

QUANTENSPRUNG

Unser
persönliches
Genom

Wir leben im Zeitalter der Genomik. Und auch, wenn die Gesetzgeber hierzulande versuchen, den Fortschritt aufzuhalten, wird jeder von uns in nicht allzu ferner Zukunft seine gesamte genetische Information auf einem Chip in der Versicherungskarte mit zum Arzt nehmen.

Dahinter steht die Hoffnung auf „personalisierte Medizin“. Sie wird es den Ärzten nicht nur erlauben, jegliche genetische Vorbelastung ihrer Patienten für bestimmte Krankheiten zu erkennen, sondern sie wird auch helfen, Nebenwirkungen zu minimieren und die Zusammensetzung und Dosis von Medikamenten auf jeden Patienten individuell abzustimmen.

Der Weg dahin ist allerdings noch weit und steinig. Zwischen zwei willkürlich ausgewählten Menschen aus einer Fußgängerzone gibt es zum Beispiel mindestens drei Millionen Mutationen, die sie voneinander unterscheiden. Welche dieser Mutationen aber einen wirklichen Unterschied bei Krankheiten machen – und in welcher Kombination –, ist noch weitgehend unbekannt. Den „Standard-



AXEL MEYER

Professor für Evolutionsbiologie in Konstanz und Fellow am Wissenschaftskolleg zu Berlin

Menschen“ mit dem „typischen“ Genom gibt es nicht. Wir sind alle Mutanten.

Dabei haben die Menschen im Vergleich zu unserem nächsten Verwandten, dem Schimpansen, sogar noch relativ ähnliche Genome. Unsere Vorfahren haben wahrscheinlich einen Flaschenhals-Effekt erlebt: Vermutlich wurde irgendwann in unserer Vorgeschichte die Anzahl der Menschen stark reduziert. Damit gingen viele Genvarianten verloren.

Inzwischen ist ein weltweites Mammutprojekt angelaufen, bei dem 1000 komplette menschliche Genome bestimmt werden. Bald wird die Genom-Sequenzierung technisch so schnell machbar und damit auch erschwinglich sein, dass wir alle unser persönliches Genom kennen werden.

Dann werden statistische Methoden notwendig, die den Effekt verschiedener Kombinationen von Genvarianten auf die Gesundheit errechnen können. Aber selbst damit wird man immer nur die Wahrscheinlichkeit berechnen können, eine Krankheit zu entwickeln. Ein wirkliches Verständnis, wie genau die verschiedenen Varianten aller etwa 25 000 Gene und ihrer wohl Millionen von Steuerelementen in einem Genom zusammenarbeiten, wird noch Jahrzehnte auf sich warten lassen.

Obwohl es bis dahin noch ein langer Weg ist, gepflastert mit ethischen und versicherungstechnischen Implikationen, wird sich der Fortschritt auch hier in Deutschland – trotz vielleicht begründeter gesellschaftlicher Bedenken – nicht aufhalten lassen.

wissenschaft@handelsblatt.com

Die Vermessung der Unbekannten

Deutsche Physiker entwickeln optische Uhren, die die Zeit künftig tausendmal genauer bestimmen sollen als Atomuhren

R. WENGENMAYR | DÜSSELDORF

Zeit sei, was man an der Uhr ablese, sagte einst Albert Einstein. Für den radikalen Denker, der Raum und Zeit zur vierdimensionalen Raumzeit verschmolz, ist das eine erstaunlich pragmatische Feststellung. Doch Einstein wusste, dass die Physik das Wesen der Zeit nicht beschreiben kann. Das gilt auch heute noch.

Trotzdem kann man die Sekunde inzwischen weitaus präziser messen als jede andere physikalische Einheit: Bis auf 15 Stellen hinter dem Komma genau schaffen es die besten Atomuhren. Sie würden selbst nach einer Million Jahren Betriebszeit um weniger als eine Zehntelsekunde falsch gehen. Zum Vergleich: Gewöhnliche Quarzuhren vertun sich um bis zu 30 Sekunden pro Monat.

Noch tausendmal genauer soll die nächste Uhrgeneration ticken. An diesen „optischen“ Uhren forschen Ekkehard Peik und seine Kollegen an der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt (PTB), Prototypen haben die Braunschweiger bereits gebaut. Der Leiter des Fachbereichs „Zeit und Frequenz“ steht damit in der Tradition des legendären britischen Uhrenfinders John Harrison (1693-1776), der mit seinen ausgefeilten Schiffsuhrn das Problem der Längengrad-Messung löste.

Damals wie heute gilt: Je präziser eine Uhr ist, desto genauer kann man damit geografische Positionen bestimmen. Auch heute ist Navigation ein wichtiges Anwendungsgebiet ultrapräziser Zeitmessung. Moderne Navigationssatelliten sind fliegende Atomuhren, die Zeitsignale senden. Aus deren Laufzeitunterschieden errechnet das „Navi“ seine Position.

Elektronen als Pendel

Wer optische Uhren bauen will, bewegt sich an der Grenze der physikalischen Experimentierkunst. Wie zu Harrisons Zeiten bestehen auch heutige High-Tech-Uhren aus einer Art Pendel und einem Uhrwerk. Das Pendel gibt mit seinen Schwingungen die Zeitschritte vor. Diese zählt das Uhrwerk mit und macht daraus eine Zeitanzeige. Außerdem muss das Uhrwerk das Pendel gleichmäßig in Schwingung halten. Je schneller und gleichförmiger eine Uhr tickt, desto feiner und präziser teilt sie auch die Zeit ein.

Bei Atomuhren und optischen Uhren besteht das Pendel aus Elektronen in den Hüllen von Atomen. Es funktioniert nach demselben physikalischen Prinzip, mit dem wir die Welt sehen. Die Elektronen können Lichtquanten (Photonen) einer sehr präzisen Frequenz, also Lichtfarbe, aufnehmen. Mit der geschluckten Energie springen sie die Quanten-Energieleiter des Atoms eine Sprosse hinauf. Oder sie fallen eine Sprosse herunter und senden dabei wieder ein Photon aus. Ist der Sprossenabstand gering, dann bestehen die Energiequanten nicht aus sichtbarem Licht, sondern aus niederfrequenter Mikrowellenstrahlung. Damit arbeiten die etablierten Atomuhren. Bei ihnen schwingt das Elektronenpendel im Strahlungsfeld „nur“ mehrere Milliarden Mal pro Sekunde, also im Gigahertz-Bereich.

Für das Zeitnormal, das die Braunschweiger im Staatsauftrag bereitstellen, ist seit 1967 ein bestimmter Quantensprung im Cäsium-133-Atom ge-



Die Vakuumkammer der Braunschweiger Gitteruhr: Unter dem leuchtenden Strahl von Strontium-Atomen ist die ultrakalte Wolke gefangener Atome zu sehen.

Die Geschichte der Zeitmessung

Sonne, Wasser, Sand

Das erste Instrument, mit dem Menschen die Zeit zu messen versuchten, war die Sonne. Schon die alten Ägypter nutzten vermutlich Sonnenuhren, um die Tageszeit zu bestimmen. Allerdings haben Sonnenuhren einen ganz entscheidenden Nachteil: Sie funktionieren nur bei Tag und auch nur, wenn die Sonne scheint. Zeitmesser,

die sich daran orientierten, wie schnell eine bestimmte Menge Wasser aus einem Behälter fließt, kann man immerhin auch nachts und in geschlossenen Räumen benutzen. Schon um 1500 v. Chr. baute in Ägypten der königliche Siegelverwalter Amenemhet eine Wasseruhr für König Amenophis I. Sanduhren funktionieren nach einem ähnlichen Prinzip.

Zahnräder und Pendel

Die ersten Räderuhren tauchten in Europa im Mittelalter auf. Um 1300 herum wurden sie oft als öffentliche Uhren an Rathäusern oder Kirchen montiert. Ein Gewicht an einem Seil treibt das Uhrwerk der Räderuhr an. Allerdings gingen die frühen Räderuhren für unsere Begriffe meist ziemlich falsch: Abweichungen von 1 bis 2 Stunden pro

Tag waren normal. Viel genauer wurde die Zeitmessung durch die Erfindung der Pendeluhr. Die theoretischen Grundlagen hatte bereits Galileo Galilei (1564-1642) entwickelt, doch die erste Pendeluhr baute Christian Huygens im Jahr 1656.

Quarz und Atome

Mit der Erfindung der Quarzuhr in den 1920er-Jahren

hatte das Uhrenpendel ausgedient. In der Quarzuhr wird das Uhrwerk durch einen Schwingkristall angetrieben, der bei elektrischer Spannung seine Form verändert. Quarzuhren gehen pro Monat nur um wenige Sekunden falsch. Noch genauer nehmen es die Atomuhren: Ihre Abweichung beträgt nicht mehr als eine millionstel Sekunde pro Jahr.

setzlich zuständig. Exakt 9 192 631 770 seiner Pendelschwingungen definieren eine Sekunde der Internationalen Atomzeit. Darauf basiert heute auch das Langwellen-Zeitsignal der PTB, das nun seit fünfzig Jahren auf Sendung ist. Nach dessen Takt richten sich Funkwecker, Bahnuhren, Computer, Ampel- und Industrieanlagen, sogar die Gebührenerfassung von Energieversorgern oder Telekommunikationsanbietern.

Optische Uhren nutzen dagegen höherfrequente Quantenübergänge im Bereich des sichtbaren Lichts – daher stammt auch ihr Name. Ihr Elektronenpendel schwingt im hochtourigen Terahertz-Bereich, also tausendmal schneller als Gigahertz-Schwingungen der Atomuhr.

Wer solche Uhren bauen will, muss jedoch einzelne Atome richtig festhalten können. Vereinzelt Atome gibt es aber nur in Gasen. Dort flitzen sie in ihrer Wärmebewegung mit Kampfgeschwindigkeit umher, trotzdem zieht sie die Schwer-

kraft nach unten. Inzwischen haben Physiker aber gelernt, solche Atome mit Laserlicht abzubremsen, sie damit auf extrem niedrige Temperaturen zu kühlen und in Fallen schweben zu lassen.

Besonders gut funktioniert das mit elektrisch geladenen Atomen. Diese so genannten Ionen reagieren nämlich stark auf elektrische Felder. Die Braunschweiger haben eine optische Uhr gebaut, deren Falle Ytterbium-Ionen monatlang als Taktgeber speichern kann. Solche Uhren funktionieren sehr zuverlässig, derzeit sind sie im Labor die genauesten Zeitgeber. Da die elektrisch geladenen Ionen sich gegenseitig stören, funktioniert die Ionenuhr aber nur mit einem einzelnen Ion in der Falle.

Die Braunschweiger forschen auch an einer alternativen Technologie, der „Gitteruhr“. Gitteruhren nutzen viele Tausend Atome zugleich als Pendel. Das bringt – zumindest theoretisch – den Vorteil eines stärkeren Signals, das sozusagen stabiler tickt.

Für die Gitteruhr müssen die Physiker auf elektrisch neutrale Atome ausweichen. Diese lassen sich jedoch wesentlich schwieriger einfangen.

Seit einigen Jahren gibt es eine Fallentechnik, die mit einem Gitter aus Laserlicht arbeitet – daher der Name Gitteruhr. Es wirkt wie ein Eierkarton, der die Atome in seinen „Vertiefungen“ fixiert. Allerdings sind die Kräfte des Lichtgitters klein, weshalb die Atome schon von selbst möglichst still stehen müssen.

Uhrwerk aus Licht

Das tun sie nur, wenn Laserlicht sie zuvor auf ultrakalte, wenige millionstel Grad über dem absoluten Temperaturnullpunkt abgebremst hat. Ob sich die Gitteruhr oder die Ionenuhr als Standard durchsetzen wird, ist noch offen. Die Braunschweiger Physiker treiben beide Entwicklungsrichtungen voran.

Sogar das Uhrwerk der optischen Uhren muss aus Licht sein, denn keine Elektronik kann bei Terahertz-

Schwingungen mithalten. Eine praktische Lösung brachte erst der „Frequenzkamm“, für dessen Erfindung der Münchener Physiker Theodor Hänsch 2005 den Nobelpreis für Physik erhielt. Wie ein Präzisionsgetriebe aus Laserlicht untersetzt er das Terahertz-Rasen in vergleichsweise langsame Gigahertz-Schwingungen, die elektronisch zählbar sind. So öffnete er den Weg zum Bau optischer Uhren. Aber wann werden sie die heutige Uhrgeneration ersetzen?

„Das wird ein allmählicher Übergang sein, zum Cäsium-Atomuhren für viele Anwendungen präzise genug sind“, sagt Ekkehard Peik. „Optische Uhren brauchen noch viel Entwicklungszeit.“ In zehn bis zwanzig Jahren könnten sie international die Sekunde definieren. Dann werden Physiker vielleicht schon an der nächsten Generation werkeln: noch schneller tickende Röntgenuhren. Doch zuvor müssen sie erst den Röntgenlaser erfinden.

Forscher
dämpfen die
Grippe-Panik

DÜSSELDORF. Drei Fälle von Schweinegrippe in Deutschland, ein erstes Todesopfer in den USA, mehrere Hundert Grippeopfer in Mexiko – das Influenza-Virus, das sich zurzeit weltweit verbreitet, scheint auf den ersten Blick das Zeug zum echten „Killervirus“ zu haben. Wissenschaftler raten jedoch von übertriebener Panik ab.

Tatsächlich nämlich sind die Erkrankungen außerhalb Mexikos bisher fast alle glimpflich verlaufen. Auch die deutschen Patienten sind, so heißt es, auf dem Weg der Besserung. Und selbst in Mexiko mussten die Zahlen nach unten korrigiert werden: Insgesamt seien bisher bei 26 Menschen Infektionen mit dem mutierten Virus nachgewiesen worden, davon seien sieben gestorben, teilte Gesundheitsminister José Ángel Córdova am Dienstagabend mit. Zuvor hatte es geheißt, dass 20 Menschen nachweislich an dem mutierten Virus gestorben seien.

Womöglich ist das Influenza-Virus vom Typ A/H1N1 also doch kein Killervirus. „Die Schweinegrippe ist deswegen gefährlich, weil sie von Mensch zu Mensch übertragen wird, sie hat teilweise die gleichen „Baustoffe“ wie die sogenannte saisonale Grippe“, so Stefan Kaufmann, Professor für Immunologie und Mikrobiologie und Gründungsdirektor des Max-Planck-Instituts für Infektionsbiologie in Berlin. „Aber die bekannten Medikamente wirken, und ein Impfstoff kann innerhalb der nächsten drei bis sechs Monate entwickelt werden.“

Bei der Vogelgrippe dagegen fehle zwar noch immer der Infektionsweg von Mensch zu Mensch, trotzdem sei sie für Infizierte weitaus gefährlicher, so der Immunologe. Während das Vogelgrippe-Virus H5N1 30 bis 50 Prozent seiner Opfer tötet, liegt die Rate beim Schweinegrippe-Virus nur bei etwa einem Prozent.

Das Biotech-Unternehmen Qiagen meldet derweil, dass zwei seiner Testkits für einen ersten Nachweis des Schweinegrippevirus geeignet seien. Ein solcher Test findet in der Regel per Polymerase-Kettenreaktion statt: Man gibt alle Zutaten in ein Reagenzglas, die nötig sind, um Virus-DNA aus einer Probe zu vervielfältigen. Das funktioniert natürlich nur, wenn in der Probe auch passende Viren sind. Der Vorgang lässt sich in Echtzeit beobachten: Entstehen Kopien der Virus-DNA, gilt das Virus als nachgewiesen.

„Mit unseren Kits können wir unterscheiden, ob jemand gesund ist oder Influenza A hat“, erklärt der Qiagen-Pressesprecher Thomas Theuringer. „Dann kann man gleich antivirale Medikamente geben.“ Ein solcher Test wäre für ein erstes grobes Screening geeignet. Noch fehlt dem Unternehmen allerdings die offizielle Zulassung für die klinische Anwendung der Testkits.

dpa/OTS/tiw

UNSERE THEMEN

MO ÖKONOMIE

DI ESSAY

MI GEISTESWISSENSCHAFTEN

DO NATURWISSENSCHAFTEN

FR LITERATUR

15. Internationale Handelsblatt Jahrestagung

Telekommunikationsmarkt
Europa.

Gerade jetzt lernen von den Besten:

Treffen Sie diese und viele weitere Top-Manager zum Erfahrungsaustausch:



Jaime Smith Basterra, CEO, Telefónica O2 Germany



Achim Berg, Vorsitzender der Geschäftsführung, Microsoft Deutschland



Thorsten Dirks, CEO, E-Plus Gruppe



Michael Ganser, Senior Vice President und Vorsitzender der Geschäftsleitung, Cisco Deutschland



Martin Gutberlet, Regional Vice President, Country Manager and Head of Sales Germany, Gartner



Timotheus Höttges, Vorstand Finanzen, Deutsche Telekom



Matthias Kurth, Präsident, Bundesnetzagentur



Frank Rosenberger, Geschäftsführer, Vodafone Deutschland Vorstand Arcor, Privatkunden



Philipp Schindler, Vice President, Northern & Central Europe, Google

Weitere Informationen erhalten Sie unter:
www.konferenz.de/tk-europa

Haben Sie Fragen zu dieser Veranstaltung? Rufen Sie uns an!
Telefon: 02 11.96 86-36 84

Handelsblatt

Substanz entscheidet.