

Eine Forschungsanlage der Superlative

Am 26. August 2017 haben 15 NGZH-Mitglieder und Gäste den kürzlich in Betrieb genommenen Röntgenlaser SwissFEL (FEL = Freie-Elektronen-Laser) am Paul Scherrer Institut (PSI) besucht. Sie haben eine Anlage kennen gelernt, die grundlegend neue naturwissenschaftliche Erkenntnisse liefern wird, etwa vergleichbar mit der Entdeckung eines neuen Kontinents. Das Interesse von Physikern, Chemikern und Biologen ist riesig, weshalb zu erwarten ist, dass die fünf ähnlichen neuen Einrichtungen in Deutschland, Italien, USA, Japan und Südkorea innert kurzer Zeit überbucht sein werden. Deshalb ist es wichtig, dass Schweizer Forscher Zugang zu einem «eigenen» Röntgenlaser haben.

Welche neuen Erkenntnisse verspricht der SwissFEL?

Die Physiker möchten beispielsweise ultraschnelle Umpolungsvorgänge bei der Datenspeicherung untersuchen und diese Erkenntnisse nutzen, um schnellere Speichermedien zu entwickeln. Die Chemiker möchten dem Tanz der Atome während einer katalytischen Reaktion zuschauen. Sie könnten daraus lernen, effizientere Katalysatoren zu entwickeln, die etwa bei der Herstellung von Dünger riesige Energiemengen einsparen könnten. Die Biologen wiederum möchten die Struktur von Membranproteinen entschlüsseln, was mit herkömmlichen Anlagen nicht möglich ist. Aus diesem Wissen werden neuartige Medikamente erwartet, die den Austausch von Substanzen zwischen den Zellen steuern.

Welchen Anforderungen muss der SwissFEL genügen?

Um die oben formulierten Wünsche zu erfüllen, müssen scharfe Streubilder von relativ wenigen sich schnell bewegenden Atomen hergestellt werden. Das einfachste Streubild in der Form von Interferenzringen, die beim Durchgang eines roten Laserstrahls durch ein kleines Loch entstehen, wird im Editorial der letzten Viertel-

jahresschrift gezeigt. Die Umrechnung von Interferenzmustern in die Geometrie der streuenden Struktur ist seit langem bekannt und kann heute mit schnellen Computern auch für komplexe Strukturen realisiert werden.

Um Streubilder von Atomen herzustellen, sind Röntgenstrahlen mit Wellenlängen im Bereich von 0,1 Nanometern notwendig. Streubilder entstehen nämlich nur dann, wenn die Wellenlänge des zur Beobachtung verwendeten Lichtes kleiner ist als das zu beobachtende Objekt. Auch dies kann mit herkömmlicher Technologie erreicht werden, beispielsweise mit der Synchrotronlichtquelle Schweiz (SLS) am PSI, die um das Jahr 2000 aufgebaut wurde. Voraussetzung ist jedoch, dass genügend grosse Kristalle (mindestens 0,1 Millimeter Durchmesser) von den zu analysierenden Molekülen herstellbar sind.

Für die Analyse der Mikrokristalle von Membranproteinen ist jedoch die Lichtintensität der SLS viel zu klein und für die Untersuchung von chemischen Reaktionen sind ihre Röntgenblitze rund 1000 mal zu lang, so dass nur sehr schwache und unbrauchbare verschwommene Bilder entstehen würden.

Warum ein Röntgenlaser?

Mit herkömmlichen Lasern lassen sich genügend kurze Blitze im Bereich von 1 Femtosekunde (1 Millionstel von einer Milliardstelssekunde) herstellen; aber deren Wellenlänge ist viel zu gross. Gefordert ist deshalb ein Röntgenlaser, der jedoch auf einer grundlegend anderen Technik beruht als ein Festkörper- oder Gaslaser.

In einem Freie-Elektronen-Laser (FEL) werden nicht Atome zur Emission von Licht verwendet, sondern Pakete von in einem Ultrahochvakuum (um 10^{-10} Millibar) frei fliegenden Elektronen. Kurze Blitze eines speziellen Ultraviolett-Lasers herkömmlicher Bauart schlagen Elektronen aus einer Kupferelektrode heraus. Diese Elektronen werden in drei Beschleunigungsstufen auf praktisch Lichtgeschwindigkeit beschleunigt (ihre kinetische Energie ist dann



Blick in den 740 Meter langen Strahlkanal des SwissFEL. Rechts im Bild ist ein Teil des Linearbeschleunigers zu sehen, der aus Tausenden von Hochpräzisions-Resonatoren (sog. Kupfertassen) besteht. Die Elektronen erhalten dadurch soviel Bewegungsenergie, wie sie beim Fall durch 6 Milliarden Volt bekämen.

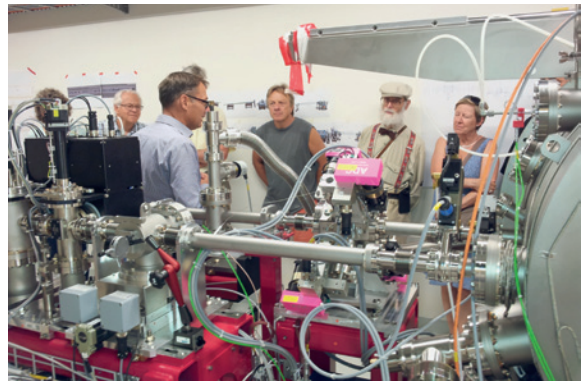
6 Giga-Elektronenvolt) und in der Länge komprimiert, so dass rund 1 Mikrometer lange Elektronenpakete entstehen. Diese werden in einem Undulator durch viele Magnetfelder mit abwechselnder Polarität auf eine Slalombahn gebracht und das dabei emittierte Licht wechselwirkt mit den es erzeugenden Elektronen (Laserprinzip).

Jedes Elektronenpaket wird dadurch in Scheibchen zerteilt und das emittierte Licht jedes Scheibchens überlagert sich verstärkend mit dem Licht der anderen Scheibchen: Es entstehen kohärente Laserblitze, die mehr als eine Milliarde mal intensiver und mindestens 1000 mal kürzer sind als die inkohärenten Blitze der SLS.

Die so erzeugten 1 Mikrometer langen Röntgenpulse enthalten je einige Tausend Schwingungsperioden, was ausreicht, um Interferenzbilder zu erzeugen. Die Elektronen werden nun nicht mehr gebraucht und mit Hilfe eines Magneten aus der Bahn der Röntgenblitze abgelenkt und in einem Strahlstopper-Block abgebremst.

Fritz Gassmann

Mehr Information zum SwissFEL finden sich auf www.psi.ch/swissfel



Oben: Luc Patthey, Leiter Teilbereich Photonik, erklärt die Funktion der Apparate, welche gegen Ende der Anlage die gewünschte Wellenlänge aus den Röntgenblitzen extrahieren. Unten: Der grösste Teil der Anlage ist naturnah bepflanzt.