

Alle drei Minuten schrieb Reinhard Kienberger eine neue Zahl in sein Laborbuch. Dann veränderte er die Position eines Spiegels und startete die nächste Messung. In den frühen Morgenstunden des 10. September 2001 saß der damals 30-jährige Doktoratsstudent im zweiten Untergeschoß des Instituts für Photonik der Technischen Universität (TU) Wien vor einem komplexen Aufbau: ein Laserstrahl; speziell beschichtete Spiegel; eine Röhre, in der Laserpulse durch zwei Gaswolken geschossen werden; ein Detektor, der die Geschwindigkeit der erzeugten Elektronen misst. Den Vormittag hatte der Laser gebraucht, um hochzufahren, den Nachmittag das Team, um all die Geräte richtig einzustellen. Also fanden die Messungen nachts statt.

Das Ziel des Teams war, als Erste auf der Welt eine unvorstellbar kleine Zeiteinheit zu messen, die Attosekunde, das Milliardstel einer Milliardstelsekunde. In dieser Geschwindigkeit bewegen sich nämlich die kleinsten Teilchen: 150 Attosekunden braucht beispielsweise ein Elektron, also ein negativ geladenes Elementarteilchen, um sich einmal um den Kern eines Wasserstoffatoms zu drehen. In den winzigen Zeiteinheiten messen zu können ist extrem relevant für die Grundlagenforschung. Nur so lassen sich fundamentale Prozesse verstehen, beispielsweise, was genau passiert, wenn chemische Reaktionen blitzschnell stattfinden. Die Hoffnungen für darauf aufbauende angewandte Forschung in Technik und Medizin sind enorm.

Deshalb war in den 90er-Jahren ein Wettbewerb entstanden, welchem Forschungsteam die Messung von Attosekunden zuerst gelingen würde. In den frühen Morgenstunden des 10. September 2001 entschied sich das Rennen – mit dem Versuchsaufbau, den Kienberger im Keller in der Gußhausstraße im vierten Wiener Bezirk bediente. Erdacht hatte sich das Experiment Kienbergers Doktorvater, der gebürtige Ungar Ferenc Krausz. Gemeinsam mit der französischen Laserphysikerin Anne L'Huillier und dem ebenfalls französischen Physiker Pierre Agostini erhält Krausz deshalb heuer den Nobelpreis für Physik, wie am 3. Oktober bekannt wurde. Wie gelang es Krausz? Und welche Spuren hat er am Wiener Institut hinterlassen?

Krausz, 1962 im westungarischen Mór geboren, studierte Elektrotechnik an der Technischen Universität Budapest und kam als Austauschstudent Anfang der 80er an die TU. Mit einem neu gelieferten Lasergerät sollte er dort Experimente durchführen. Doch Krausz scheiterte daran, das Gerät zum Laufen zu bringen. „Wenn man ihm zugeschaut hat, wurde einem sofort klar, dass er nicht an seiner eigenen Unzulänglichkeit, sondern an der Unzulänglichkeit des Geräts gescheitert ist“, erinnerte sich Arnold Schmidt, damals Professor für Laserphysik, 2002 in einem Interview mit *Profil*. „Man konnte seine Begaubung riechen.“

stammten Plätze zurück. Dabei wird Energie frei, und zwar in Form von Lichtblitzen. Diese Lichtblitze sind nur wenige Attosekunden lang – sie zu messen, ist das Ziel. Den Vorgang, um diese Attosekundenblitze zu erzeugen, hat Anne L'Huillier entdeckt – die sich den Physiknobelpreis mit Krausz teilt.

Krausz gelang es, in einem nächsten Schritt die Blitze zu messen: Dazu werden die Pulse des Laserstrahls und der von ihm erzeugte Attosekundenblitz auf einen speziellen Doppelspiegel gelenkt. Die beiden Teile kann man verschieben und so die Pulse unterschiedlich lange gegeneinander verzögern. Der Spiegel steuert die beiden Pulse in eine weitere Gaswolke. Dort reißt der Attosekundenblitz wieder Elektronen aus ihren Atomen – auch nur ganz kurz, eben einige Attosekunden lang. Die Energie dieser Elektronen wird mit einem Detektor gemessen. Das elektrische Feld des Laserpulses verändert die Energie der vom Attosekundenblitz erzeugten Elektronen. Je kürzer der Attosekundenblitz, desto besser kann man das Laserfeld auflösen – und die Dauer des Attosekundenblitzes berechnen.

Für jede Messung wird der Spiegel leicht verändert, denn jede Spiegelposition ist, wie bei der Fotografie, eine neue Belichtung. Dabei muss alles stimmen: zunächst einmal die Stärke des Lasers und die Beschichtung der Spiegel. Beides hat Krausz jahrelang maßgeblich mitentwickelt, einen solchen speziellen Spiegel, „Chirpspiegel“ genannt, sogar patentiert.

Wichtig ist auch, dass im Gerät Vakuum herrscht und die Messanordnung nicht wackelt. Im Raum durften sich die Doktoranden während ihrer Nachtdienste also nur vorsichtig bewegen. Neun Stunden dauerte eine Messreihe, erinnert sich Kienberger, nun Professor für Laser- und Röntgenphysik an der Technischen Universität München. „Wir waren teilwei-

„Ferenc sagte immer, jetzt haben wir's bald“

In langen Nächten im Keller der TU Wien gelang **Ferenc Krausz** und seinem Team die Messung einer unvorstellbar kleinen Zeiteinheit. Dafür bekam er heuer den Physiknobelpreis

LABORBESUCH: ANNA GOLDENBERG



Am 6. Oktober besuchte der frisch gekürte Nobelpreisträger Ferenc Krausz kurz sein ehemaliges Institut an der TU Wien



Es ist kein Hitchcock, aber Attosekundenfilme werden Physikern einen völlig neuen Einblick geben

SCIENCE 2002 ÜBER KRAUSZ' FORSCHUNG

se verzweifelt“, erzählt Hentschel, der heute am Austrian Institute of Technology forscht. „Aber Ferenc sagte immer, jetzt haben wir's bald.“ Und er sollte recht behalten.

Am 10. September 2001 gegen fünf Uhr morgens überträgt Kienberger die Daten in eine Excel-Tabelle und wandelt sie in eine Kurve um. Endlich sieht er scharfe Zacken, die nur entstehen, wenn die Attosekundenblitze kurz genug sind: ein Puls, 650 Attosekunden lang, erstmals scharf aufgenommen. Kienberger ruft Krausz an, der damals in Vösendorf wohnt und frühmorgens ins Labor kommt. Krausz fotografiert den Bildschirm. „Wir wussten gleich, da ist Geschichte geschrieben“, sagt Markus Zeiler, damals Doktorand in einer anderen Forschungsgruppe und heute Dozent am Institut. In den Tagen darauf wiederholten sie den Versuch mehrfach: Es war kein Messfehler, alles klappte. Nur zweieinhalb Monate später, am 29. November 2001, erschien ein Artikel mit ihren Ergebnissen im renommierten Fachjournal *Nature*. Normalerweise sind die Begutachtungsfristen wissenschaftlicher Journale viel länger.

Im Labor im zweiten Untergeschoß der TU sind längst andere Versuche aufgebaut, doch die gerahmten Titelseiten an-der-Wand zeugen von den weiteren Erfolgen von Krausz' Team: 2002 gelang es, einen noch kürzeren Lichtblitz aufzuzeichnen, 200 Attosekunden kurz. Die Arbeit erschien in *Science* und verhalf Krausz zu einem Eintrag im Guinness-Buch der Rekorde. (Mittlerweile liegt der Rekord bei 43 Attosekunden.) Im selben Jahr machte Krausz das Loch sichtbar, das entsteht, wenn die Elektronen aus ihrem Atom geschleudert werden. Die Entdeckung zierte die Titelseite von *Nature* („Schnappschuss eines angeregten Atoms“) und wurde von *Science* als eine der zehn wichtigsten neuen Erkenntnisse des Jahres 2002 gekürt. „Es ist kein Hitchcock, aber Attosekundenfilme werden Physikern

Weshalb sich Schmidt den jungen Mann 1988 als wissenschaftlichen Mitarbeiter zurück nach Wien holte. Die Laserphysik machte damals enorme Fortschritte; in den 1980er-Jahren wurde die Technik verbessert. Das energiereiche Licht macht, vereinfacht gesagt, möglich, einzelne Elementarteilchen zu bewegen. Und die Forschungsförderung erlaubte damals, dass Krausz mit den teuren Geräten arbeiten konnte: 1996 etablierte der österreichische Wissenschaftsfonds FWF Wissenschaftspreise, die von einer internationalen Jury begutachtet und als Forschungsförderungen ausgezahlt wurden. Krausz gewann gleich im ersten Jahr eine solche Nachwuchsförderung, 2002 den renommierten Wittgensteinpreis. Insgesamt investierte der FWF innerhalb von zehn Jahren 5,2 Millionen Euro in Krausz' Grundlagenforschung.

Es reichte nicht, um Krausz in Wien zu halten. Nachdem er an der TU promoviert und habilitiert hatte, warb ihn das renommierte Max-Planck-Institut für Quantenoptik in Garching bei München 2003 ab. „Ich wünsche mir so sehr, dass das nicht als undankbar empfunden wird“, sagte Krausz in einem Interview mit der *Krone*, als er vergangenen Freitag kurz die TU besuchte: Aber an das Max-Planck-Institut komme eben weltweit kaum etwas heran. Ein Trost für Österreich: Die Arbeiten, die das Nobelpreis-Komitee in seiner Begründung nennt, stammen zur Hälfte aus Krausz' Wiener Zeit.

Die wichtigste dieser Arbeiten, Krausz' Durchbruch, der ihn weltberühmt machte, gelang mit jenem Versuchsaufbau, vor dem Kienberger und ein zweiter Doktorand, Michael Hentschel, im Jahr 2001 lange Nächte verbrachten. Mit dem Experiment sollte es endlich gelingen, Attosekunden zu messen. Dabei stellt sich ein grundsätzliches Problem: Extrem schnelle Bewegungen kann das menschliche Auge nicht wahrnehmen – beispielsweise den Flügelschlag einer Wespe, der gerade einmal eine Dreihundertstelsekunde dauert. Macht man aber ganz kurz hintereinander viele Fotos mit jeweils minimaler Belichtungszeit, sieht man, wie sich der Flügel bewegt, weil jedes Foto eine winzige Veränderung zeigt.

In der Welt der kleinsten Teilchen, wo alles um ein Vielfaches schneller geschieht, werden zwar keine Fotos gemacht, es gilt aber dasselbe Prinzip: Um eine Bewegung sichtbar zu machen, müssen regelmäßige Aufnahmen – in diesem Fall Messungen – mit extrem kurzer Belichtungszeit gelingen. Das Äquivalent zur Belichtungszeit erzeugt ein Laser. Mit seinem starken elektrischen Feld kann er einzelne Teilchen sehr schnell bewegen.

Das machte sich Krausz zunutze: Zunächst schießt ein sehr kurzer Laserstrahl in eine Wolke aus Neongas und reißt dabei einzelne Elektronen aus ihren Atomen heraus. Das starke Laserfeld beschleunigt die herausgerissenen Elektronen und knallt sie gleich darauf wieder an ihre ange-

einen völlig neuen Einblick in das Leben innerhalb von Atomen geben“, schrieb das Fachmagazin damals.

Gute zwei Jahrzehnte ist der Psychothriller über das Leben der kleinsten Teilchen noch in Arbeit. „Wir sind noch bei den Grundlagen“, sagt Andrius Baltuska, Professor für Photonik an der TU. Sein Team beschäftigt sich damit, neue Methoden für die Erzeugung von Attosekundenblitzen zu entwickeln, damit sie als verlässliches Messinstrument taugen. In einem anderen Kellerlabor der TU sieht sich ein Team an, wie ein Molekül zerfällt, wenn es von einem Laser angeschossen wird. Mithilfe von Attosekundenmessungen wird, ähnlich einem Mikroskop für zeitliche Abläufe, jeder Schritt sichtbar, eine Neuheit.

Am Münchner Max-Planck-Institut beschäftigt sich Krausz mit den Hoffnungen für die Medizin: Vielleicht lassen sich mithilfe der Attosekundentechnologie eines Tages winzige Veränderungen im Blut früh diagnostizieren. Dabei werden die Moleküle im Blut mit einem sehr kurzen Laserblitz angeregt; sie senden ein Infrarotlicht aus, das von den schnellen Messtechniken erfasst wird. Der Vorteil: Man muss nicht einzelne Marker für Krankheiten, wie beispielsweise Tumore, ausfindig machen, sondern erhält ein Gesamtsignal.

Auch die Technik hat große Erwartungen: Man träumt von winzigen, enorm schnellen Stromschaltkreisen für Chips, die möglich werden, weil man besser versteht, wie sich Elektronen innerhalb von Attosekunden in verschiedenen Materialien bewegen. Konventionelle Schaltkreise können nicht schneller werden, weil sie sich zu stark erhitzen.

Erfolgreich beschleunigt wurde mittlerweile die Messreihe, für die Kienberger und Hentschel einst neun Stunden im Keller verbrachten. Die lässt sich heutzutage von einem Computer aus der Ferne steuern. Und dauert gerade einmal zehn Minuten. ☒



Ein Versuchsaufbau des Instituts für Photonik der TU Wien. Damit das Laserlabor staubfrei bleibt, ist ein Schuh-schutz Pflicht

FALTER WISSENSCHAFT

Wie entsteht Wissen?

Wer forscht in Österreich? Anna Goldenberg berichtet jede Woche darüber