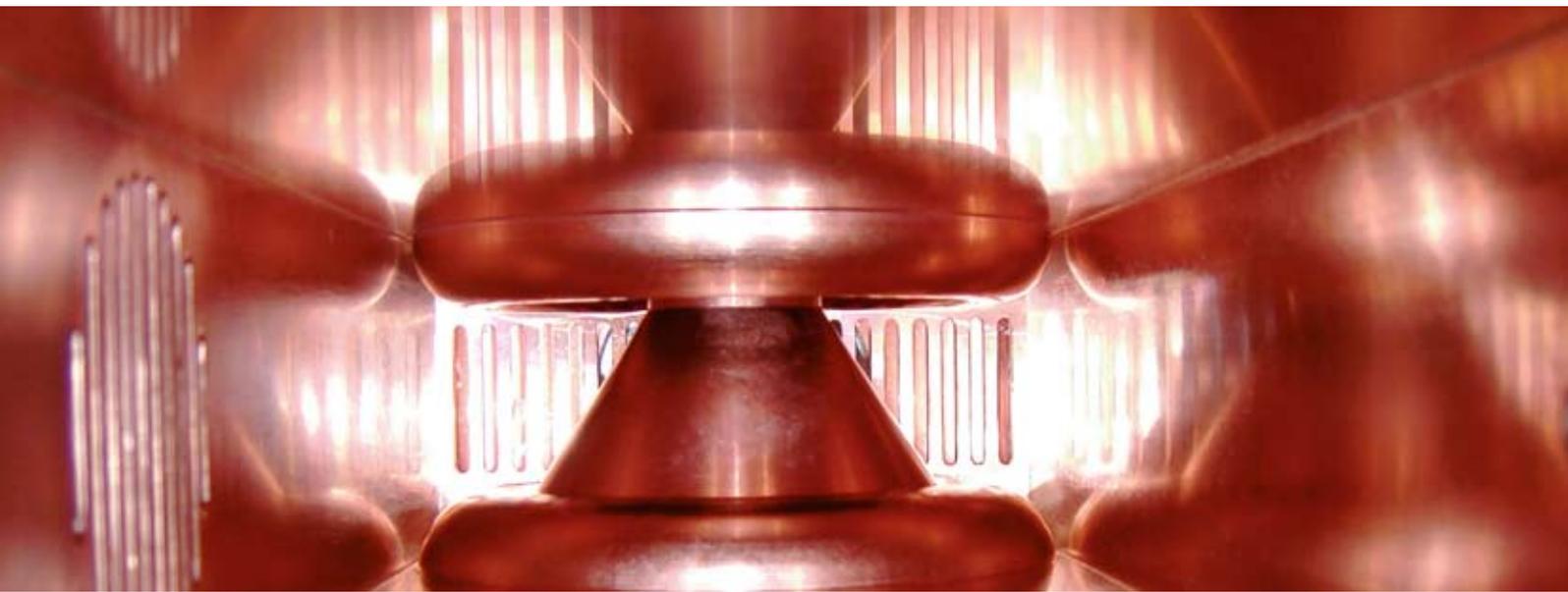


ELEKTRONEN QUELLE.

Der Photoinjektor-Teststand
in Zeuthen, PITZ



Atome im Blitzlichtgewitter, Filmen in der Nanowelt, Hologramme von Molekülen, Sternenmaterie im Röntgenlicht – eine stetig wachsende Anzahl von Experimenten naturwissenschaftlicher oder industrieller Art verlangt nach Röntgenstrahlung extrem hoher Intensität und Qualität. Um diese zu erzeugen, sind Elektronenquellen mit besonderen Eigenschaften erforderlich.

Beschleuniger | Forschung mit Photonen | Teilchenphysik

Deutsches Elektronen-Synchrotron
Ein Forschungszentrum der Helmholtz-Gemeinschaft



Freie-Elektronen-Laser (FEL) erzeugen Licht mit hoher Brillianz in einem weiten Spektralbereich von Infrarot bis Röntgenstrahlung. Dieses Licht erlaubt eine Vielzahl neuartiger Experimente z. B. in der Untersuchung der Struktur der Materie. Im Jahr 2007 fiel der Startschuss für das europäische Röntgenlaserprojekt XFEL am DESY-Standort in Hamburg. Durch die Entwicklung der Elektronenquelle, welche die Voraussetzung für die Erzeugung des XFEL-Lichtes ist, liefert der Photoinjektor Teststand Zeuthen, PITZ, einen wichtigen Beitrag zur erfolgreichen Verwirklichung des XFEL. Schon heute wird der Freie-Elektronen-Laser Hamburg (FLASH), ein Pilotprojekt für den XFEL, bei DESY in Hamburg mit einer bei PITZ optimierten Elektronenquelle betrieben.

Die Quelle bestimmt die Qualität

In einem Freie Elektronen Laser wird das Licht mit Hilfe von Elektronenpaketen erzeugt, die nach einer Beschleunigung auf nahezu Lichtgeschwindigkeit eine spezielle Magnetstruktur, dem Undulator, durchlaufen. Im Undulator werden die Elektronen auf einen Zick-Zack-Kurs gebracht und beginnen Strahlung abzugeben (siehe Abbildung). Je mehr Elektronen zur gleichen Zeit und auf engstem Raum strahlen, desto höher ist die Intensität des Lichtes. Die Qualität des Elektronenstrahles wird

maßgeblich von der Elektronenquelle bestimmt. Die Quelle muss daher innerhalb von wenigen Millionstel einer Millionstel Sekunde (Picosekunde) mehrere Milliarden Elektronen produzieren, die sich dicht gepackt auf weitgehend parallel verlaufenden Flugbahnen bewegen sollen – quasi zusammengeschnürt wie in einem Paket. Um solche neuartigen Elektronenquellen bereitzustellen, wurde der Photoinjektor-Teststand in Zeuthen, PITZ, in Betrieb genommen.

Energierreiche Elektronen

Das eigentliche Kernstück des Photoinjektors, die Elektronenquelle, ist ein Hohlraumresonator, an dessen Stirnseite sich die Photokathode befindet. Basierend auf dem photoelektrischen Effekt, trifft ultraviolettes Licht auf die Photokathode und löst die Elektronen heraus (siehe umseitige Abbildungen). Ein hochfrequentes elektromagnetisches Feld beschleunigt die Elektronen im Inneren des Hohlraumresonators. Bei einer Beschleunigungsspannung von vielen Millionen Volt pro Meter erreichen die Elektronen bereits nach wenigen Millimetern nahezu Lichtgeschwindigkeit, verlassen den Hohlraumresonator und fliegen dann durch ein Strahlrohr. Das alles findet unter Ultra-Hochvakuumbedingungen statt. Die Qualität der so erzeugten Elektronenpakete wird hauptsächlich dadurch

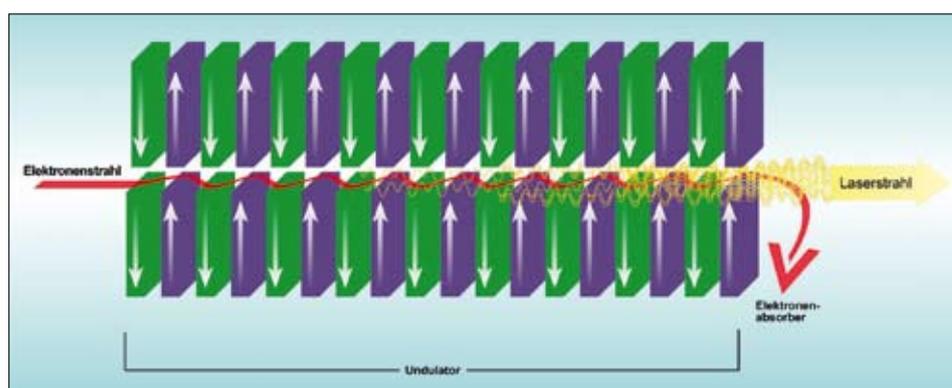
beeinträchtigt, dass sich die Teilchen aufgrund ihrer gleichen Ladung gegenseitig abstoßen. Nur durch die schnelle Beschleunigung der Elektronen und Anwendung eines externen Magnetfeldes, das wie eine optische Linse funktioniert, wird eine ausreichende Bündelung der Elektronen erreicht. Diese verlassen dann den Hohlraumresonator als dichtes Paket.

Entlang des Strahlrohres werden die Eigenschaften der Elektronenpakete sehr genau vermessen, damit ein genaues Bild von den physikalischen Prozessen bei ihrer Erzeugung entsteht und die Elektronenquelle optimiert werden kann.

Unter anderem wird die zeitliche Länge, die Energieverteilung, aber auch die räumliche Ausdehnung der Elektronenpakete gemessen und bestimmt, wie gut die Flugbahnen der einzelnen Teilchen parallel verlaufen. Je besser man diese Parameter optimieren kann, umso intensiver ist das Licht, das später mit dem Undulator erzeugt wird.

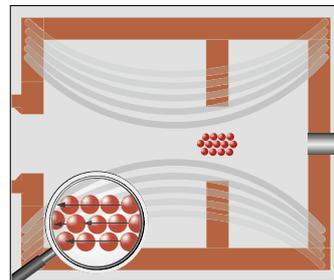
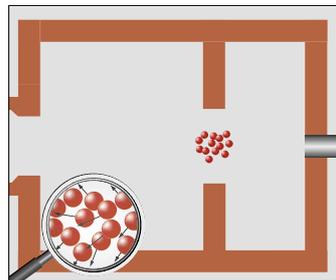
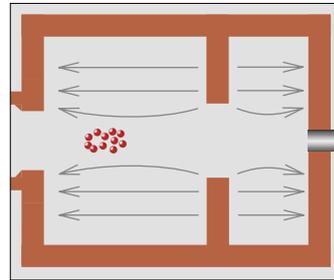
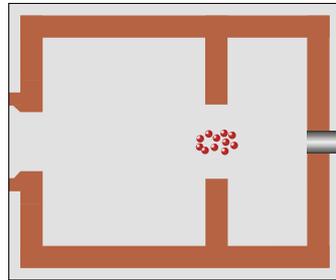
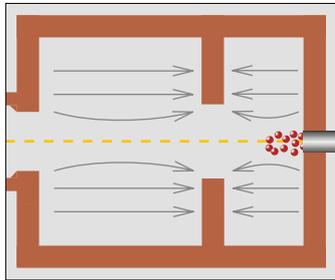
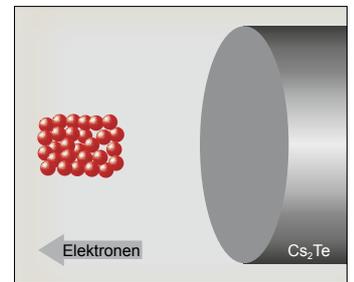
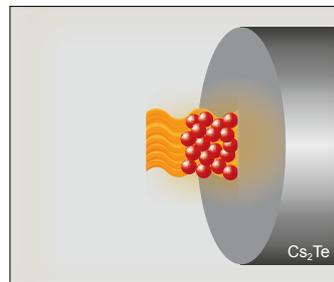
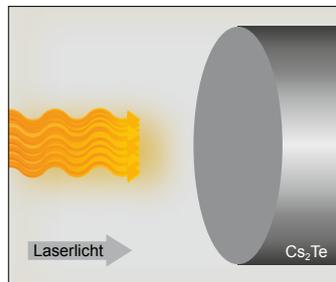
Status und Erfolge

Die Qualität einer bei PITZ optimierten Elektronenquelle war so gut, dass diese seit 2004 bei FLASH eingesetzt wird. Das dort erzeugte ultraviolette FEL-Licht wird von Forschergruppen aus aller Welt in unterschiedlichsten Experimenten genutzt.



- Undulatorstruktur zur Erzeugung von Röntgenlicht: Die Elektronen (rot) werden durch die Magnete (grün/lila) auf Zick-Zack-Kurs gebracht. Dabei entsteht Röntgenlicht (gelb).





Elektronenpaket ohne Fokussierung

Elektronenpaket mit Fokussierung

Oben: Laserlicht löst Elektronen aus der Photokathode.
 Mitte: Die Elektronen werden durch ein starkes elektromagnetisches Wechsel-
 feld beschleunigt, gleich einem Surfer auf
 einer Wasserwelle.
 Unten: Durch ein geeignetes Magnetfeld
 wird der Elektronenstrahl zusätzlich
 gebündelt.

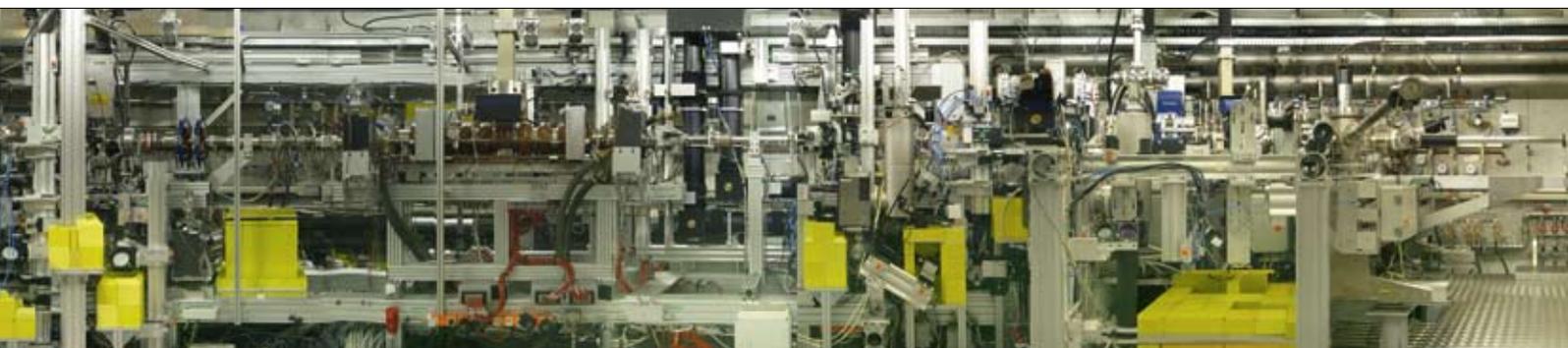
PITZ arbeitet auf konkrete Zielvorgaben hin, die für den Betrieb des zukünftigen europäischen XFEL erforderlich sind. Im Jahr 2007 wurden erstmals wichtige Spezifikationen für die spätere Quelle des XFEL in einem Pilotexperiment erfolgreich nachgewiesen. Bis zum Sommer 2008 wurde der experimentelle Aufbau von PITZ wesentlich erweitert, so dass der unten dargestellte Aufbaustand erreicht wurde. Die Elektronenquelle selbst befindet sich innerhalb zweier blauer Magnete, die auf der rechten Seite des Bildes dargestellt sind.

PITZ in Zukunft

Um die hohen Anforderungen des XFEL zu erfüllen, müssen alle verwendeten Komponenten weiter verbessert und optimiert werden: Angefangen beim Photokathoden-Laser bis hin zu den Diagnosekomponenten zur Vermessung des Elektronenstrahls. Das Ziel dieser Anstrengungen ist eine zuverlässige Elektronenquelle, die die XFEL-Spezifikationen im Routinebetrieb erfüllt. ●

Projekt mit vielseitiger Beteiligung

Die Projektgruppe besteht derzeit aus ca. 12 Mitarbeitern. Die Physiker werden von Fachleuten aus den Bereichen Mechanik, Elektronik, Rechnen und der technischen Infrastruktur unterstützt. Neben DESY beteiligen sich an diesem Projekt: Helmholtz-Zentrum Berlin, MBI Berlin und die TU Darmstadt sowie eine große Anzahl internationaler Partner, z.B. aus Armenien, Bulgarien, Frankreich, Großbritannien, Italien und Russland.





Deutsches Elektronen-Synchrotron Ein Forschungszentrum der Helmholtz-Gemeinschaft

Die Helmholtz-Gemeinschaft leistet Beiträge zur Lösung großer und drängender Fragen von Gesellschaft, Wissenschaft und Wirtschaft durch wissenschaftliche Spitzenleistungen in sechs Forschungsbereichen.

Sie ist mit 26500 Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern in 15 Forschungszentren und einem

Jahresbudget von rund 2,3 Milliarden Euro die größte Wissenschaftsorganisation Deutschlands. Ihre Arbeit steht in der Tradition des großen Naturforschers Hermann von Helmholtz (1821–1894).

www.helmholtz.de