

Eine neue Grossforschungsanlage für die Schweiz

Die Pläne des Paul-Scherrer-Instituts zum Bau eines Röntgenlasers konkretisieren sich

In verschiedenen Ländern werden gegenwärtig Röntgenlichtquellen entwickelt, die ultrakurze Laserpulse liefern sollen. Mit den Pulsen möchte man schnelle Prozesse beleuchten, die sich auf atomarer Ebene abspielen. Auch das Paul-Scherrer-Institut plant den Bau einer solchen Anlage. Aus Kostengründen setzt es dabei auf innovative Konzepte.

Das Paul-Scherrer-Institut (PSI) in Villigen ist ein Anziehungspunkt für Forscher aus dem In- und Ausland. Mit der Synchrotronlichtquelle Schweiz (SLS), der Spallations-Neutronenquelle SINQ und der Schweizer Myonenquelle $S_{\mu}S$ finden sie hier gleich drei Grossforschungsanlagen vor, die mit unterschiedlichen Mitteln Einblicke in die Struktur der Materie gewähren. Damit den Nutzern auch in Zukunft attraktive Forschungsbedingungen geboten werden können, wird gegenwärtig der Bau einer neuen Röntgenlichtquelle geplant, die noch leistungsfähiger sein soll als die SLS. Die Kosten für den Bau der Anlage werden auf zirka 280 Millionen Schweizer Franken geschätzt. Sollten die Pläne des PSI von Bundesrat und Parlament gutgeheissen werden, könnte die neue Grossforschungsanlage im Jahr 2016 in Betrieb gehen.

Chemische Reaktionen im Film

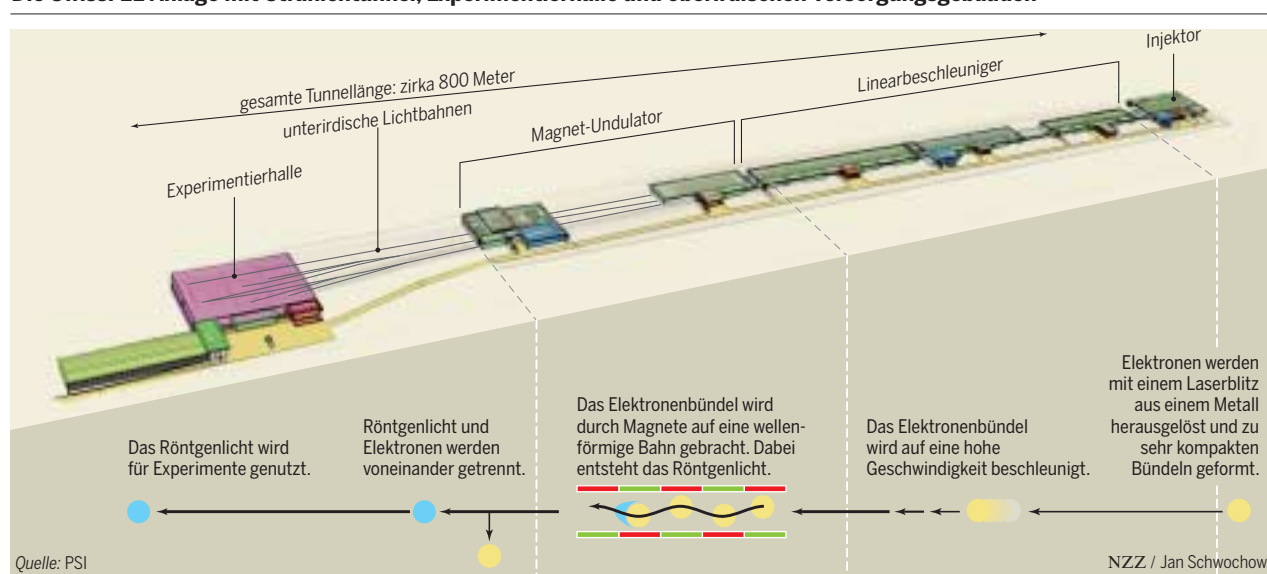
Mit dem Schweizer Freie-Elektronen-Laser (Swiss FEL) möchte man in Zukunft nicht nur die Struktur untersuchen; man interessiert sich vor allem für dynamische Prozesse in Molekülen oder Festkörpern. Denn die zeitliche Dynamik ist neben der räumlichen Struktur ein wichtiger Schlüssel, um die Funktion der untersuchten Proben zu verstehen. Oft sind die relevanten Prozesse ultraschnell: So spielen sich viele chemische Reaktionen auf einer Zeitskala von wenigen Femtosekunden (Billiardstelsekunden) ab. Um diese ultraschnellen Prozesse wie in einem Film verfolgen zu können, benötigt man entsprechend kurze Pulse aus Röntgenlicht.

Mit den heutigen Synchrotronlichtquellen ist es zwar mit einigen Klimmzügen möglich, Röntgenlichtpulse im Femtosekundenbereich zu erzeugen. Die sogenannte Brillanz der Pulse – diese ist ein Mass dafür, wie intensiv und fokussiert die Strahlung ist – lässt aber zu wünschen übrig. Deshalb wird seit Jahren an einer neuen Art von Lichtquelle geforscht, den Freie-Elektronen-Lasern. Diese Grossgeräte, die eigentlich mehr Teilchenbeschleuniger als Laser sind, sollen Pulse aus Röntgenlicht erzeugen, die ultrakurz und bis zu 10 Milliarden Mal so brillant sind wie die Pulse aus einer Synchrotronlichtquelle.

Hierzu werden möglichst viele Elektronen aus einer Elektronenquelle zu kompakten Paketen gebündelt und anschliessend in einem Linearbeschleuniger beschleunigt. Während die Elektronenpakete in einem ringförmigen Synchrotron mit der Zeit auseinanderlaufen, behalten sie in einem Linearbeschleuniger ihre kompakte Form bei. Das ist eine wesentliche Voraussetzung, damit mit den Elektronen ultrakurze und intensive Lichtpulse erzeugt werden können. Das geschieht wie folgt: Haben die Elektronenpakete die nötige Energie erreicht, werden sie durch einen sogenannten Undulator geschickt. Dabei handelt es sich um eine alternierende Anordnung von Magneten, die die Elektronen periodisch nach rechts oder nach links ablenkt. Die Slalom laufend Elektronenpakete strahlen nun in Vorwärtsrichtung kurze Lichtpulse ab. Bei hoher Lichtintensität und grosser Undulatorlänge beginnen diese Lichtpulse eine Wechselwirkung mit den Elektronen. Das Licht wird dadurch lawinenartig verstärkt und nimmt laserartige Eigenschaften an.

Weltweit gibt es heute eine Reihe von Strahlungsquellen, die nach diesem Prinzip funktionieren. Aber nur eine, nämlich die Linac Coherent Light Source (LCLS) am Stanford Linear Accelerator Center in Kalifornien, operiert im Röntgenbereich und damit bei Wellenlängen, die kurz genug sind, um die atomaren Details der Materie sichtbar zu machen. Auf den gleichen Wellenlängenbereich zielt auch ein Freie-Elektronen-Laser ab, der gegenwärtig in Japan gebaut wird, sowie der europäische Röntgenlaser XFEL, der 2014 in

Die SwissFEL-Anlage mit Strahlentunnel, Experimentierhalle und oberirdischen Versorgungsgebäuden



Hamburg in Betrieb genommen werden soll. Der Swiss FEL am Paul-Scherrer-Institut wäre der Vierte im Bunde. Auch er soll Röntgenlichtpulse mit einer minimalen Wellenlänge von 0,1 Nanometern erzeugen. Aus Kostengründen müssen am PSI aber besonders trickreiche Lösungen zur Erreichung dieses Ziels entwickelt werden.

Der kostentreibende Faktor bei den Röntgenlasern sei eindeutig der Linearbeschleuniger, sagt Hans Braun, der am PSI die Entwicklung des Swiss FEL leitet. Den Bau einer mehrere Kilometer langen Beschleunigungsstrecke wie in Stanford oder in Hamburg könne sich ein Land wie die Schweiz nicht leisten. Deshalb müsse man sich mit einer kompakteren Anlage mit einer Gesamtlänge von 800 Metern begnügen. Das limitiere die Energie der Elektronen. Die Herausforderung bestehe darin, trotzdem Röntgenlicht mit einer hinreichend kurzen Wellenlänge zu erzeugen. Die Forscher machen sich zunutze, dass die Wellenlänge der Strahlung nicht nur von der Energie der Elektronen bestimmt wird, sondern auch von der Periodenlänge des Undulators. Indem man beim Undulator an die Grenze des technisch Machbaren gehe, wolle man die fehlende Energie wettmachen, so Braun. Bei der Entwicklung von Permanentmagneten habe es in den letzten Jahren enorme Fortschritte gegeben. Das erlaube es, die Magnete dichter anzuordnen und die Elektronen so in kürzeren Abständen durch den Undulator wedeln zu lassen. Damit erziele man den gleichen Effekt wie mit einer höheren Elektronenenergie, allerdings zu wesentlich geringeren Kosten.

Auch am anderen Ende der Beschleunigungsstrecke, also dort, wo die Elektronen erzeugt, vor-

beschleunigt und zu kompakten Paketen gebündelt werden, sind neue Ideen gefragt. Je kleiner die Energie des Linearbeschleunigers sei, so Braun, desto wichtiger werde es, einen qualitativ hochwertigen Elektronenstrahl in den Beschleuniger zu injizieren. Das sei nur zu gewährleisten, wenn alle Komponenten des Injektors optimal aufeinander abgestimmt seien.

Eine besonders kritische Komponente des Injektors ist die Elektronenquelle. Hier wurde am PSI in den letzten Jahren viel Entwicklungsarbeit geleistet. Noch vor einigen Jahren sah es nämlich so aus, als genügt die herkömmlichen Elektronenquellen nicht den Erfordernissen des Swiss FEL. Als Alternative erforschte man daher sogenannte Feldemissions-Kathoden. Inzwischen haben die Erfahrungen mit dem kalifornischen Röntgenlaser aber gezeigt, dass das PSI seine hochgesteckten Ziele auch mit einer herkömmlichen Elektronenquelle erreichen kann. Damit sei Druck vom PSI genommen worden, so Braun. Die Untersuchung der Feldemissions-Kathoden werde aber im Hinblick auf spätere Verbesserungen trotzdem fortgesetzt.

Eine konkurrenzfähige Anlage

Obwohl der Swiss FEL im Vergleich zu den Röntgenlasern in Stanford und Hamburg sehr viel kompakter und billiger ist – der europäische Röntgenlaser in Hamburg soll über eine Milliarde Euro kosten –, ist man am PSI davon überzeugt, mit der internationalen Konkurrenz mithalten zu können. Zwar wird der XFEL in Hamburg deutlich mehr Röntgenblitze in der Sekunde abfeuern als der Swiss FEL, und die Pulse werden auch brillanter sein. Dafür sei der Swiss FEL aber für kür-

zere Pulse ausgelegt und erlaube damit eine bessere Zeitaufklärung von ultraschnellen Prozessen, sagt Rafael Abela, der für die Experimente und das wissenschaftliche Programm am Röntgenlaser zuständig ist. Als weitere Vorteile nennt Abela, dass sich am Swiss FEL die Wellenlänge der Röntgenstrahlung schnell variieren lässt und auch die Polarisation der Strahlung kontrolliert werden kann. Letzteres sei vor allem für magnetische Messungen wichtig.

Um die Auslastung des Swiss FEL muss man sich wohl keine Sorgen machen. Denn jeder Vorzug gegenüber den heutigen Synchrotronlichtquellen geht mit neuen Anwendungsmöglichkeiten einher. So würde es die ausserordentliche Intensität der Röntgenpulse zum Beispiel er-

lauben, die atomare Struktur von Nanoobjekten bis hin zu einzelnen Molekülen zu bestimmen.

Der wichtigste Vorzug ist aber sicherlich die Kürze der Röntgenpulse und damit die Möglichkeit, Momentaufnahmen von chemischen Reaktionen oder anderen schnellen Prozessen zu machen. Indem man mehrere dieser Momentaufnahmen wie in einem Film aneinanderhängt, lassen sich auch die Zwischenschritte der Reaktionen verfolgen.

Bau des Injektors als Meilenstein

Chemiker versprechen sich davon zum Beispiel ein besseres Verständnis von katalytischen Reaktionen – und Hinweise, wie man diese optimieren kann. Das Interesse von Biologen und Medizinern gilt hingegen eher biochemischen Reaktionen. Sie wollen mit dem Swiss FEL zum Beispiel herausfinden, wie sich strukturelle Veränderungen von Proteinen auf deren Aktivität auswirken. Auch in magnetischen Speichermaterialien sind ultraschnelle Prozesse ein Thema. So interessieren sich Physiker etwa dafür, wie schnell sich die winzigen magnetischen Domänen, in denen die Bits gespeichert sind, umpolen lassen.

Den genannten Beispielen liessen sich viele weitere hinzufügen. Zuerst einmal muss das PSI jedoch beweisen, dass es die Ideen, die in den letzten Jahren entwickelt wurden, auch umsetzen kann. Ein wichtiger Meilenstein ist in dieser Hinsicht der Bau des Injektors. Noch steht zwar erst das Gebäude. Bis Ende 2010 soll die vielleicht kritischste Komponente des gesamten Swiss-FEL-Projekts aber fertiggestellt sein und auf Herz und Nieren geprüft werden.

Christian Speicher

«Man darf sich nicht mit dem Erreichten zufriedengeben»

Ein Gespräch mit Joël Mesot über die Zukunft des Paul-Scherrer-Instituts

Wenn alles nach Plan läuft, soll im Jahr 2016 am Paul-Scherrer-Institut (PSI) eine neue Röntgenlichtquelle, der Schweizer Freie-Elektronen-Laser, in Betrieb genommen werden. Im Gespräch äussert sich der Direktor des PSI, Joël Mesot, dazu, wieso die Schweiz die neue Grossforschungsanlage braucht und wie sie finanziert werden soll.

Wie wichtig ist der Schweizer Freie-Elektronen-Laser (Swiss FEL) für die Zukunft des Paul-Scherrer-Instituts?

Joël Mesot: Der Swiss FEL ist unser wichtigstes Zukunftsprojekt. Um das zu verstehen, muss man sich die Entwicklung des Paul-Scherrer-Instituts vor Augen führen. Bei seiner Gründung im Jahr 1988 war das PSI stark auf die Kernphysik ausgerichtet. In den letzten 20 Jahren hat sich das Institut zu einem Benutzerlabor entwickelt, das mit seinen Grossforschungsanlagen Festkörperphysiker, Materialwissenschaftler, Biologen und Ingenieure aus aller Welt anzieht. Unsere Stärke ist die Bestimmung der Struktur von verschiedensten Materialien. Auf diesem Gebiet haben wir momentan eine führende Position. Wenn man an der Spitze bleiben will, darf man sich aber nicht mit dem Erreichten zufriedengeben. Deshalb kam vor einigen Jahren die Idee auf, eine Anlage zu bauen, die nicht nur starre Strukturen abbilden kann, sondern auch dynamische Prozesse auf kleinsten Zeitskalen sichtbar machen kann. Eine solche Anlage wäre eine optimale Ergänzung zu unserer heutigen Forschungs-Infrastruktur.

Der Swiss FEL soll 250 bis 280 Millionen Franken kosten. Kann ein kleines Land wie die Schweiz eine solche Anlage überhaupt bezahlen?

Das bewegt sich sicherlich an der Grenze dessen, was die Schweiz leisten kann. Allerdings muss der Bund davon nur 180 Millionen Franken besteuern, und das über einen Zeitraum von fünf



«Andere Länder verfolgen ganz genau, was wir machen.»

Joël Mesot

Jahren. Den Rest werden wir über Eigen- und Drittmittel finanzieren. Der Bund muss also nur 20 Millionen Franken mehr bezahlen als seinerzeit für die Synchrotronlichtquelle Schweiz.

Gibt es bereits erste Reaktionen auf das Projekt?

Wir haben das Projekt im Juli dem ETH-Rat vorgestellt und positive Rückmeldungen erhalten. Der ETH-Rat wird noch dieses Jahr offiziell Stellung nehmen. Danach kommt der Vorschlag vor den Bundesrat und das Parlament. 2011 soll dann der Entscheid über die finanzielle Unterstützung fallen. Bis dahin werden wir sicherlich noch viel Überzeugungsarbeit leisten müssen. Gerade in der gegenwärtigen wirtschaftlichen Situation werden wir klarmachen müssen, wie die Schweiz vom Bau des Swiss FEL profitieren wird.

Die Schweiz beteiligt sich mit 27 Millionen Franken am Bau des europäischen Röntgen-Freie-Elektronen-Lasers in der Nähe von Hamburg. Wieso braucht es da noch eine eigene Anlage?

Die Experimentierzeit am europäischen Röntgenlaser wird entsprechend den Beitragszahlungen verteilt. Pro Jahr werden Schweizer Forscher dort etwa 100 bis 200 Stunden Messzeit erhalten. Das ist sehr wenig. In der Schweiz interessieren sich gegenwärtig viele Forscher für die Untersuchung von ultraschnellen Prozessen mit kurzen Röntgenpulsen. Um im internationalen Wettbewerb mithalten zu können, brauchen sie eine eigene Anlage.

Wird der Swiss FEL ausschliesslich Schweizer Forschern zur Verfügung stehen?

Nein, in allen Grossforschungsanlagen am PSI gilt das Open-Access-Prinzip. Das wird auch bei der neuen Maschine der Fall sein, schon um den wissenschaftlichen Wettbewerb zu fördern. Alle Gruppen haben Anträge einzureichen, die von einem unabhängigen Gremium begutachtet werden. Da die Qualität der Forschung in der Schweiz hoch ist, mache ich mir allerdings keine Sorgen, dass die einheimische Forschung zu kurz kommen könnte.

Wie steht es mit den anderen beiden Standbeinen des PSI, der Neutronen- und der Myonenquelle? Gibt es hier Erneuerungsbedarf?

Nein, diese Anlagen sind immer noch auf der Höhe der Zeit. Wir profitieren hier von unserem Protonenbeschleuniger, der zur Erzeugung der Myonen und der Neutronen verwendet wird. Dieser ist zwar nicht so energiereich wie andere Beschleuniger. Dafür liefert er aber einen ausserordentlich hohen Protonenstrom. Das macht unseren Protonenbeschleuniger einzigartig. Viele wissen das nicht. Aber bis heute ist der Beschleuniger der einzige auf der Welt, der in der Leistungsklasse von einem Megawatt operiert.

Was wäre, wenn das Geld für den Swiss FEL nicht bewilligt würde? Haben Sie alternative Pläne in der Schublade?

Nein, das haben wir nicht. Wir sind überzeugt davon, dass der Swiss FEL die richtige Anlage für das PSI und die Schweiz ist. Deshalb haben wir uns in den letzten Jahren voll und ganz auf dieses Projekt konzentriert. An der Entwicklung sind praktisch alle Abteilungen des PSI beteiligt, und es wäre äusserst schade, wenn man die Früchte dieser Arbeit nicht ernten würde. Die Schweiz würde zudem die Chance verpassen, international eine Vorreiterrolle zu spielen. Denn auch in anderen Ländern wird gegenwärtig über ähnliche Anlagen nachgedacht. Dort verfolgt man sehr genau, was am PSI passiert.

Interview: Sp.

INHALT

Lachgas als Gefahr für die Ozonschicht

Lachgas ist nicht nur ein Treibhausgas, sondern auch eine wichtige ozonzerstörende Substanz. Darauf weisen zwei neue Studien hin. 10

Lichtverstärkung in der Glasfaser

Damit optische Signale in Glasfasern über weite Strecken transportiert werden können, braucht es Faserverstärker. Die Bauteile finden heute auch in der Materialbearbeitung Verwendung. 11

redaktion.wissenschaft@nzz.ch

Verantwortlich für diese Beilage: Christian Speicher (Leitung); Alan Niederer, Stephanie Kusma, Hanna Wick, Stefan Betschon, Lena Stallmach