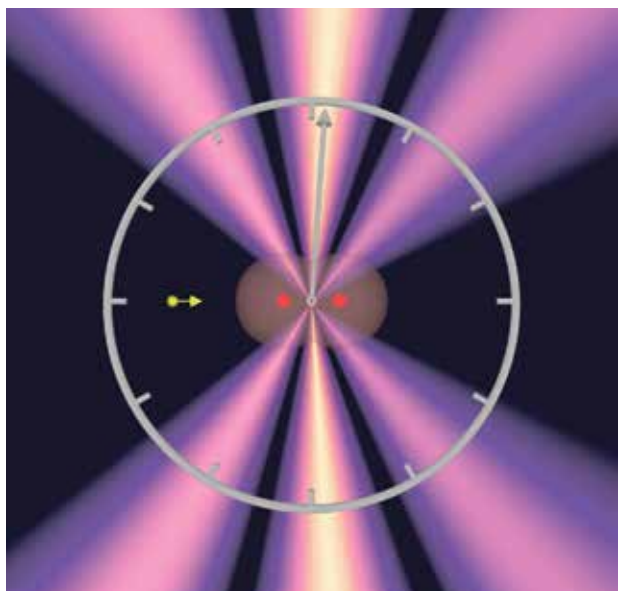


Von der Sekunde zum Weltrekord

Seit der Erfindung der ersten Uhren wird die Zeit immer präziser gemessen. Jetzt sind Physiker bei Zeptosekunden angekommen.

Die erste Uhr wird wohl im alten Ägypten erfunden. Sonnenuhren unterteilen im zweiten Jahrtausend vor Christus den Tag in zwölf Stunden, nachts übernehmen Wasseruhren. Lange kommen die Menschen mit dieser Art der Zeitmessung aus. Erst in den mittelalterlichen Klöstern, wo der Tag durch das Stundengebet strukturiert wird, genügen diese Uhren nicht mehr. Die Mönche etablieren Kerzenuhren, die unabhängig vom Sonnenschein funktionieren und leichter zu handhaben sind: Kerzen definierter Größe brennen zum Beispiel vor einer Skala ab.



Schematische Darstellung der Zeptosekunden-Messung. Das Photon (gelb, von links kommend) erzeugt aus der Elektronenwolke (grau) des Wasserstoffmoleküls (rot: Atomkerne) heraus Elektronenwellen, die interferieren (Interferenzmuster: violett-weiß). Das Interferenzmuster ist ein wenig nach rechts verzerrt, woraus sich ausrechnen lässt, wie lange das Photon von einem Atom zum anderen benötigt hat. Bild: Sven Grundmann, Goethe-Universität Frankfurt

Eine wahre technische Revolution läutet das 13. Jahrhundert mit der Erfindung der Uhrwerkshemmung ein. Mechanische Zeigerwerke mit einem Gewichtsantrieb sind zwar bereits seit der Antike bekannt, doch ließ sich bislang der Fall der Gewichte nicht regulieren. Seit etwa 1270 ticken erst in Europa und schließlich in der ganzen Welt die Uhren. Sie bestimmen den Rhythmus von Gebet, Arbeit und Feierabend und verbessern zum Beispiel in der Seefahrt die Navigation. Die Messung der Zeit wird immer präziser und schließlich weltweit einheitlich, den Anfang macht England 1880 mit der gesetzlichen Festschreibung der Greenwich Mean Time.

In der Wissenschaft führt präzise Zeitmessung zu neuen Erkenntnissen. So beobachten Wissenschaftler Ende des

19. Jahrhunderts, dass sich die Rotationsachse der Erde bewegt. Doch erst mit der Quarzuhr kann 1934 die Zeit so genau gemessen werden, dass bewiesen werden kann, dass sich auch die Rotationsdauer der Erde verändert. Eine Sekunde als Bruchteil einer vollständigen Erdumdrehung taugt daher nicht als präzise Definition.

1967 wird daher die Dauer einer Sekunde über Schwingungen des Atoms Cäsiums festgelegt, und die internationale Atomzeit gibt fortan den Takt für alle Uhren auf dem Globus vor.

Von der Femtosekunde ...

Es geht allerdings noch viel, viel genauer. 1999 etwa erhält der ägyptische Chemiker Ahmed Zewail den Nobelpreis für die Vermessung der Geschwindigkeit, in der Moleküle schwingen. Mithilfe von ultrakurzen Laserblitzen begründet er die Femtochemie: Wenn sich chemische Bindungen bilden und zerbrechen, geschieht das im Bereich von Femtosekunden. Eine Femtosekunde entspricht 0,00000000000001 Sekunden oder 10^{15} Sekunden.

... zur Zeptosekunde

Den aktuellen Weltrekord in der Kurzzeitmessung halten seit dem vergangenen Jahr Atomphysiker der Goethe-Universität um Prof. Reinhard Dörner. Sie vermessen zusammen mit Kollegen des Beschleunigerzentrums DESY in Hamburg und des Fritz-Haber-Instituts in Berlin einen Vorgang, der noch um Größenordnungen kürzer ist als Femtosekunden: wie lange es dauert, bis ein Lichtteilchen (Photon) ein Wasserstoff-Molekül durchquert hat, nämlich etwa 247 Zeptosekunden bei der durchschnittlichen Bindungslänge des Moleküls. Dies ist die kürzeste Zeitspanne, die bisher gemessen werden konnte.

Dazu bestrahlen die Wissenschaftler Wasserstoff-Moleküle (H_2) mit Röntgenlicht. Die Energie der Röntgenstrahlen stellen die Forscher so ein, dass ein Photon genügt, um beide Elektronen kurz hintereinander aus dem Wasserstoff-Molekül herauszuschlagen. Elektronen verhalten sich gleichzeitig wie Teilchen und Wellen, und so entstehen beim Heraus-schlagen des ersten Elektrons kurz hintereinander erst bei dem einen und dann bei dem zweiten Atom des Wasserstoff-Moleküls Elektronenwellen, die sich überlagern.

Dabei wirkt das Photon wie ein flacher Kieselstein, den man zweimal über das Wasser hüpfen lässt: Die Wellen der ersten und zweiten Wasserberührung löschen sich gegenseitig aus, wo ein Wellental auf einen Wellenberg trifft: Es entsteht ein sogenanntes Interferenzmuster. Das Interferenzmuster des ersten herausgeschlagenen Elektrons vermessen die Wissenschaftler mit dem COLTRIMS-Reaktionsmikroskop, das ultraschnelle Reaktionsprozesse von Atomen und Molekülen sichtbar machen kann. Gleichzeitig mit dem Interferenzmuster kann mit dem COLTRIMS-Reaktionsmikroskop bestimmt werden, in welcher Orientierung sich das Wasserstoff-Molekül befunden hat. Hier machen es sich die Forscher zunutze, dass das zweite Elektron ebenfalls das Wasserstoff-Molekül verlässt und so die verbliebenen Wasserstoffkerne auseinanderfliegen und detektiert werden können.

„Da wir die räumliche Orientierung des Wasserstoffmoleküls kannten, konnten wir aus der Interferenz der beiden Elektronenwellen sehr genau errechnen, wann das Photon das erste und wann es das zweite Wasserstoffatom erreicht hatte“, erklärt Sven Grundmann, auf dessen Doktorarbeit die Messung beruht. „Und das sind bis zu 247 Zeptosekunden, je nachdem, wie weit die beiden Atome im Molekül gerade aus Sicht des Lichts voneinander entfernt waren.“

Prof. Reinhard Dörner erläutert: „Was wir jetzt erstmals beobachten konnten ist, dass die Elektronenhülle in einem Molekül nicht überall gleichzeitig auf Licht reagiert. Die Zeitverzögerung kommt dadurch zustande, dass sich die Information im Molekül eben nur mit Lichtgeschwindigkeit ausbreitet.“

Weltweite Resonanz

Der neue Frankfurter Weltrekord in der Kurzzeitmessung findet weltweit Beachtung, in Fachkreisen wie auch in Medien. Ganz überraschende Erkenntnisse gewinnt das Boulevardblatt „The Sun“, die das wissenschaftliche Experiment mit britischem Humor auswertet und die „Zeptomane“ ausruft. So rechnen die Journalisten aus, wie viele Zeptosekunden etwa Usain Bolts Weltrekord im 100-Meter-Lauf gedauert hat (19.190.000.000.000.000.000.001 Zeptosekunden) oder die kürzeste Dankesrede bei einer Oskar-Verleihung – das „Thank you“ der Schauspielerin Patty Duke war 1962 nach 1.000.000.000.000.000.000.001 Zeptosekunden vorbei.

Markus Bernards

Neue Wirkstoffe für Medikamente der Zukunft: Zukunftscluster PROXIDRUGS

Die Entwicklung neuartiger Wirkstoffe, die gezielt krankheitsrelevante Proteine im Körper abbauen, steht im Fokus des Zukunftsclusters PROXIDRUGS. Die Goethe-Universität Frankfurt koordiniert den Verbund, zu dem Forscherinnen und Forscher der TU Darmstadt, der Universität Heidelberg, des Fraunhofer-Instituts für Translationale Medizin und Pharmakologie, des Max-Planck-Instituts für Biophysik sowie pharmazeutische und biotechnologische Unternehmen im Rhein-Main-Gebiet gehören. PROXIDRUGS konnte sich in der Finalrunde des Clusters4Future-Wettbewerbs des Bundesforschungsministeriums als eines von sieben geförderten Projekten durchsetzen und wird nun mit bis zu 15 Millionen Euro gefördert. Viele Krankheiten werden durch außer Kontrolle geratene oder fehlerhaft funktionierende Proteine verursacht. Etablierte Strategien der Wirkstoff-Forschung zielen daher darauf ab, Proteine zu blockieren, um beispielsweise das unkontrollierte Wachstum von Krebszellen zu stoppen. Allerdings lassen sich nur 20 Prozent aller krankheitsrelevanten Proteine, die zum Beispiel bei neurodegenerativen Leiden, bei Herz-Kreislauf- und Entzündungs-Krankheiten sowie bei Infektionen eine Rolle spielen, durch klassische, kleine Moleküle blockieren. Die verbleibenden 80 Prozent der krankheitsrelevanten Proteine sind bislang therapeutisch nicht zugänglich.

Die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler von PROXIDRUGS wollen jetzt die Entwicklung einer neuen Wirkstoffklasse vorantreiben, die das zelleigene Verwertungssystem für Proteine einbezieht. PROXIDRUGS-Koordinator Prof. Ivan Đikić vom Institut für Biochemie II der Goethe-Universität erläutert: „Unser Körper besitzt ein ausgeklügeltes System, um defekte, überflüssige oder schädliche Proteine zu entsorgen. Dieses System werden wir nutzen, um krankheitsrelevante Proteine gezielt abzubauen.“ Im Stoffwechsel jeder Zelle werden ständig Proteine gebildet und wieder abgebaut. An abzubauende Proteine hängt die Zelle das kleine Protein Ubiquitin an. Dies geschieht mithilfe bestimmter Enzyme, sogenannter E3-Ligasen. Die Ubiquitin-Markierung signalisiert dem „Schredder“ der Zelle (Proteasom), dass die markierten Proteine nicht mehr gebraucht und stattdessen abgebaut und recycelt werden können. PROXIDRUGS-Forscherinnen und Forscher wollen nun Wirkstoffe entwickeln, die krankheitsrelevante Proteine in die räumliche Nähe („proximity“) solcher E3-Ligasen bringen. Damit erhalten krankheitsrelevante Proteine die Abbau-Markierung mit Ubiquitin und werden von der Zelle selbst entsorgt.

Prof. Đikić: „Proximitäts-induzierende Wirkstoffe, kurz Proxidrug, sind eine der vielversprechendsten neuen Arzneimittelklassen in der biomedizinischen Forschung. Gemeinsam mit den Partnern aus der Industrie wollen wir diese innovativen Wirkstoffe systematisch erforschen und neuartige Arzneimittel gegen Krebs, neurodegenerative Erkrankungen sowie bakterielle und virale Infektionen entwickeln. Um diese ehrgeizigen Ziele zu erreichen, haben wir das ‚Frankfurt Center for Innovation and Technologies‘ an der Goethe-Universität als akademischen Hub etabliert, in dem alle notwendigen Technologien gebündelt werden.“

Der Präsident der Goethe-Universität Frankfurt, Prof. Enrico Schleiff, unterstreicht die Bedeutung des Zukunftsclusters PROXIDRUGS als „Transfer-Beschleuniger“ für die Rhein-Main-Region: „Mit PROXIDRUGS treiben wir die Erforschung einer neuartigen Wirkstoffklasse voran, aus der durch die Einbindung unserer Partner schneller als bisher anwendungsreife Medikamente entwickelt werden können. PROXIDRUGS stellt eine konsequente Weiterentwicklung der Transferstrategie der Goethe-Universität aufbauend auf unseren Leuchtturmprojekten in der biomedizinischen und pharmazeutischen Forschung dar, zu denen seit wenigen Tagen auch das durch Hessen geförderte Clusterprojekt ENABLE zählt. Mit PROXIDRUGS können wir die Erkenntnisse aus unseren Forschungsfeldern in der Strukturbiologie, chemischen Biologie, Biochemie, Pharmazie und Zellbiologie auch in wirtschaftliche Wertschöpfung transferieren. Zusammen mit unseren starken Partnern in Wissenschaft und forschender Industrie der Rhein-Main-Region werden wir dadurch einen entscheidenden Beitrag in einem hochaktuellen Feld der Wirkstoff-Forschung leisten.“