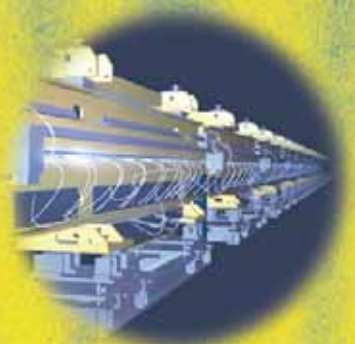




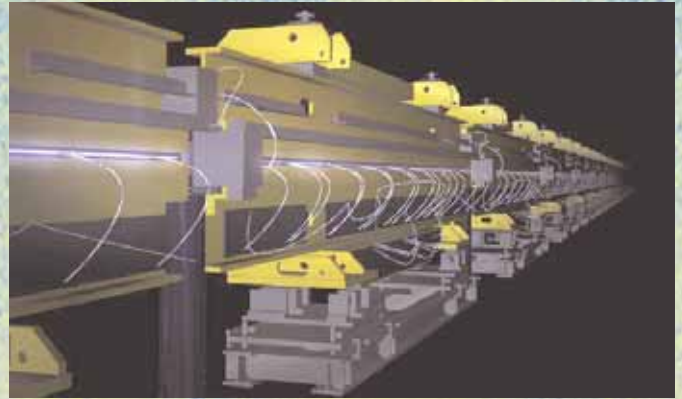
Licht der Zukunft

Die europäische XFEL-Anlage

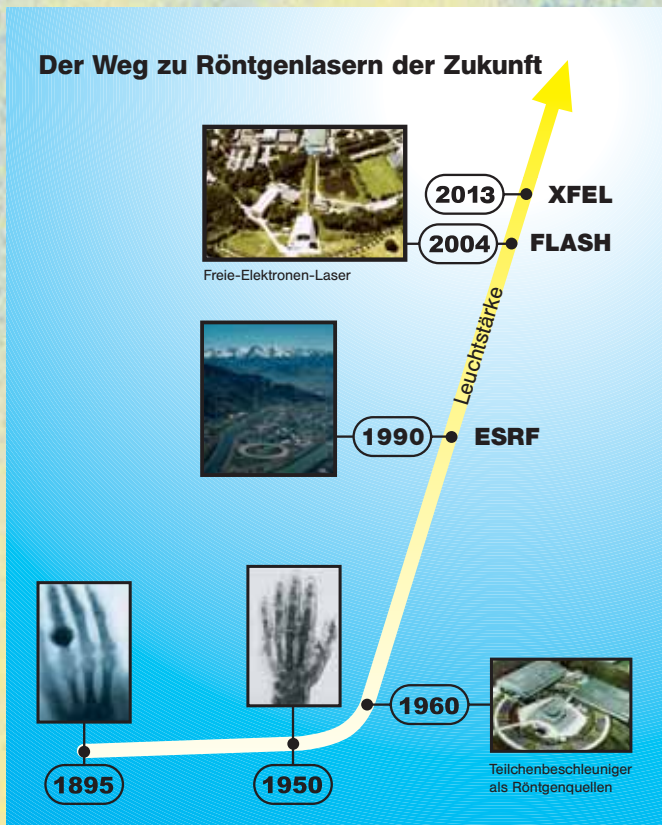


XFEL – Der europäische Freie-Elektronen-Röntgenlaser

Filme im Mikrokosmos drehen, mit atomarer Auflösung erforschen, wie sich Werkstoffe oder Biomoleküle verhalten – eine einzigartige Lichtquelle macht aus Visionen Wirklichkeit. Der vom Forschungszentrum DESY zusammen mit internationalen Partnern als europäisches Projekt geplante Röntgenlaser XFEL wird hochintensive ultrakurze Röntgenblitze mit den Eigenschaften von Laserlicht erzeugen. Den Naturwissenschaften bietet diese Lichtquelle der Superlative ungeahnte Perspektiven. Auch für die Industrie könnten sich neue Möglichkeiten eröffnen.



In einer speziellen Magnetanordnung, dem „Undulator“, entsteht das kurzwellige Laserlicht.



Entwicklung der Quellen für Röntgenstrahlung

Europäische Spitzenforschung

Im Februar 2003 gab das Bundesministerium für Bildung und Forschung grünes Licht für den von DESY vorgeschlagenen Röntgenlaser, der als europäisches Projekt realisiert werden soll. Diese Entscheidung basierte auf einer Empfehlung des Deutschen Wissenschaftsrats zu verschiedenen Großgeräten für die Grundlagenforschung. Die europäische Röntgenlaseranlage XFEL wird ihren Betrieb im Jahr 2013 beginnen. Sie ermöglicht Spitzenforschung in Europa und sichert dem Forschungs- und Industriestandort Deutschland eine führende Rolle.

Lichtquelle der Superlative

Der neue Röntgenlaser dringt in bislang unerreichte Dimensionen vor:

- Seine Leuchtstärke ist in ihren Spitzenwerten milliardenfach höher als die modernster Röntgenquellen, die mittlere Leuchtstärke ist zehntausendfach höher.
- Seine Zeitauflösung ist um Größenordnungen besser als die bisher verfügbarer Quellen: Ein Röntgenblitz ist kürzer als 100 Femtosekunden (100 billionstel Sekunden). Das ist die Zeitdauer, in der sich chemische Bindungen ausbilden und Molekülgruppen ihre Lage ändern.
- Die Wellenlänge seines Röntgenlichts ist so klein, dass selbst atomare Details erkennbar werden. Sie kann im Bereich zwischen sechs und weniger als einem zehntel Nanometer (nano steht für milliardenstel) variiert werden.
- Seine Röntgenstrahlung hat die Eigenschaften von Laserlicht, d.h. sie ist kohärent. Damit sind beispielsweise holographische Experimente auf atomarer Ebene möglich.

Vielseitige Anwendungen

Die unvorstellbar kurzen und intensiven Röntgenpulse ermöglichen es den Forschern, chemische Reaktionen mit atomarer Auflösung regelrecht zu filmen, ebenso Bewegungen von Biomolekülen oder die Entstehung von Feststoffen. Davon profitieren die verschiedensten Naturwissenschaften – von der Physik über die Chemie, die Material- und Geoforschung bis hin zu den Biowissenschaften.

Beispiel Femtochemie

In der Femtochemie jonglieren die Forscher mit winzigen Bruchteilen von Sekunden, um den Ablauf chemischer Reaktionen zu verfolgen. „Femto“ bedeutet Billionstel und Femtosekunden sind die zeitliche Größenordnung, in der Veränderungen auf atomarer Ebene ablaufen, wenn zwei Moleküle miteinander reagieren. Ultraschnelle Laser ermöglichen Momentaufnahmen von Molekülanordnungen, die sich während einer chemischen Reaktion bilden – in Serie ergibt das einen Film des Reaktionsablaufs. Experimente am Röntgenlaser können solche Filme mit bislang unerreichter Detailtreue und Zeitauflösung aufnehmen, wobei die reagierenden Moleküle mit atomarer räumlicher Auflösung abgebildet werden.

Beispiel Strukturbiologie

Mit Hilfe des Röntgenlasers lassen sich biologische Strukturen mit atomarer Auflösung entschlüsseln. Die Röntgenlaserblitze sind so intensiv, dass sich Bilder von einzelnen Molekülkomplexen erzeugen lassen. Auch ihre Bewegungen können Forscher dank der ultrakurzen Belichtungszeiten verfolgen. Solche Einblicke, beispielsweise in den molekularen Ablauf von Infektionen, bilden auch eine wichtige Grundlage für die Entwicklung von Medikamenten.



Struktur eines Ribosoms, der „Eiweißfabrik“ in lebenden Zellen

Beispiel Materialforschung

Mit dem Röntgenlaser blicken Materialforscher in eine dynamische Zukunft: Wie entsteht ein Festkörper, wie vollziehen sich schnelle Übergänge zwischen verschiedenen Zuständen von Materie? Grundlegende Fragen, deren Antworten ganz praktischen Nutzwert haben. Beispiel: Reibung und Verschleiß. Solche dynamischen Prozesse auf atomarer Ebene zu verstehen, ist die Basis dafür, Werkstoffe zu verbessern und neue zu entwickeln. Die Röntgenlaserblitze sind kurz und intensiv genug, um Materialveränderungen auf kleinster Skala zu erfassen. Die ist auch die Grundlage, um maßgeschneiderte Materialien im Nanobereich, also mit Abmessungen von milliardstel Metern, zu entwickeln.

Zukunftstechnologie

Zu dem geplanten Röntgenlaser gehört ein supraleitender Elektronenbeschleuniger. Er bringt dicht gebündelte „Päckchen“ von Elektronen auf Energien von 10 bis 20 Milliarden Elektronenvolt. Anschließend fliegen die lichtschnellen Elektronen im Slalomkurs durch eine spezielle Magnetanordnung, den Undulator. Dabei geben sie Röntgenstrahlung ab, die sich während des Fluges immer mehr verstärkt. Das Ergebnis ist brilliant: außerordentlich intensive und kurze Röntgenblitze mit Lasereigenschaften. Die Voraussetzung dafür ist ein Elektronenstrahl von extrem hoher Qualität. Die bei DESY in internationaler Zusammenarbeit entwickelte supraleitende TESLA-Beschleunigertechnologie macht es heute möglich, einen solchen Strahl zu erzeugen.

Entwicklungsziel erreicht

Dass die innovative Technologie für den neuen Freie-Elektronen-Röntgenlaser funktioniert, stellte die TESLA-Testanlage bei DESY in Hamburg eindrucksvoll unter Beweis. An dieser Anlage entwickelte und erprobte ein internationales Forscherteam von 1992 bis 2004 die erforderlichen technischen Komponenten. Hier wurde nicht nur der Grundstein für das XFEL-Projekt gelegt, sondern auch für den vorgeschlagenen Internationalen Linearcollider (ILC) für die Teilchenphysik. Die supraleitende TESLA-Beschleunigertechnologie liefert die Basis für beide Projekte.

In einem ersten Experiment an dem Freie-Elektronen-Laser der Testanlage konnte ein internationales Wissenschaftlerteam 2002 erstmalig die Wechselwirkung von Materie (Clustern aus Edelgasatomen) mit intensivem Röntgenlicht aus einem Freie-Elektronen-Laser auf extrem kurzen Zeitskalen untersuchen. Die Cluster dienen als Modellsubstanzen, um grundlegende Vorgänge zu verstehen, die relevant sind für die spätere Erforschung von Materie bei extremen Temperaturen und Dichten, von technologisch interessanten Werkstoffen oder medizinisch wichtigen Biomolekülen mit dem Röntgenlaser.



Im Vordergrund ist die Experimentierhalle für den 260 Meter langen Freie-Elektronen-Laser FLASH zu sehen. Dahinter schließt sich das DESY-Gelände an.

FLASH – Der Freie-Elektronen-Laser in Hamburg

FLASH ist ein Freie-Elektronen-Laser bei DESY, an dem seit 2005 Experimente mit kurzweiliger ultravioletter Strahlung durchgeführt werden. Die Anlage (ehemals VUV-FEL) erzeugt mit 13,1 Nanometern die bisher kürzesten Wellenlängen und wird nach ihrem Endausbau weiche Röntgenstrahlung bis hinunter zu einer Wellenlänge von sechs Nanometern liefern. Damit können Wissenschaftler Experimente aus Cluster-, Festkörper- und Oberflächenphysik, Plasmaforschung sowie Molekularbiologie durchführen. Bis zum Jahr 2009 wird FLASH der weltweit einzige Freie-Elektronen-Laser dieser Art sein und somit auch wichtige Erkenntnisse für den XFEL und andere künftige FEL-Projekte liefern. Sowohl FLASH als auch der XFEL basieren auf der supraleitenden TESLA-Beschleunigertechnologie.

Das Forschungszentrum DESY

Das Deutsche Elektronen-Synchrotron DESY wurde 1959 in Hamburg gegründet. Es ist ein mit öffentlichen Mitteln finanziertes nationales Forschungszentrum mit zwei Standorten: in Hamburg und in Zeuthen (Brandenburg). DESY ist Mitglied der Helmholtz-Gemeinschaft Deutscher Forschungszentren.

DESYs Auftrag ist die naturwissenschaftliche Grundlagenforschung mit den Schwerpunkten:

- Entwicklung, Bau und Betrieb von Beschleunigeranlagen
- Untersuchung der fundamentalen Eigenschaften der Materie und Kräfte (Teilchenphysik an HERA)
- Nutzung der Synchrotronstrahlung in Oberflächenphysik, Materialwissenschaften, Chemie, Molekularbiologie, Geophysik und Medizin (Forschung mit Photonen im HASYLAB)

Damit zeichnet sich DESY durch ein breites interdisziplinäres Forschungsspektrum aus.

Das DESY-Gelände liegt im Westen Hamburgs und wird von dem PETRA-Ring umschlossen. Die 6,3 km lange unterirdische HERA-Anlage verläuft auch unter Wohn- und Gewerbegebieten sowie unter dem Hamburger Volkspark.

Etat und Finanzierung

Die jährlichen Zuwendungen von DESY Hamburg betragen 145 Mio. €, von DESY Zeuthen 15 Mio. €. Der Etat wird zu 90 % vom Bund und zu 10 % von der Stadt Hamburg bzw. dem Land Brandenburg getragen.

Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter

Bei DESY angestellt (Doktoranden, Auszubildende und Nachwuchswissenschaftler eingerechnet) sind:

- in Hamburg:
1400 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter, davon
300 Wissenschaftler
- in Zeuthen:
200 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter, davon
65 Wissenschaftler

Internationale Zusammenarbeit

Die Beschleuniger von DESY werden von 2750 Wissenschaftlern aus 33 Nationen für die Forschung genutzt.

950 von ihnen arbeiten im Bereich der Teilchenphysik an HERA, weitere 1800 forschen mit Photonen im HASYLAB.



Deutsches Elektronen-Synchrotron DESY in der Helmholtz-Gemeinschaft

Notkestraße 85, D - 22607 Hamburg
Tel.: 040/8998-0, Fax: 040/8998-3282
desyinfo@desy.de, www.desy.de

Standort Zeuthen

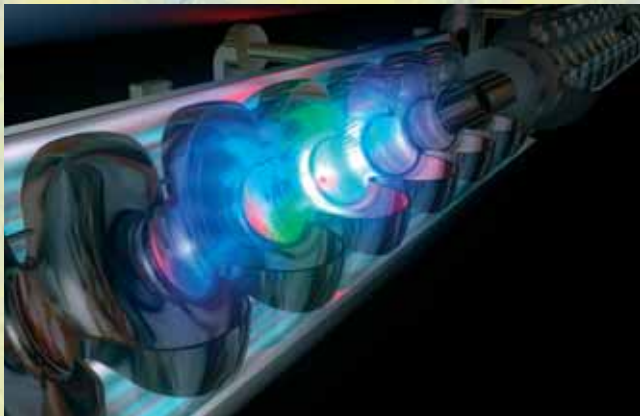
Platanenallee 6
D - 15738 Zeuthen
Tel.: 033762/77-0, Fax: 033762/77-282
desyinfo.zeuthen@desy.de

Redaktion und Herstellung: DESY-PR-
Gestaltung und Grafik: DESY-PR-
Fotos: DESY; ESRF, Grenoble; Max-Planck-Arbeitsgruppen
für strukturelle Molekularbiologie, Hamburg; Option Z,
Thomas Plettau, Frankfurt; Manfred Schulze-Alex, Hamburg
Druck: Dierk Heigener GmbH, Hamburg
Redaktionsschluss: September 2006

Meilensteine auf dem Weg zum XFEL

In internationaler Zusammenarbeit wurde die supraleitende TESLA-Beschleunigertechnologie an einer Testanlage bei DESY in Hamburg entwickelt. Sie ist die Basis für den Röntgenlaser XFEL und für den vorgeschlagenen Internationalen Linearcollider (ILC) für die Teilchenphysik. Unter „Originalbedingungen“ konnte die TESLA *Collaboration* an der Testanlage entscheidende Entwicklungsziele erreichen:

- Im Februar 2000 erzeugten die Wissenschaftler weltweit erstmalig kurzwelliges Laserlicht im ultravioletten Bereich (80 - 180 Nanometer) nach dem neuartigen SASE-Prinzip, auf dem der Röntgenlaser beruht. Die in 50 Femtosekunden langen Lichtblitzen am Freie-Elektronen-Laser erzeugte Anzahl von Photonen ist von gleicher Größenordnung wie die Anzahl der Photonen, die an modernen Synchrotronstrahlungsanlagen in 1 Sekunde erzeugt wird.
- Im Dezember 2002 konnte ein internationales Wissenschaftlerteam an dem Freie-Elektronen-Laser der Testanlage erstmalig die Wechselwirkung von Materie (Clustern aus Edelgasatomen) mit intensivem Röntgenlicht aus einem Freie-Elektronen-Laser auf extrem kurzen Zeitskalen untersuchen.



Elektromagnetische Felder beschleunigen die Elektronen in den supraleitenden Resonatoren.

5. Februar 2003

Grundsatzentscheidung des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF): Das Röntgenlaserlabor soll als europäisches Projekt bei DESY verwirklicht werden, an dem sich Deutschland wegen des Standortvorteils mit bis zu 60 % der Gesamtkosten beteiligt.

2004/2005

Nach seiner Inbetriebnahme Ende 2004 werden an dem Freie-Elektronen-Laser FLASH (damals: VUV-FEL) seit August 2005 an fünf Messplätzen Experimente durchgeführt. Erstmals konnten kleine Teilchen und Strukturen auf einer Längenskala von 30 Nanometern mithilfe einzelner Lichtblitze von 20 Femtosekunden Dauer abgebildet werden.

Bis Ende 2005

Dänemark, Deutschland, Frankreich, Griechenland, Großbritannien, Italien, Polen, Russland, Schweden, Schweiz, Spanien, Ungarn sowie die Volksrepublik China unterzeichnen ein „Memorandum of Understanding“. Es ist die Basis für die Gründung eines unabhängigen europäischen XFEL-Forschungszentrums, an dem sich DESY beteiligen wird.

Juli 2006

Nach zusätzlichen Workshops und eingehenden Diskussionen innerhalb der wissenschaftlich-technischen XFEL-Arbeitsgruppe wird dem internationalen XFEL-Lenkungsausschuss (XFEL ISC) der Technische Design-Report für die Anlage übergeben. Die zuständige Behörde legt den Planfeststellungsbeschluss für den Bau und Betrieb der europäischen XFEL-Anlage vor.

2013

Inbetriebnahme des Röntgenlasers nach etwa 6½ Jahren Bauzeit

Zahlen und Fakten zum XFEL

Freie-Elektronen-Laser, der nach dem SASE-Prinzip arbeitet (*self-amplified spontaneous emission*)

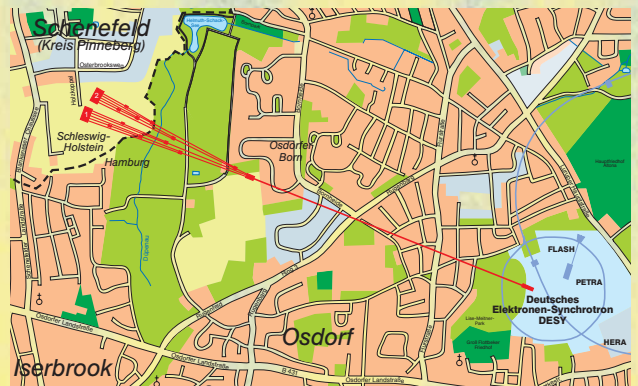
Gesamtlänge der Anlage:	ca. 3,4 km
Beschleunigertunnel:	ca. 2,1 km
Tiefe unter der Erde:	6 - 38 m
Experimentierhalle:	Grundfläche ca. 4500 m ² , Tiefe ca. 14 m
(unterirdisch)	10 Messplätze an 5 Strahlführungen
Ausbauplanung:	zweite Experimentierhalle mit weiteren 10 Messplätzen

Wellenlänge der Röntgenstrahlung: 6 bis 0,085 Nanometer (nm), entsprechend einer Elektronen-Energie von 10 bis 20 Milliarden Elektronenvolt (GeV)

Länge der Lichtpulse: unter 100 Femtosekunden (fs)

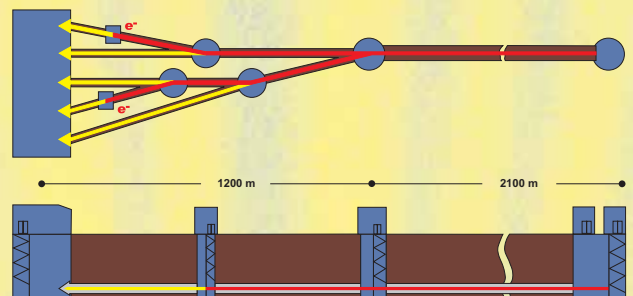
Kosten

Die Gesamtkosten für den Bau der europäischen XFEL-Anlage einschließlich der 10 Messplätze betragen 986 Millionen Euro (Preisniveau des Jahres 2005). Darin sind Investitions- und Personalkosten enthalten. Deutschland trägt als Sitzland bis zu 60 % der Baukosten, mindestens 40 % werden von den internationalen Partnerländern eingeworben.



Standort des XFEL

Die drei Betriebsgelände des XFEL-Standorts liegen in Hamburg und Schleswig-Holstein. Der Tunnel für den Linearbeschleuniger beginnt beim DESY-Gelände in Hamburg. Hier befinden sich auch die zentralen Versorgungsstationen. Die Experimente werden in einer unterirdischen Experimentierhalle durchgeführt, die im Süden der an Hamburg grenzenden Stadt Schenefeld (Kreis Pinneberg) liegt. Später ist hier der Bau einer zweiten Experimentierhalle vorgesehen.



Schematische Darstellung der Röntgenlaseranlage (Aufsicht und Seitenansicht, nicht maßstabsgetreu). Die roten und gelben Linien markieren die Elektronen- bzw. Photonen-Strahlführungen.