

Mini-Laser: Die Professoren Grüner (links) und Karsch.

THORSTEN NÄSER

# Hightech auf dem Biertisch

Münchener Forscher entwickeln einen Laser, der im Röntgenbereich strahlen kann – und das mit weit weniger Aufwand als bisher üblich

Von Brigitte Röthlein

Eng ist es im Keller des Max-Planck-Instituts für Quantenoptik (MPQ) in Garching bei München. Jeder Quadratmeter ist ausgefüllt mit physikalischen Experimenten, dazwischen stehen dicke Betonmauern als Schutz gegen Strahlung. Aber gerade hier in dieser Enge wollen Forscher ein Objekt aufbauen, für das Kollegen in anderen Instituten kilometerlange Beschleuniger und fußballfeldgroße Labors brauchen: einen Röntgenlaser.

„Wir entwickeln ein Gerät, das bequem auf zwei Biertische passt“, sagt Florian Grüner leicht ironisch im Stil bayerischer Folklore, in der alles in Maßkrügen und Biertischen gemessen wird. Der 36-jährige Physikprofessor an der Universität München hatte die geniale Idee, einen Hochleistungslaser des MPQ, der Elektronen sehr stark beschleunigen kann, als Ausgangspunkt für einen Röntgenlaser zu verwenden.

Ein solches Gerät steht weltweit auf dem Wunschzettel der Physiker. Denn Röntgenstrahlung ist so kurzweilig, dass man mit ihr ins Innere der Materie hineinleuchten kann. Gewöhnliches Licht ist dazu viel zu grob. Mit einem Röntgenlaser ließe sich die Struktur und Wirkungsweise komplizierter Eiweißstoffe ausforschen. „Vor allem die Pharmakologen sind an dem neuen Werkzeug interessiert. Es gibt ihnen die Möglichkeit, organische Verbindungen zu durchleuchten und zu untersuchen, wie sie an andere Moleküle andocken. So könnten



Werden Elektronen auf eine wellenförmige Bahn gezwungen, reagieren sie mit der Abstrahlung von Röntgenblitzen.

THORSTEN NÄSER

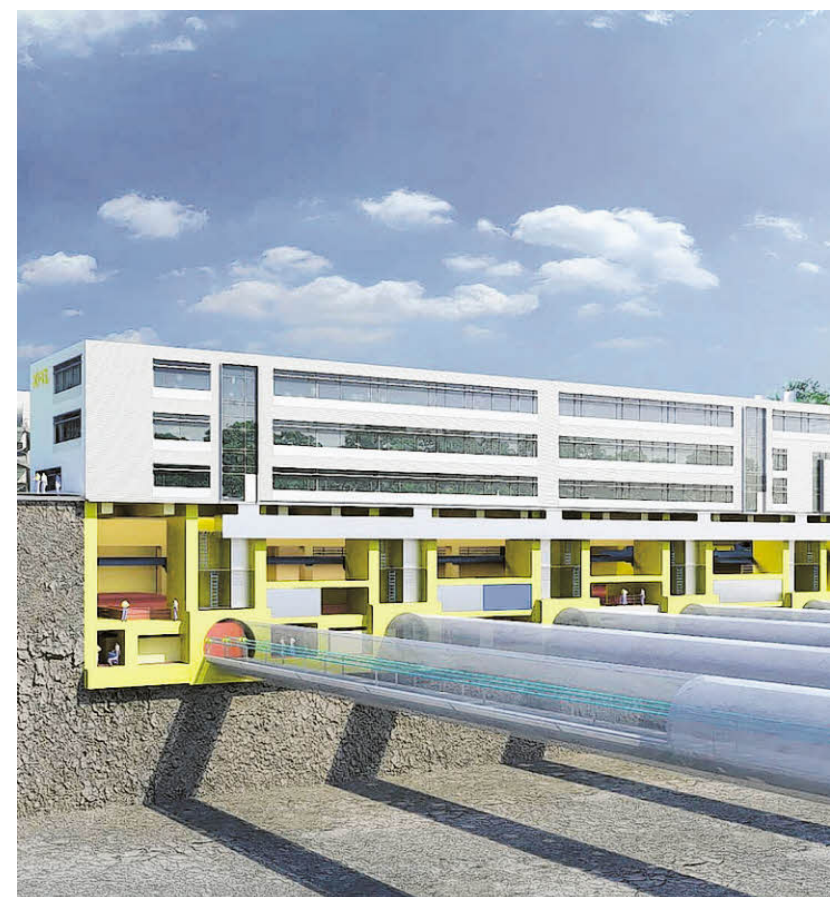
beispielsweise neue Medikamente entwickelt werden“, erläutert Florian Grüner.

Es ließen sich auch weitaus schärfere Bilder mit geringerer Dosis bei der Mammographie machen, auf denen noch Mini-Tumore von fünf Millimetern Durchmesser zu sehen sein sollten. Das Nonplusultra wären jedoch Röntgenimpulse von sehr kurzer Dauer, die wie Stroboskoplicht einen Film produzieren. Man könnte mit ihnen extrem schnelle chemische und physikalische Reaktionen in ihrem zeitlichen Ablauf verfolgen, etwa herausfinden, wie schnell man Informationen auf Magnetspeicher schreiben kann. So dringend ist der Wunsch nach einem solchen Wundergerät, dass US-Forscher in den achtziger Jahren sogar erprobten, nukleare Explosionen zur Beschleunigung von Elektronen zu verwenden. Denn eines war klar: Man benötigt diese hoch beschleunigten Elementarteilchen, um gebündeltes Röntgenlicht zu erzeugen.

## Gebündelter Strahl

Damals benutzte man sie noch, um damit ein Lasermedium zu „pumpen“, also auf höhere Energiestufen zu bringen. Dieses Konzept hat sich nicht bewährt. Heute setzen Physiker weltweit auf das Prinzip des „Freie-Elektronen-Lasers“ (FEL), das in den siebziger Jahren erstmals vom US-Physiker John M. J. Madey in Stanford, Kalifornien, demonstriert wurde. Es beruht darauf, dass man schnelle Elektronen mit Hilfe von Magneten auf eine wellige Kurvenbahn zwingt und sich dabei die Tatsache zunutze macht, dass sie in jeder Kurve Röntgenlicht abgeben.

Ordnet man die Magnete in einem sogenannten Undulator hintereinander an, so überlagern sich die Röntgenblitze gegenseitig, gleichzeitig versammeln sich auch die Elektronen in Grüppchen und strahlen das Röntgenlicht als gebündelten Strahl nach vorne ab wie bei einem Laser. „Solche Anlagen sind recht groß“, sagt Florian Grüner, „denn zu dem kilometerlangen Beschleuni-



XFEL-Hauptgebäude mit unterirdischer Experimentierhalle.

DESY

## DIE KONKURRENZ

Ultrakurze Laserlichtblitze im Röntgenbereich soll der Europäische Röntgenlaser XFEL (X-Ray Free-Electron Laser) ab 2014 liefern, der derzeit auf dem Gelände des Deutschen Elektronen-Synchrotrons Desy in Hamburg gebaut wird. Die Anlage wird 3,4 Kilometer lang sein und rund 850 Millionen Euro kosten.

Elektronen werden in einem Linearbeschleuniger auf hohe Energien gebracht. Anschließend sollen sie in sogenannten Undulatoren auf einen Slalomkurs gezwungen und so zur Aussendung von Röntgenlaserblitzen veranlasst werden.

ger kommt noch der Undulator, der 100 Meter und länger ist.“ In einigen Labors der Welt, etwa in den USA, in Japan, aber auch am Deutschen Elektronen-Synchrotron Desy in Hamburg, sind derartige FEL im Bau oder haben ihre Arbeit gerade begonnen.

Der Aufwand dafür ist gewaltig: Die Anlagen sind heute kaum unter einer Milliarde Euro zu haben. In Hamburg entsteht zurzeit der 3,4 Kilometer lange XFEL, der im Jahr 2014 betriebsbereit sein soll, und am Beschleunigerlabor SLAC im kalifornischen Stanford hat ein drei Kilometer langer Röntgenlaser im September seinen Betrieb aufgenommen.

Zur Eröffnung erzählte John Galayda, der Konstruktionschef des Riesengeräts, wie schwierig es war, die Anlage zu justieren: „Wir mussten sogar das Erdmagnetfeld ausgleichen und wochenlang warten, bis sich das Fundament endgültig gesetzt hatte.“

Solche Probleme wird man in Garching nicht haben, denn dort soll alles in das beengte Kellerlabor passen. Das geht nur, weil man extrem hohe Laserleistung in sehr kurzer Zeit abrufen kann. Mit den dazu nötigen Geräten beschäftigt sich Grüners Kollege, der 39-jährige Stefan Karsch, am MPQ schon seit Jahren. Die Wunderwerke der Technik erzeugen Lichtpulse, die nur wenige Femtosekunden lang dauern, also Millionstel einer Milliardstel Sekunde. Sie erreichen während dieser kur-

zen Zeit Leistungen von rund 40 Terawatt. Zum Vergleich: Ein Atomkraftwerk erzeugt permanent eine Leistung von rund 1000 Megawatt, das ist 40 000 Mal weniger. Eine solch ungeheure Energiekonzentration hat natürlich Folgen, wenn man das Licht auf Materie schießt: Wasserstoffatome etwa bleiben unter diesen Bedingungen nicht mehr heil, sondern spalten sich auf in ihre geladenen Bestandteile, Elektronen und Protonen, es bildet sich ein Plasma. Und da die Elektronen um ein Vielfaches leichter und damit beweglicher sind als die schweren Protonen, lassen sie sich von der geballten Laserenergie sofort beiseite schieben. „Man kann sich den Laserpuls vorstellen wie einen Schneeflug, der durch das Plasma rast“, sagt Stefan Karsch. „Die Elektronen weichen aus und treffen sich dahinter wieder.“ So entsteht eine Art Kielwelle, nach der dieser Effekt auch benannt ist: Die Forscher sprechen von einem „wakefield“.

In vielen Computersimulationen und Experimenten haben der Physikprofessor und sein Team dieses Phänomen bereits erprobt und optimiert. „Die Elektronen surfen auf dem wakefield und sammeln sich grüppchenweise in einer Art winziger Blasen, die fast auf Lichtgeschwindigkeit beschleunigt werden“, erklärt Karsch den Vorgang. Die so beschleunigten Elektronen durchlaufen dann den Undulator.

„Momentan sind wir führend auf der Welt“, freut sich Florian Grüner, „wir konnten bereits zeigen, dass wir mit unserer Anordnung weiche Röntgenstrahlung erzeugen können.“ Alles, auch den nur 30 Zentimeter kurzen Undulator, haben die Münchener Forscher selbst gebaut. Nun verbessern sie ihre Anlage.

Damit wollen sie in drei Jahren ein erstes FEL-Demonstrationsexperiment hinbekommen. Der eigentliche Röntgenlaser soll danach schrittweise realisiert werden. Der könnte dann zwar so stark sein wie seine großen Brüder, würde aber nur knapp vier Millionen Euro kosten.