

*XFELinfo*

---

**Wissenswertes rund um das europäische Röntgenlaserprojekt XFEL**

# Inhaltsverzeichnis

---

Über dieses Dokument. ....	3
An wen richtet sich dieses Angebot?.....	3
Wissensdurststufen. ....	3
Wissensdurststufe 'klein'.....	3
Wissensdurststufe 'mittel'.....	4
Wissensdurststufe 'groß'.....	4
<b>XFEL: Die längste Röntgenlichtquelle Europas.</b> .....	5
<b>Projekt: Ein europäisches Projekt in Deutschland.</b> .....	6
Der Standort des XFEL.....	6
Sicherheit.....	7
Zahlen und Fakten.....	9
Allgemeines.....	9
Der Beschleuniger.....	10
Der Laser.....	10
Die Experimentierhallen.....	11
<b>Forschung: Forschungsvielfalt am XFEL.</b> .....	13
<b>Lichtquelle: Röntgenlaserblitze der besonderen Art.</b> .....	14
<b>Röntgenlicht: Licht, das unter die Haut geht.</b> .....	15
<b>Freie-Elektronen-Laser: Gemeinsam sind sie stark.</b> .....	16
Impressum.....	17
Anbieter.....	17
Elektronischer Kontakt.....	17
Adresse.....	17
Briefanschrift.....	17
Mitwirkende.....	18
Standards und Barrierefreiheit.....	18
Lexikon.....	19

## Über dieses Dokument

---

Dieses Dokument ist die Druckfassung des Informations- und Lernangebots **XFELinfo** unter <http://xfelinfo.desy.de>. Es beschreibt das europäische Röntgenlaserprojekt XFEL. Die jeweils aktuellste Fassung finden Sie unter der oben angegebenen Webadresse.

Dieses Dokument besteht aus verschiedenen Themen wie „Projekt“, „Anwendungen“ und „Röntgenlicht“, zu denen - je nach eingestellter Wissensdurststufe - vertiefende Informationen verfügbar sind. Das Dokument schließt mit einem Lexikon ab, in dem alle wichtigen Begriffe kurz und knapp erläutert werden.

## An wen richtet sich dieses Angebot?

---

Dieses Angebot richtet sich an alle, die mehr über das XFEL-Projekt erfahren wollen. Es setzt - zumindest in den einfachen Wissensdurststufen - kein naturwissenschaftliches Vorwissen voraus.

## Wissensdurststufen

---

**XFELinfo gibt es in unterschiedlichen Wissensdurststufen: Je nachdem, wie viel sie über das Projekt erfahren wollen, können Sie aus den Stufen klein, mittel und groß auswählen.**

### Wissensdurststufe 'klein'

In der kleinen Wissensdurststufe erfahren Sie das Allerwichtigste, das es über den XFEL zu wissen gibt. Wozu ist er da? Wer baut ihn? Und wo?

Zu erkennen sind Inhalte dieser Wissensdurststufe am Symbol



## **Wissensdurststufe 'mittel'**

In der mittleren Wissensdurststufe lernen Sie weitere Details über den XFEL: Woraus besteht die XFEL-Anlage? Welche Forschung wird mit dem XFEL möglich sein? Wie wird ein so großes Projekt geplant und durchgeführt? Zudem gibt's weitere Hintergrundinformation zum Röntgenlicht, sichtbarem Licht und Co.

Zu erkennen sind Inhalte dieser Wissensdurststufe am Symbol



## **Wissensdurststufe 'groß'**

Die große Wissensdurststufe liefert die meisten Details zum XFEL: Wie ist sein Beschleuniger aufgebaut? Wie funktionieren Vakuumtechnik und Supraleitung? Was ist das Besondere an den Röntgenlaserblitzen?

Zu erkennen sind Inhalte dieser Wissensdurststufe am Symbol



*XFEL*

## *Die längste Röntgenlichtquelle Europas*

---

**XFELinfo liefert Wissenswertes und Allgemeinverständliches rund um das europäische Röntgenlaserprojekt XFEL.**

Mit dem europäischen Röntgenlaserprojekt XFEL wird an der Grenze zwischen Hamburg und Schleswig-Holstein ein ganz besonderes Licht aufgehen. Denn die einzigartigen Röntgenlaserblitze des XFEL eröffnen völlig neue experimentelle Möglichkeiten. Mit ihnen lassen sich chemische Reaktionen filmen, atomare Details von Molekülen entschlüsseln und dreidimensionale Aufnahmen aus dem Nanokosmos machen. Der XFEL wird damit Spitzenforscherinnen und -forscher aus der ganzen Welt anziehen.

Die Abkürzung XFEL steht für „Röntgenlicht-Freie-Elektronen-Laser“ (*X-ray free-electron laser*) und beschreibt die Funktionsweise der Anlage: Im XFEL werden Elektronen zunächst auf hohe Energien beschleunigt und danach zur Aussendung von hochintensiven Röntgenlaserblitzen gebracht.

Geplant wird der Röntgenlaser als europäisches Projekt mit starker Anbindung an das Forschungszentrum DESY in Hamburg. Im Frühjahr 2008 soll mit seinem Bau und Ende 2013 mit seiner Inbetriebnahme begonnen werden.

Dieses Informationsangebot stellt Ihnen das Projekt im Detail vor. Wie stark Sie dabei in die Welt der Röntgenlaserblitze, Teilchenbeschleuniger und Supraleitung abtauchen wollen, können Sie anhand des einstellbaren Wissensdurstes selbst entscheiden.

## *Projekt*

# *Ein europäisches Projekt in Deutschland*

---

**Erfahren Sie hier Details zum Projekt - zu Beteiligten, Zeitplänen und den Stand der Entwicklung.**

Der Röntgenlaser XFEL ist als Projekt mit europäischer Beteiligung geplant. Am Rande der schleswig-holsteinischen Stadt Schenefeld (Kreis Pinneberg) wird hierfür ein völlig neues Forschungszentrum entstehen. Dort werden die Röntgenlaserblitze, die zuvor in einer 3,4 km langen Anlage erzeugt wurden, für Forschungszwecke genutzt. Aufgrund seiner Ausmaße ist der XFEL die längste künstliche Lichtquelle auf Erden.

Die veranschlagten Kosten für das Projekt betragen 986 Millionen Euro. Der Baubeginn ist für das Frühjahr 2008 geplant, der Start der Inbetriebnahme für Ende 2013. Im Jahr darauf soll es dann schon heißen: Beschleuniger los, Licht an und Action!

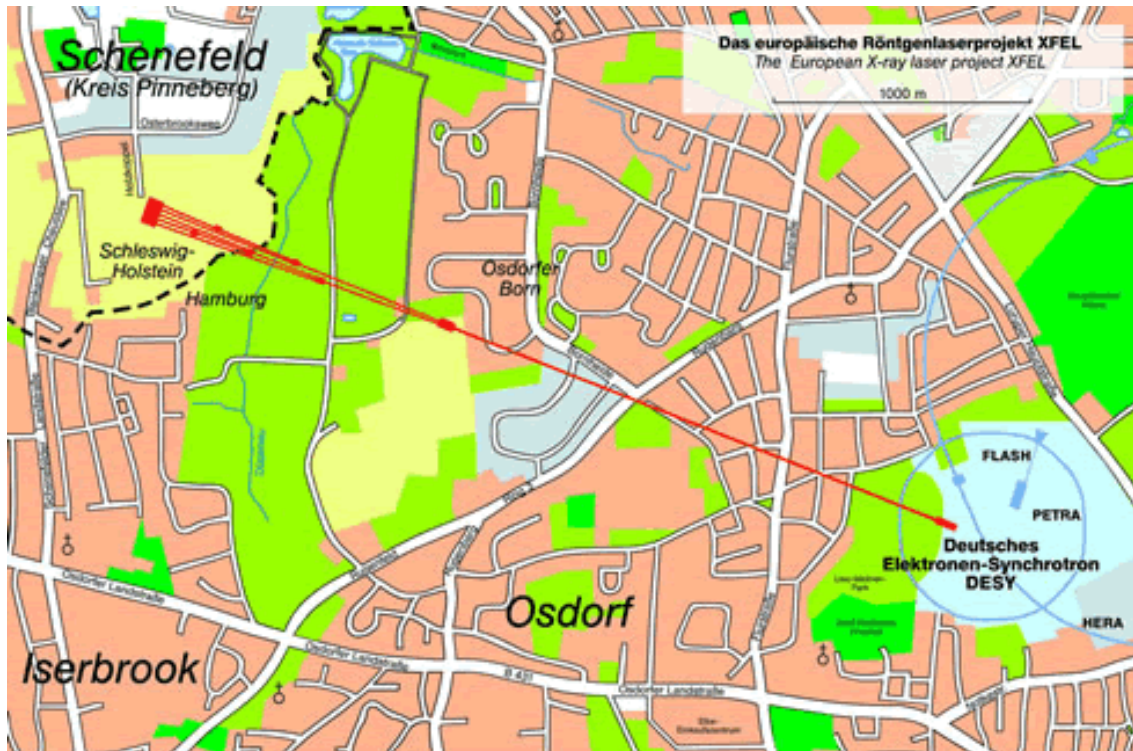
## **Der Standort des XFEL**

---

**Der 3,4 Kilometer lange Röntgenlaser wird vom DESY-Gelände bis zur Stadt Schenefeld verlaufen. Der überwiegende Teil der Anlage befindet sich dabei sechs bis 38 Meter unter der Erde.**

Der Plan sieht vor, die 3,4 Kilometer lange Röntgenlaseranlage auf dem DESY-Gelände in Hamburg-Bahrenfeld anfangen zu lassen. Sie wird dann in nordwestliche Richtung verlaufen und in der schleswig-holsteinischen Stadt Schenefeld (Kreis Pinneberg) enden. Hier soll eine Experimentierhalle mit zehn Messstationen errichtet werden. Das Gelände ist für eine zweite Halle ausgelegt, die in einer zweiten Ausbaustufe errichtet wird.

Der Hauptteil der Anlage befindet sich in Tunneln in einer Tiefe zwischen sechs und 38 Meter unter der Erde.



Der Standort des Projekts

Die Versorgungsgebäude – wie zum Beispiel für Kälte und Energie – können auf dem DESY-Gelände errichtet werden, so dass dafür keine neuen Grundstücke erworben werden müssen. Bestehende Einrichtungen lassen sich dabei teilweise nutzen. Die Anbindung an DESY bietet einen weiteren Vorteil: Weit in die Zukunft geschaut, könnte man den Linearbeschleuniger des Röntgenlasers später mit auf dem DESY-Gelände schon vorhandenen Teilchenbeschleunigern verbinden, um neue Möglichkeiten für die Wissenschaft zu schaffen.

## Sicherheit

---

**Trotz der Durchschlagungskraft der Röntgenlaserblitze: Der XFEL ist ungefährlich und kann ohne Risiken unter und in dicht besiedeltem Gebiet betrieben werden. Mehrfache Sicherheitsmechanismen sorgen dafür, dass von ihm keine Gefährdung für die Umwelt ausgeht, selbst bei einer eventuellen Betriebsstörung nicht.**

DESY ist weltweit das Forschungsinstitut mit der umfassendsten Erfahrung bei der Errichtung und beim Betrieb von Teilchenbeschleunigern und Röntgenstrahlungsquellen in der Nachbarschaft von Wohngebieten. Seit über 40 Jahren betreibt DESY Beschleunigeranlagen mitten in Hamburg. Dazu gehören derzeit der 6,3 Kilometer lange unterirdische Ringbeschleuniger HERA, der unter Wohn- und Gewerbegebieten und dem Hamburger

Volkspark verläuft, sowie die Röntgenstrahlungsquelle DORIS. Der Betrieb dieser Anlagen verläuft völlig problemlos; in all den Jahren kam es zu keinerlei Belastungen der Bevölkerung.



**Der 6,3 Kilometer lange unterirdische HERA-Beschleuniger bei DESY ist seit 1992 im Forschungsbetrieb. Er verläuft zu 80 Prozent außerhalb des DESY-Geländes – unter Wohn- und Gewerbegebieten, der Bahrenfelder Trabrennbahn und dem Hamburger Volkspark.**

Auch der XFEL kann ohne Risiken unter und in besiedeltem Gebiet errichtet und betrieben werden: Er erzeugt weder Lärm noch giftige Abgase und kann auch nicht explodieren. Lediglich im Betrieb entsteht ionisierende Strahlung (umgangssprachlich „radioaktive Strahlung“), so dass sich Menschen während des Betriebs der Anlage nicht innerhalb der Tunnel sowie in unmittelbarer Nähe der Experimentiereinrichtungen aufhalten dürfen. Dass niemand die entsprechend gesperrten Bereiche betritt, gewährleisten erprobte, bei DESY seit Jahren übliche Zugangskontrollsysteme.

Da sowohl der Beschleunigertunnel als auch der Röntgenlaserfächer tief genug unter der Erde verlaufen, ist die Strahlung, die durch das Erdreich bis an die Oberfläche dringen kann, im Vergleich zu der überall vorhandenen natürlichen Strahlung vernachlässigbar gering. Auch für Erdreich, Wasser und Luft geht vom XFEL keine Gefahr aus: Selbst unmittelbar in der Umgebung der Tunnelröhre ist die in 20 Betriebsjahren entstehende Radioaktivität im Erdreich geringer als die im Boden von Natur aus vorhandene Radioaktivität, und die radioaktive Belastung für Grundwasser und Tunnelluft liegt weit unterhalb der gesetzlichen Grenzwerte.



Auch bei einer eventuellen Betriebsstörung bestehen für die Umwelt keine Gefahren: Eine aus technischer Sicht gravierende Störung tritt auf, wenn der Elektronenstrahl seine Bahn im Beschleuniger verlässt. Wegen seiner gebündelten hohen Energie würde er dann Teile des Röntgenlasers zerstören, was zu einem langen Ausfall der gesamten Anlage führen würde. Schon deshalb ist der XFEL bereits vom Prinzip her so konzipiert, dass in solch einem Fall die Teilchenstrahlen sogleich in die entsprechenden Elektronenauffänger gelenkt werden und die ganze Anlage sofort automatisch abgeschaltet wird. Auch im Normalbetrieb werden die für den XFEL benötigten Elektronen nach der Erzeugung der Röntgenstrahlung in Elektronenauffänger gelenkt, in denen sie abgebremst werden und ihre Energie in Wärme umgewandelt wird. Diese Elektronenauffänger befinden sich in speziell abgeschirmten Schächten tief unter der Erde, so dass auch hier die an die Erdoberfläche gelangende Strahlung gegenüber der in der Natur immer vorhandenen Strahlung vernachlässigbar gering ist. Was die Röntgenlaserstrahlung betrifft, so kann diese gleich hinter den Experimenten in Auffängern aus Blei abgebremst und vernichtet werden. Die einzelnen Experimentierstationen befinden sich hinter entsprechenden Abschirmwänden und in unzugänglichen Bereichen, so dass in den Experimentierhallen außerhalb dieser Bereiche auch während des Betriebs gearbeitet werden kann.

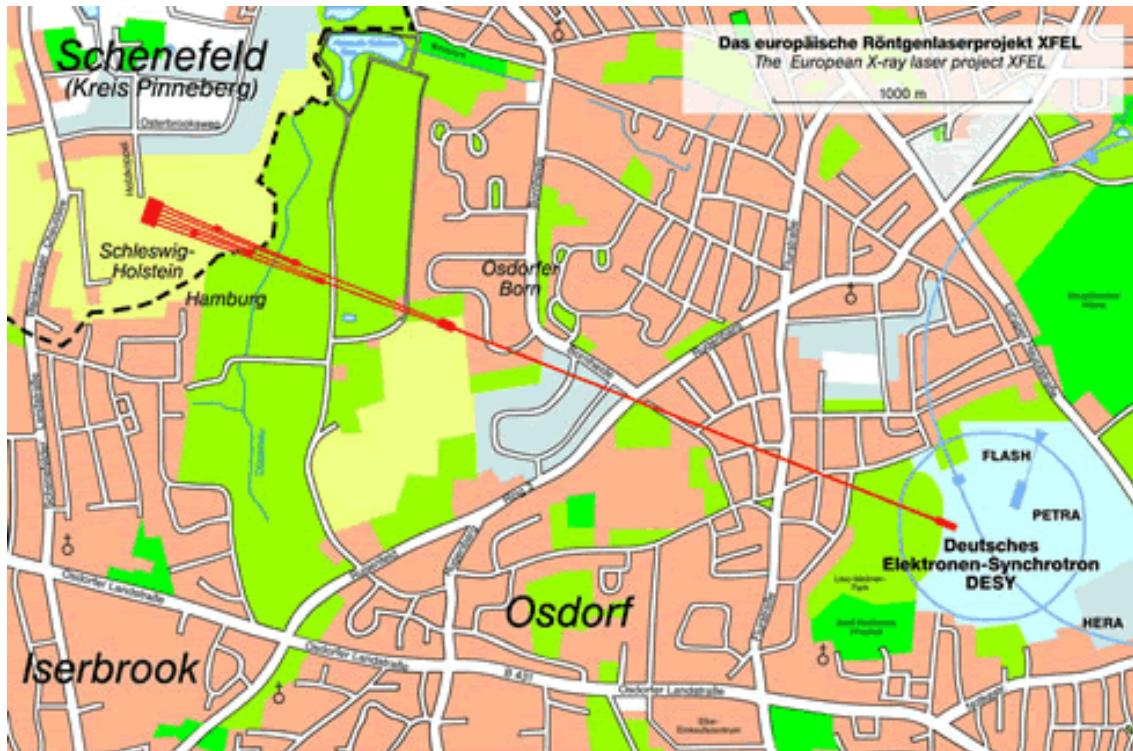
## Zahlen und Fakten

---

Erfahren Sie hier mehr zu den Kosten und der Funktionsweise des XFEL in einer Übersicht der wichtigen Details.

### Allgemeines

- **Gesamtlänge der Anlage:** ca. 3,4 Kilometer
- **Standort:** Die Anlage wird auf dem DESY-Gelände in Hamburg-Bahrenfeld beginnen und in nordwestliche Richtung bis zur schleswig-holsteinischen Stadt Schenefeld (Kreis Pinneberg) verlaufen.
- **Betriebsgelände:** Ein Großteil der Anlage befindet sich in Tunneln unter der Erde. Oberirdisch wird die Anlage an drei Betriebsgeländen in Erscheinung treten (DESY-Bahrenfeld, Osdorfer Born und Schenefeld). Dort befinden sich Versorgungsbauwerke sowie Zugangs- und Experimentiergebäude.
- **Kosten:** Für den Bau des XFEL wird derzeit mit Kosten in Höhe von ca. 986 Millionen Euro gerechnet. Deutschland trägt als Sitzland etwa 60 Prozent der Kosten, die verbleibende Summe wird von den europäischen Partnern eingeworben.



Der Standort des Projekts

## Der Beschleuniger

Um die XFEL-Röntgenlaserblitze zu erzeugen, werden zunächst Elektronen auf hohe Energien beschleunigt.

- **Länge des Beschleunigertunnels:** ca. 2,1 Kilometer
- **Tiefe der Tunnel unter der Erde:** ca. 6 – 38 Meter
- **Energie der Elektronen:** 10 bis 20 Milliarden Elektronenvolt
- **Betriebstemperatur der Beschleunigerelemente:** minus 271 Grad Celsius

## Der Laser

Nach der Beschleunigung werden die Elektronen in einem Tunnelfächer auf Magnetfeldanordnungen (so genannte Undulatoren) verteilt, in denen sie zur Erzeugung von Röntgenlaserblitzen angeregt werden.

- Die **Leuchtstärke** des XFEL setzt neue Maßstäbe: Seine Spitzenbrillanz milliardenfach

größer als die herkömmlicher Strahlungsquellen, die mittlere Brillanz immer noch 10 000-mal größer.

- Die **Dauer** der Lichtpulse wird bei unter 100 milliardstel Sekunden (100 Femtosekunden) liegen. Damit lassen sich selbst chemische Reaktionen filmen, die für andere Verfahren viel zu schnell ablaufen.
- Die **Wellenlänge** der Röntgenlaserblitze kann im Bereich von 0,085 bis 6 milliardstel Metern (Nanometer) variiert werden. Damit werden selbst atomare Details erkennbar.
- Die Röntgenlaserblitze werden die Eigenschaften von **Laserlicht** aufweisen. Damit werden beispielsweise dreidimensionale Aufnahmen aus dem Nanokosmos möglich.
- Zur Lichterzeugung kommt der **SASE-Effekt** (*self-amplified spontaneous emission*) zum Einsatz. Dabei wechselwirken die Elektronen mit der Strahlung, die sie (oder ihre Nachbarn) aussenden. Dadurch bilden die Elektronen Kleinstgruppen, die so angeordnet sind, dass sich die spontan abgegebene Strahlung laserlichtartig verstärkt.

## Die Experimentierhallen

In Experimentierhallen stehen die Röntgenlaserblitze Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern für ihre Forschung zur Verfügung.

- **Experimentierhallen:** zunächst wird eine unterirdische Experimentierhalle mit 10 Messplätzen an 5 Strahlführungen realisiert. Für die Ausbaustufe des XFEL ist eine weitere solche Halle geplant. Die Messplätze werden im 24-Stunden-Betrieb genutzt.



## Die Experimentierhalle (Architekturbeispiel)

## *Forschung* *Forschungsvielfalt am XFEL*

---

**Lernen Sie, welche Möglichkeiten der XFEL für die Forschung eröffnen wird.**

Das europäische Röntgenlaserprojekt XFEL wird Experimentierfelder erschließen, von denen Wissenschaftler bisher nur träumen durften.

Die XFEL-Röntgenlaserblitze sind beispielsweise so kurz, dass sich damit chemische Reaktionen filmen lassen. Belichtungszeiten im Bereich von billiardstel Sekunden garantieren, dass nichts verwackelt. Nutzen lassen sich solche Aufnahmen etwa, um die Prozesse in Brennstoff- und Solarzellen besser zu verstehen. Die Forscher können aber auch Biomolekülen bei der Arbeit zuschauen oder im Detail untersuchen, wie sich Atome und Moleküle zu Werkstoffen formen.

Bei den möglichen Anwendungen der XFEL-Röntgenlaserblitze ist für jeden etwas dabei: Ob Chemiker, Biologen, Materialforscher oder Physiker – das Projekt wird von interdisziplinärem Nutzen sein. Auch der Industrie werden sich ganz neue Möglichkeiten eröffnen.

Zudem bringt der XFEL viele unterschiedliche Denk- und Wissensrichtungen zusammen, die sich gegenseitig fordern und fördern werden. Die Erfahrung zeigt, dass aus einem solchen Wechselspiel vielfältige Anregungen und Ideen erwachsen, die zu konkreten Produkten und Produktverbesserungen führen.

*Lichtquelle*

## *Röntgenlaserblitze der besonderen Art*

---

**Begreifen Sie, was Licht ist, wie Laser funktionieren und wie die Röntgenblitze entstehen.**

Die Röntgenlaserblitze des XFEL sind von ganz besonderer Art:

- Die Dauer der XFEL-Blitze beträgt weniger als 100 milliardstel Sekunden (100 Femtosekunden). Das ermöglicht beispielsweise das Filmen von chemischen Reaktionen, ohne dass die Aufnahmen verwackeln.
- Die XFEL-Blitze sind so kurzweilig, dass sich mit ihnen atomgroße Objekte untersuchen lassen.
- Die Spitzenleistung des XFEL wird das Milliardenfache moderner Röntgenquellen erreichen. Dadurch lassen sich beispielsweise ganz neue Klassen von Molekülen untersuchen.
- Zudem sind die Blitze laserlichtartig, wodurch unter anderem dreidimensionale Aufnahmen aus der Nanowelt ermöglicht werden.

## *Röntgenlicht* *Licht, das unter die Haut geht*

---

**Erfahren Sie mehr über den energiereichen Verwandten von sichtbarem Licht.**

Der XFEL erzeugt Röntgenstrahlung. Wilhelm Conrad Röntgen entdeckte diese energiereiche Verwandte von sichtbarem Licht im Jahr 1895. Und schon nach kurzer Zeit war das Ergebnis reiner Grundlagenforschung aus der Medizin nicht mehr wegzudenken.

Über 100 Jahre nach Röntgens Entdeckung entsteht mit dem Röntgenlaser XFEL eine Strahlungsquelle, die eine milliardenfach höhere Spitzenleistung liefern wird als die modernster Röntgenquellen. Das eröffnet völlig neue Forschungsmöglichkeiten.

## *Freie-Elektronen-Laser* *Gemeinsam sind sie stark*

---

**Lernen Sie, wie man beim XFEL Elektronen dazu bringt, im Gleichtakt zu strahlen und so laserartiges Röntgenlicht zu erzeugen.**

Sausen Elektronen um die Kurve, so senden sie Licht aus. In modernen Röntgenlichtquellen werden die Teilchen daher auf Slalomkurse gebracht, um Röntgenlicht zu erzeugen.

Der Röntgenlaser XFEL ist dabei so konstruiert, dass die Elektronen im Gleichtakt Licht abgeben. Das Ergebnis sind hochintensive Röntgenblitze mit den Eigenschaften von Laserlicht.



# *Impressum*

---

Hier erfahren Sie, wer hinter diesem Angebot steckt und wie Sie Kontakt aufnehmen können.

## Anbieter

---

Anbieter dieses Informations- und Lernangebots ist im Rechtssinne das Deutsche Elektronen-Synchrotron DESY. DESY ist Mitglied in der Helmholtz-Gemeinschaft.

## Elektronischer Kontakt

---

E-Mail: [xfel-kontakt@desy.de](mailto:xfel-kontakt@desy.de)  
Telefon: +49 (0)40-8998-1919

## Adresse

---

Deutsches Elektronen-Synchrotron DESY  
Notkestraße 85  
D-22607 Hamburg  
<http://www.desy.de>

## Briefanschrift

---

Deutsches Elektronen-Synchrotron DESY

## Mitwirkende

---

- Sand und Schiefer, Hamburg  
(Konzept, Inhalte, Programmierung, Design)
- Tricklabor, Berlin  
(Medienproduktion)
- Textlabor, Jena  
(Lektorat, Übersetzung)
- TransForm GmbH, Köln  
(Übersetzung)

## Standards und Barrierefreiheit

---

Das Webangebot <http://xfelinfo.desy.de> erfüllt die Webstandards XHTML und CSS. Es ermöglicht den barrierefreien Zugang.

## **Absoluter Nullpunkt**

Der absolute Nullpunkt beschreibt die tiefste »*Temperatur*, die theoretisch erreicht werden kann. Er entspricht minus 273,15 Grad »*Celsius*. Die »*XFEL-Beschleunigerelemente* arbeiten gut 2 Grad über dem absoluten Nullpunkt.

## **Absorption**

Unter Absorption versteht man die Aufnahme von »*Energie*, »*Strahlung* oder Materie durch ein absorbierendes System.

## **Aminosäure**

Aus Aminosäuren setzen sich »*Proteine* zusammen. Diese »*Biomoleküle* sind ein wichtiger Untersuchungsgegenstand für den »*XFEL*.

## **Amplitude**

Die Amplitude ist eine Eigenschaft einer »*Welle*. Sie gibt ihren maximalen Ausschlag an.

## **Atom**

Atome heißen die kleinsten Bausteine, aus denen chemische Elemente (wie z.B. Wasserstoff oder Eisen) aufgebaut sind. Sie bestehen aus einem positiven Atomkern, um den sich »*Elektronen* bewegen. Die »*Wellenlänge* der »*XFEL-Röntgenlaserblitze* entspricht in etwa dem räumlichen Ausmaß von Atomen. Mit dem XFEL können sich daher Details auf atomarem Niveau auflösen lassen (»*Auflösungsvermögen*).

## **Auflösungsvermögen**

Das Auflösungsvermögen ist eine Eigenschaft von Messgeräten zur Untersuchung physikalischer Größen. Es gibt an, welche Größenunterschiede von dem Gerät noch unterschieden werden können. Dabei kann es sich beispielsweise um Zeit- (*Zeitauflösung*), »*Energie-* oder »*Wellenlängenunterschiede* (*Energieauflösung*) oder räumliche Abstände (*räumliches Auflösungsvermögen*) handeln. Der »*XFEL* wird atomare Abstände in Zeitspannen von weniger als zehnbillionstel Sekunden (100 Femtosekunden) unterscheiden können.

## **Bar**

Das Bar ist eine Maßeinheit für Druck. Ein Bar ist dabei die Gewichtskraft von rund einem Kilogramm auf einen Quadratzentimeter. 1,013 bar entsprechen dem normalen Atmosphärendruck.

### **Beschleunigungsgradient**

Der Beschleunigungsgradient ist ein Maß dafür, wie stark ein »*Teilchenbeschleuniger* die »*Energie* eines Teilchens pro Strecke erhöhen kann. Eine typische Maßeinheit ist das Volt pro Meter. Die »*XFEL-Beschleunigerelemente* verfügen mit 23 Millionen Volt pro Meter trotz ihrer supraleitenden Funktionsweise über einen besonders hohen Beschleunigungsgradienten.

### **Beugung**

Beugung ist ein Phänomen, das entsteht, wenn die Ausbreitung von »*Wellen* (wie Wasserwellen, Licht, Schall) durch Hindernisse verändert wird. Dabei entstehen Muster, die Rückschlüsse auf das Hindernis erlauben. Mit dem »*XFEL* wird auf diese Weise beispielsweise die Struktur von »*Molekülen* und Kristallen untersucht.

### **Biomolekül**

Biomoleküle sind »*Moleküle*, die bei Lebensvorgängen in Zellen eine wesentliche Rolle spielen. Sie bestehen meist aus sehr vielen »*Atomen*. Mit Hilfe des »*XFEL* können der Aufbau und die Funktionsweise von Biomolekülen untersucht werden.

### **Brillanz**

Die Brillanz ist eine Eigenschaft von Strahlungsquellen. Sie gibt die Zahl der »*Photonen* pro Fläche, Raumwinkel und Zeit innerhalb eines schmalen »*Wellenlängenbereichs* an. Die Brillanz des »*XFEL* setzt neue Maßstäbe: Seine Spitzenbrillanz ist rund eine Milliarde Mal höher als die herkömmlicher Strahlungsquellen, die mittlere Brillanz immer noch 10 000-mal größer.

### **Celsiuskala**

Mit Hilfe der Celsiuskala können »*Temperaturangaben* gemacht werden. Die Skala ist derart gewählt, dass sich der Gefrierpunkt von Wasser bei 0 Grad Celsius und sein Siedepunkt bei 100 Grad Celsius befindet. Eine alternative Temperaturskala ist die »*Kelvinskala*.

### **Cluster**

Als Cluster werden winzige materielle Objekte bezeichnet, deren Größen von einigen wenigen bis hin zu mehreren zehntausend »*Atomen* bzw. »*Molekülen* reichen. Cluster befinden sich damit in einem für die Forschung spannenden Bereich zwischen Gas und Festkörper. Große Cluster werden auch Nanoteilchen genannt. Die Eigenschaften der [xfel-roentgenlaserblitz|XFEL-Röntgenlaserblitze]] bieten neue Möglichkeiten, Cluster zu untersuchen.

### **DESY**

Das Deutsche Elektronen-Synchrotron DESY ist ein Forschungsinstitut mit Standorten in Hamburg und Zeuthen. Bei DESY wird in den Bereichen Teilchenphysik, Forschung mit Photonen und Beschleunigertechnik gearbeitet. Das Institut ist eine der 15 Forschungseinrichtungen der Helmholtz-Gemeinschaft Deutscher Forschungszentren. Das »*XFEL*-Projekt wurde von DESY und seinen internationalen Partnern vorgeschlagen und wird mit unmittelbarer Anbindung an das DESY-Gelände in Hamburg und Schleiwig-Holstein gebaut.

### **Dipolmagnet**

Ein Dipolmagnet ist ein Gerät mit einem magnetischen Nord- und einem Südpol. Mit ihm können geladene Teilchen wie etwa »*Elektronen* auf eine Kurvenbahn gebracht werden.

Dipolmagnete kommen beispielsweise in »*Teilchenbeschleunigern* wie dem des »XFEL zum Einsatz, um die Elektronen auf die unterschiedlichen Abschnitte der Anlage zu verteilen.

### **Einstein, Albert**

Deutsch-schweizerisch-amerikanischer Physiker (1879-1955). Einsteins Arbeiten sind in vielfacher Weise für den »XFEL von Bedeutung, darunter die »*Spezielle Relativitätstheorie*, die Erklärung des »*Photoeffekts* sowie maßgebliche Vorarbeiten für die Entwicklung des »*Lasers*.

### **Elektromagnetische Kraft**

Elektromagnetische Kräfte wirken zwischen elektrischen Ladungen. Mit ihrer Hilfe werden beim »XFEL »*Elektronen* auf große »*Energien* beschleunigt sowie auf Slalomkurse und damit zur Lichtaussendung gebracht.

### **Elektromagnetische Strahlung**

Bei elektromagnetischer Strahlung handelt es sich ganz allgemein um Bündel »*elektromagnetischer Wellen*. Die »*Wellenlängen*, Ausbreitungsrichtungen und Schwingungszustände dieser einzelnen Wellen können ganz unterschiedlich oder aber aufeinander abgestimmt sein (»*laserlichtartig*), so wie es beim »XFEL der Fall ist.

### **Elektromagnetische Welle**

Phänomene wie »*sichtbares Licht*, »*Infrarotstrahlung* und »*Röntgenstrahlung* können mit Hilfe elektromagnetischer »*Wellen* beschrieben werden. Dabei handelt es sich um wellenförmige Veränderungen im »*elektromagnetischen Feld*.

### **Elektromagnetisches Feld**

Mit Hilfe von elektromagnetischen Feldern lassen sich »*elektromagnetische Kräfte* beschreiben. Die Felder geben an, wie stark die Kraft zu einer bestimmten Zeit an einem gegebenen Ort ist. »*Elektromagnetische Wellen* sind sich ausbreitende Veränderungen im elektromagnetischen Feld.

### **Elektromagnetisches Spektrum**

Je nach »*Wellenlänge* werden »*elektromagnetische Wellen* als »*Radiowellen*, »*Mikrowellenstrahlung*, »*Infrarotstrahlung*, »*sichtbares Licht*, »*Ultraviolettstrahlung*, »*Röntgenstrahlung* oder »*Gammastrahlung* bezeichnet. Die »*Wellenlängen* können dabei einige Kilometer oder auch wenige billionstel Millimeter betragen. Zusammen bilden die verschiedenen Wellenlängenbereiche das elektromagnetische Spektrum.

### **Elektron**

Elektronen sind elektrisch negativ geladene Teilchen, die sich in »*Atomen* um den Atomkern bewegen. Beim »XFEL werden Elektronen auf hohe »*Energien* beschleunigt und zur Aussendung der »XFEL-Röntgenlaserblitze gebracht.

### **Elektronenmikroskop**

Ein Elektronenmikroskop ist ein Gerät, mit dem winzige Strukturen untersucht werden können. Es arbeitet nicht mit »*sichtbarem Licht* wie Lichtmikroskope, sondern nutzt »*Elektronen*, die nach der »*Quantentheorie* - ganz so wie das Licht - »*Welleneigenschaften* besitzen. Zwar kommen im »XFEL auch Elektronen zum Einsatz, er ist jedoch kein Elektronenmikroskop, da die Elektronen im XFEL dazu verwendet werden, Licht zu erzeugen.

### **Elektronenvolt**

Das Elektronenvolt (Abkürzung: eV) ist eine Maßeinheit für die »Energie von Teilchen. 1 eV ist dabei die Energie, die ein »Elektron aufnimmt, wenn es eine elektrische Spannung von 1 Volt durchfliegt. Beim »XFEL werden »Elektronen auf 20 Milliarden Elektronenvolt beschleunigt, bevor sie die hochintensiven »XFEL-Röntgenlaserblitze aussenden.

### **Emission**

Unter Emission versteht man das Aussenden von »Energie, »Strahlung oder Materie durch ein emittierendes System.

### **Emittanz**

Die Emittanz ist eine Eigenschaft von Teilchenstrahlen wie denen in »Teilchenbeschleunigern. Sie beschreibt das Auffächern des Strahls, sie gibt also an, wie groß der Querschnitt eines Strahls ist und wie stark er sich öffnet. In der Regel heißt es: Je kleiner die Emittanz, umso besser die Qualität des Strahls. Die Emittanz der Elektronenquelle des »XFEL muss extrem klein sein, um die Voraussetzungen für die Erzeugung der »Röntgenlaserblitze zu erfüllen.

### **Endvakuum**

Das Endvakuum ist eine Eigenschaft einer »Vakuumpumpe. Es gibt den minimalen Druck an, den die Pumpe erzeugen kann.

### **Energie**

Energie ist ein grundlegender Begriff der Physik. Wenn etwas Energie hat, kann es damit etwas anderes tun (= Arbeit verrichten). Nach der »Speziellen Relativitätstheorie können Masse und Energie ineinander überführt werden. Beim »XFEL-Beschleuniger werden »Elektronen zunächst auf hohe Energien gebracht, bevor sie »Röntgenstrahlung aussenden, deren »Photonen weit energiereicher sind als die von »sichtbarem Licht.

### **FLASH**

FLASH ist ein »Freie-Elektronen-Laser bei »DESY zur Erzeugung von »Vakuum-Ultraviolettstrahlung und weicher »Röntgenstrahlung bis hinunter zu 6 milliardstel Metern »Wellenlänge. FLASH ist die erste Quelle für kurzweilige, »laserlichtartige Strahlung mit hoher Spitzenleuchtstärke und ultrakurzen Lichtpulsen. Er wird bis zum Jahr 2009 der weltweit einzige »Freie-Elektronen-Laser für den Bereich der weichen Röntgenstrahlung sein. Sein Betrieb liefert auch wichtige Erkenntnisse für den »XFEL. Bis April 2006 trug FLASH den Namen VUV-FEL. Die Abkürzung FLASH steht für "reie Elektronen-er in amburg".

### **Fluoreszenz**

Als Fluoreszenz bezeichnet man das Phänomen, dass manche (= fluoreszierenden) Materialien nach rund einer millionstel Sekunde Strahlung aussenden, wenn man sie mit »elektromagnetischen Wellen bestrahlt. Die ausgesendete Strahlung ist dabei von gleicher oder niedrigerer »Frequenz.

### **Freie-Elektronen-Laser (FEL)**

Freie-Elektronen-Laser (FEL) sind Anlagen, in denen sich Strahlung erzeugen lässt, die über für die Forschung sehr nützliche Eigenschaften verfügt. Dazu werden »Elektronen zunächst auf hohe »Energien beschleunigt. Anschließend werden sie zur Lichtaussendung veranlasst, indem sie durch Magnetfelder auf einen Slalomkurs gebracht werden. Bei »DESY befindet sich mit

dem »VUV-FEL ein FEL in Betrieb und mit dem »XFEL ein weiterer in Planung.

### **Frequenz**

Die Frequenz ist eine Eigenschaft einer »Welle. Sie gibt die Zahl der Schwingungen pro Zeit an. Die gängige Einheit ist das Hertz; es entspricht einer Schwingung pro Sekunde. Der »XFEL wird »elektromagnetische Wellen mit Frequenzen bis zu 3 Billionen Hertz erzeugen.

### **Gammastrahlung**

Die Gammastrahlung ist ein Teil des »elektromagnetischen Spektrums. Dazu zählen »elektromagnetische Wellen mit »Wellenlängen unter einem billionstel Meter. Sie ist die energiereichste Form »elektromagnetischer Strahlung und entsteht beispielsweise bei radioaktiven Prozessen und in kosmischen Großereignissen.

### **HASYLAB**

Abkürzung für „Hamburger Synchrotronstrahlungslabor“. Das HASYLAB ist eine »DESY-Einrichtung, in der Experimente mit intensiver »elektromagnetischer Strahlung vorbereitet, durchgeführt und koordiniert werden. Zudem werden hier neue Strahlungsquellen entwickelt und geplant.

### **Holographie**

Bei der Holographie handelt es sich um ein Verfahren, mit dem dreidimensionale Informationen von einem Objekt fotografisch aufgezeichnet werden können. Mit Hilfe des »XFEL können holographische Aufnahmen von kleinsten Objekten gemacht werden.

### **Infrarotstrahlung**

Die Infrarotstrahlung ist ein Teil des »elektromagnetischen Spektrums. Zu ihr zählen »elektromagnetische Wellen mit »Wellenlängen zwischen rund einem tausendstel und einem millionstel Meter. Wir Menschen nehmen Infrarotstrahlung als Wärme wahr.

### **Intensität**

Die Intensität ist eine Eigenschaft von »Wellen oder Strahlungsquellen. Sie entspricht der »Energie pro Zeit und Fläche. Die Intensität einer Welle (Schall oder Licht) wächst mit dem Quadrat ihrer »Amplitude.

### **Interferenz**

Interferenz ist ein Phänomen, das auftritt, wenn sich zwei oder mehr »Wellen an derselben Stelle befinden. Dabei können sich die Wellen gegenseitig verstärken oder auslöschen. In bestimmten Fällen entstehen zeitlich feste Interferenzmuster, aus denen sich Rückschlüsse über die Wellen und etwaige Hindernisse auf deren Ausbreitungsweg ziehen lassen.

### **Ionengetterpumpe**

Eine Ionengetterpumpe ist eine »Vakuumpumpe, die Gasmoleküle aus einem Behälter entfernt, indem sie diese chemisch bindet. Dieser Pumpentyp wird verwendet, um einen bereits vorevakuierten Behälter noch stärker zu entleeren.

### **Kelvinskala**

Die Kelvinskala kann benutzt werden, um »Temperaturangaben zu machen. Sie ist derart gewählt, dass sich der »absolute Nullpunkt bei 0 Kelvin und der Gefrierpunkt von Wasser bei 273,15 Kelvin befinden. Eine alternative Temperaturskala ist die »Celsiuskala.

## **Kohärenz**

Als Kohärenz bezeichnet man die Eigenschaft einer »Strahlung, wenn die Schwingungszustände (»Phasen) ihrer einzelnen Wellenpakete in festen Beziehungen zueinander stehen. Man unterscheidet »räumliche und »zeitliche Kohärenz. Die »XFEL-Röntgenlaserblitze zeichnen sich durch eine hohe Kohärenz aus, wodurch zahlreiche Experimente erst möglich werden.

### **Kohärenz, räumliche**

Die räumliche »Kohärenz gibt an, ob die einzelnen »Wellenpakete, die nebeneinander angeordnet eine Strahlung bilden, in einer festen Beziehung zueinander schwingen. Dies ist der Fall, wenn die Wellenpakete die gleiche Farbe (»Wellenlänge) besitzen und sehr lang sind (Ausdehnung).

### **Kohärenz, zeitliche**

Mit der zeitlichen »Kohärenz wird die räumliche Länge der einfarbigen »Wellenpakete in einer »Strahlung beschrieben. Der Name kommt daher, dass durch die zeitliche Kohärenz festgelegt ist, wie lange die Strahlung an einem Punkt mit Hilfe des einfarbigen Wellenpakets beschrieben werden kann. Bei weißem Licht sind das gerade einmal 3 milliardstel Sekunden; die einzelnen einfarbigen Wellenpakete sind entsprechend kurz. Bei »Laserlicht kann die Kohärenzzeit bis zu einigen zehntel Sekunden betragen.

## **Laser**

Ein Laser ist ein Gerät, mit dem sich »Strahlung erzeugen lässt, die »laserartig schwingt. Aufgrund dieser Eigenschaft ist die Laserstrahlung für die Forschung von besonderer Bedeutung. Laser ist die Abkürzung für .

### **laserlichtartig (kohärent)**

Als laserlichtartig wird hier »Strahlung bezeichnet, deren Bestandteile (»Wellenpakete) in festen Beziehungen zueinander schwingen. Für viele der möglichen Experimente am »XFEL ist diese Eigenschaft der »Röntgenlaserblitze von großer Bedeutung. Der Fachausdruck lautet »Kohärenz.

## **Lichtgeschwindigkeit**

Die Lichtgeschwindigkeit ist die Geschwindigkeit, mit der sich »sichtbares Licht und alle »elektromagnetischen Wellen ausbreiten. Im Vakuum beträgt sie 299 792 458 Meter pro Sekunde. Nach der »speziellen Relativitätstheorie ist die Vakuum-Lichtgeschwindigkeit eine universelle Konstante und gibt die obere Grenze der Geschwindigkeit an, mit der sich »Energie, Teilchen oder Information ausbreiten können. Im »XFEL werden »Elektronen auf nahezu Lichtgeschwindigkeit beschleunigt.

## **Microbunching**

heißt das Phänomen, das in »Freie-Elektronen-Lasern zur Entstehung von »laserlichtartiger Strahlung führt. Durch die Wechselwirkung der »Elektronen mit der ausgesendeten »Strahlung bilden sich in den Elektron-Teilchenpaketen Kleinstgruppen, die so angeordnet sind, dass sich ihre Strahlung gegenseitig gleichförmig verstärkt.

## **Mikrowellenstrahlung**

Die Mikrowellenstrahlung bildet einen Teil des »elektromagnetischen Spektrums. Zu ihr zählen



alle »*elektromagnetischen Wellen* mit »*Wellenlängen* zwischen rund einem Millimeter und einem Meter. In Mikrowellenherden regen Mikrowellen Wassermoleküle zu Schwingungen an und erwärmen auf diese Weise das Essen. Im »*XFEL* kommen Mikrowellen zur Beschleunigung von »*Elektronen* zum Einsatz.

### **Molekül**

Ein Molekül ist ein Objekt, das aus mindestens zwei miteinander verbundenen »*Atomen* besteht. Mit Hilfe der »*XFEL-Röntgenlaserblitze* des »*XFEL* können Moleküle und ihre Veränderungen untersucht werden.

### **Monochromator**

Mit einem Monochromator können aus einer »*Strahlung* »*Wellen* einer bestimmten »*Wellenlänge* herausgefiltert werden. Die Übersetzung von Monochromator lautet „Einfarbigmacher“. Denn nach dem Monochromator besteht die »*Strahlung* nur noch aus einer Farbe.

### **Niob**

Die »*Beschleunigerelemente* des »*XFEL* bestehen aus Niob, einem Metall, das bei minus 265 »*Grad Celsius* seinen elektrischen Widerstand verliert. Es entsteht dann »*Supraleitung*.

### **Phase**

Die Phase ist eine Eigenschaft einer »*Welle* an einem bestimmten Ort zu einer gegebenen Zeit. Sie gibt den Schwingungszustand einer Welle an, also ob sich zu einem bestimmten Zeitpunkt an einem bestimmten Ort gerade ein Wellenberg, ein Wellental oder etwas dazwischen befindet. Wenn sich mehrere Wellen an einem Ort befinden, legt die Phase fest, ob sich die Wellen gegenseitig verstärken oder auslöschen.

### **Photoeffekt**

Der Photoeffekt ist ein Phänomen, bei dem »*Elektronen* aus einer Metallplatte gelöst werden, wenn »*Strahlung* auf sie trifft. Auf diese Weise gelangen die »*Elektronen* beim »*XFEL* in den »*Beschleunigerteil* der Anlage. Der Photoeffekt wurde 1905 von Albert »*Einstein* mit Hilfe der »*Quantentheorie* erklärt, indem er Licht als aus »*Photonen* zusammengesetzt beschrieb.

### **Photon**

Einige der Eigenschaften von »*elektromagnetischen Wellen* lassen sich nur erklären, wenn man es sich aus Teilchen zusammengesetzt vorstellt. Diese Objekte werden Photonen genannt.

### **Plasma**

Plasma ist ein Zustand von Materie, der bei hohen »*Temperaturen* entsteht. Mit Hilfe des »*XFEL* können die Eigenschaften von Plasmen studiert werden.

### **Polarisation**

Die Polarisation ist eine Eigenschaft von »*Wellen*, die senkrecht zu ihrer Ausbreitungsrichtung schwingen. Wenn solche Wellen in einer bestimmten Ebene schwingen, nennt man sie polarisiert. Dies wird bei den »*XFEL-Röntgenlaserblitzen* der Fall sein.

### **Protein**

Proteine werden auch Eiweiße genannt. Es handelt sich dabei um »*Biomoleküle*, die bei vielen Lebensvorgängen eine entscheidende Rolle spielen. Proteine sind aus »*Aminosäuren*

zusammengesetzt. Mit den »XFEL-Röntgenlaserblitzen lassen sich Proteine auf vielfältig neue Weise untersuchen.

### **Quadrupolmagnet**

Ein Quadrupolmagnet ist ein Gerät, bei dem zwei magnetische Nord- und zwei magnetische Südpole abwechselnd um eine Achse angeordnet sind. In »Teilchenbeschleunigern werden solche Magnete eingesetzt, um den »Teilchenstrahl zu bündeln. Dies ist auch beim »XFEL-Beschleuniger der Fall.

### **Quantentheorie**

Die Quantentheorie ist eine fundamentale Beschreibungssprache der Physik, die aus unserer Alltagsperspektive zuweilen widersprüchlich klingt, aber sehr gut funktioniert. Der Quantentheorie zufolge lassen sich beispielsweise einige Eigenschaften von Licht nur verstehen, wenn man es als aus Teilchen (»Photonen) zusammengesetzt betrachtet. Andere Eigenschaften wiederum lassen sich nur mit dem Modell der »Welle erklären.

### **Radiowellen**

Radiowellen bilden einen Teil des »elektromagnetischen Spektrums. Zu ihnen zählen alle »elektromagnetischen Wellen mit »Wellenlängen, die größer als ein Meter sind. Radiowellen werden beispielsweise in der Funk- und Nachrichtentechnik zur drahtlosen Übermittlung von Daten verwendet.

### **Reinheit**

Bei der Produktion der »XFEL-Beschleunigerelemente gilt es, Verschmutzungen zu vermeiden. Daher erfolgen viele der Produktionsschritte in staubfreien Umgebungen wie etwa »Reinräumen.

### **Reinraum**

Reinräume sind Räume, die mit Hilfe technischen Aufwandes möglichst »staubfrei gehalten werden. In solchen Reinräumen werden beispielsweise die Bauteile des »XFEL zusammengesetzt.

### **Resonanz**

Als Resonanz bezeichnet man das starke Mitschwingen eines Systems, das durch einen äußeren Einfluss periodisch erregt wird. Ein System, das in Resonanz gebracht werden kann, wird als »Resonator bezeichnet. Resonatoren spielen bei der »Beschleunigung von Teilchen eine wichtige Rolle.

### **Resonator**

Ein Resonator ist ein System, das zu bestimmten, besonders stark ausgeprägten Schwingungen angeregt werden kann. Die »XFEL-Beschleunigerelemente sind Resonatoren. In ihnen schwingt ein elektromagnetisches Feld, mit dem »Elektronen beschleunigt werden.

### **Röntgen, Wilhelm Conrad**

Deutscher Physiker (1845-1923), der 1896 die »Röntgenstrahlung entdeckte. Für diesen Fund erhielt er 1901 den ersten Physik-Nobelpreis der Weltgeschichte.

### **Röntgenlaser**

Ein Röntgenlaser ist ein Gerät, mit dem »laserlichtartige »Röntgenstrahlung erzeugt werden

kann. Der »XFEL ist ein Röntgenlaser.

### **Röntgenröhre**

Eine Röntgenröhre ist ein Gerät, mit dem auf herkömmliche Weise »Röntgenstrahlung erzeugt werden kann. In Röntgenröhren werden schnelle »Elektronen auf ein Kupfer- oder Wolframblech geschossen. Die Teilchen werden in dem Blech stark abgebremst und strahlen Röntgenlicht ab. Im Gegensatz zu den »XFEL-Röntgenlaserblitzen schwingt diese Strahlung nicht »laserlichtartig und hat auch eine geringere »Intensität.

### **Röntgenstrahlung**

Röntgenstrahlung ist ein Teil des »elektromagnetischen Spektrums. Zur Röntgenstrahlung gehören »elektromagnetische Wellen mit »Wellenlängen zwischen etwa 10 milliardstel Metern und einem billionstel Meter. Röntgenstrahlung kann zum Teil Materie durchdringen, was beispielsweise in der Medizin zur Aufnahme von Röntgenbildern genutzt wird.

### **SASE-Effekt**

Die Abkürzung SASE steht für (selbstverstärkte spontane Emission). Bei diesem Phänomen entsteht in einem »Undulator »laserlichtartige Strahlung, indem »Elektronen-»Teilchenpakete mit der spontan abgegebenen Strahlung wechselwirken und sich derart gruppieren (), dass sich der Effekt positiv verstärkt. Damit der SASE-Prozess einsetzt, sind extrem dicht gebündelte Elektronen-Pakete vonnöten, die beim »XFEL besondere Anforderungen an den »XFEL-Beschleuniger stellen. Alternativ zum SASE-Effekt kann bei einem »FEL auch das zum Einsatz kommen.

### **Scrollpumpe**

Eine Scrollpumpe ist eine »Vakuumpumpe, in der sich zwei ineinander gesteckte Spiralzylinder befinden. Einer ist drehbar, aber die Achse liegt nicht in der Mitte der Pumpenkammer, sondern etwas daneben. Bei der Drehung des einen Spiralzylinders in der Kammer entstehen Bereiche, die sich abwechselnd vergrößern und verkleinern. Auf diese Weise wird Gas in die Pumpe gesaugt, eingeschlossen, verdichtet und ausgestoßen.

### **Seeding**

Werden die »Elektronen in einem »FEL mit Hilfe von (konventionell erzeugtem) »Laserlicht kleinstgruppiert (»Microbunching), so spricht man von Seeding.

### **Sextupolmagnet**

Ein Sextupolmagnet ist ein Gerät, bei dem drei magnetische Nord- und drei magnetische Südpole abwechselnd um eine Achse angeordnet sind. In »Teilchenbeschleunigern werden solche Magnete eingesetzt, um den »Teilchenstrahl zu bündeln. Dies ist auch beim »XFEL-Beschleuniger der Fall.

### **Sichtbares Licht**

Sichtbares Licht bildet einen Teil des »elektromagnetischen Spektrums. Es umfasst »elektromagnetische Wellen mit »Wellenlängen zwischen 400 und 750 milliardstel Metern. Es ist der Bereich, der von unseren Augen wahrgenommen werden kann, in ihm sind alle Farben des Regenbogens enthalten.

### **Spezielle Relativitätstheorie**

Die Spezielle Relativitätstheorie geht davon aus, dass die »Lichtgeschwindigkeit immer konstant

ist, auch wenn sich der Geschwindigkeitsmesser bezüglich der Lichtquelle bewegt. Daraus folgen zahlreiche verblüffende Eigenschaften von Raum und Zeit. Auch viele der Phänomene am »XFEL wie etwa die Entstehung der »Röntgenlaserblitze lassen sich nur mit Hilfe der Relativitätstheorie verstehen. Sie wurde von Albert »Einstein aufgestellt.

### **Spontane Emission**

»Atome und »Moleküle, die über überschüssige »Energie verfügen, können diese in Form von »Strahlung wie etwa »sichtbarem Licht abgeben. Wenn dieser Vorgang von sich aus erfolgt, spricht man von spontaner Emission (im Gegensatz zu »stimulierter Emission).

### **Sprungtemperatur**

Die Sprungtemperatur ist eine Eigenschaft eines Materials, bei dem »Supraleitung auftritt. Sie gibt die »Temperatur an, unterhalb derer das Material seinen elektrischen Widerstand verliert.

### **Staubigkeit**

Die Staubigkeit ist ein Maß für die »Reinheit eines Raumes. Sie gibt die Zahl der Staubteilchen pro Kubikfuß Luft an (dabei handelt es sich um einen Würfel mit einer Seitenlänge von gut 30 Zentimetern). Mitgezählt werden dabei alle Partikel, die mindestens die Hälfte eines tausendstel Millimeters (= 0,5 Mikrometer) groß sind.

### **Stimulierte Emission**

»Atome und »Moleküle, die über überschüssige »Energie verfügen, können diese in Form von »elektromagnetischer Strahlung wie etwa »sichtbarem Licht abgeben. Wenn dieser Vorgang durch Auftreffen von elektromagnetischer Strahlung ausgelöst wird, spricht man von stimulierter Emission (im Gegensatz zu »spontaner Emission). Stimulierte Emission spielt bei der Erzeugung von »Laserlicht eine bedeutende Rolle.

### **Strahlrohr**

Das Strahlrohr ist ein zentraler Bestandteil von »Teilchenbeschleunigern, auch dem des »XFEL. In ihm verlaufen die zu beschleunigenden Teilchen. Damit diese auf ihrem Weg durch das Strahlrohr mit wenig Fremdteilchen wie Luftmolekülen zusammenstoßen, herrscht im Strahlrohr in der Regel ein möglichst gutes »Vakuum.

### **Strahlung**

Als Strahlung wird hier ein Bündel sich ausbreitender »elektromagnetischer Wellen oder Teilchen verstanden.

### **Supraleitung**

Als Supraleitung bezeichnet man das Phänomen, dass bestimmte Materialien bei tiefen »Temperaturen ihren elektrischen Widerstand verlieren; in ihnen kann elektrischer Strom dann völlig verlustfrei fließen. In modernen »Teilchenbeschleunigern kommen häufig supraleitende Bauteile zum Einsatz. Dies ist auch bei den »XFEL-Beschleunigerelementen der Fall.

### **Synchrotronstrahlung**

Zwingt man elektrisch geladene Teilchen auf eine gekrümmte Bahn, so geben sie »elektromagnetische Strahlung ab, so genannte Synchrotronstrahlung. Diese zeichnet sich durch eine besonders hohe »Intensität aus. Der Name kommt von einem kreisförmigen »Teilchenbeschleunigertyp, dem Synchrotron, an dem diese Strahlung beim Betrieb erstmals angefallen ist.

### **Teilchenbeschleuniger**

Teilchenbeschleuniger werden genutzt, um geladene Teilchen auf hohe »Energien zu bringen. Beim »XFEL müssen »Elektronen zunächst beschleunigt werden, bevor sie die »Röntgenlaserblitze aussenden können. Außer zur Erzeugung von »elektromagnetischer Strahlung hoher »Intensität kommen Teilchenbeschleuniger auch in der Teilchenphysik zum Einsatz, um die Natur des Allerkleinsten zu untersuchen.

### **Teilchenpaket**

Teilchen durchlaufen einen »Teilchenbeschleuniger selten alleine, sondern meist in Teilchenpaketen. Auch die »Elektronen im »XFEL sind zu solchen Teilchenpaketen gebündelt. Sie bestehen aus jeweils über 6 Milliarden Elektronen.

### **Teilchenstrahl**

Die Teilchen, die gegebenenfalls in Form von »Teilchenpaketen in einem »Teilchenbeschleuniger auf hohe »Energien gebracht werden, bilden einen Teilchenstrahl. An die Eigenschaften des »XFEL-Teilchenstrahls werden hohe Anforderungen gestellt, um die erwünschte Qualität der »XFEL-Röntgenlaserblitze zu erreichen.

### **Temperatur**

Die Temperatur gibt an, wie viel Wärmeenergie durchschnittlich in einer Sache steckt. Sie kann mit Hilfe der »Celsius- oder »Kelvinskala gemessen werden.

### **Testanlage**

An einer Testanlage bei »DESY in Hamburg entwickelte und erprobte ein internationales Forscherteam - die "TESLA Collaboration" - von 1992 bis 2004 die Beschleunigertechnologie für den internationalen Linearcollider ILC und zugleich ebenfalls auf dieser Technologie basierende »Freie-Elektronen-Laser. Die ursprünglich 100 m lange Testanlage wurde mittlerweile auf insgesamt 260 m verlängert und zum Freie-Elektronen-Laser »VUV-FEL ausgebaut.

### **Titansublimationspumpe**

Eine Titansublimationspumpe ist eine »Vakuumpumpe, bei der Gasmoleküle mit Hilfe verdampfenden Titans chemisch gebunden werden und auf diese Weise dem Inneren der Pumpe entzogen werden.

### **Turbomolekularpumpe**

Eine Turbomolekularpumpe ist eine »Vakuumpumpe, die wie ein Ventilator oder eine Flugzeugturbine funktioniert und auf diese Weise Gasmoleküle aus dem Inneren eines Behältnisses saugt. Dieser Pumpentyp wird verwendet, um einen bereits vorevakuierten Behälter noch stärker zu entleeren.

### **Ultraviolettstrahlung**

Ultraviolettstrahlung bildet einen Teil des »elektromagnetischen Spektrums. Darunter fallen »elektromagnetische Wellen mit »Wellenlängen zwischen 10 und 400 milliardstel Metern. Der Ultraviolettanteil der Sonnenstrahlung bräunt die menschliche Haut.

### **Undulator**

Ein Undulator ist eine Magnetstruktur, in der »Elektronen auf Slalomkurs und damit zur

Erzeugung von hochintensiver »*elektromagnetischer Strahlung* gebracht werden. Auch beim »XFEL kommen Undulatoren zum Einsatz (»XFEL-Undulatoren).

### **Vakuum**

Theoretisch ist Vakuum, wo rein gar nichts ist. Pragmatisch und nach DIN-Norm fällt hingegen bereits alles unter Vakuum, was einen Druck unterhalb des Atmosphärendrucks hat. Im »Strahlrohr des »XFEL herrscht ein Vakuum, das mit Hilfe von »Vakuumpumpen erzeugt wird.

### **Vakuum-Ultraviolettstrahlung**

Unter Vakuum-Ultraviolettstrahlung versteht man einen Bereich im »*elektromagnetischen Spektrum* zwischen »*Ultraviolett-* und »*Röntgenstrahlung*. Er ist nicht genau definiert, liegt aber bei »*Wellenlängen* zwischen rund 200 und ein bis zehn milliardstel Metern. Der »VUV-FEL bei »DESY erzeugt Strahlung in diesem Bereich.

### **Vakuumpumpe**

Vakuumpumpen sind Geräte, mit denen der Druck in Behältern abgesenkt werden kann, so dass ein »*Vakuum* entsteht. Beim XFEL kommen verschiedenen Typen zum Einsatz (»*Titansublimationspumpe*, »*Turbomolekularpumpe*, »*Ionengeretterpumpe*, »*Scrollpumpe*).

### **VUV-FEL**

VUV-FEL ist der Name, den die XFEL-Pilotanlage »FLASH bis April 2006 trug.

### **Welle**

Eine Welle ist eine regelmäßige Veränderung in einem Medium. Beispiele sind Wasserwellen oder »*elektromagnetische Wellen*. Wellen können anhand ihrer »*Amplitude*, »*Wellenlänge*, »*Frequenz* und »*Phase* beschrieben werden.

### **Welle-Teilchen-Dualismus**

Das Verhalten von Objekten aus der Quantenwelt lässt sich in manchen Fällen nur beschreiben, indem man sie als Welle betrachtet, in anderen Situationen verhalten sich diese Objekte wie Teilchen. Dies ist beispielsweise beim Licht der Fall. Die »*Quantentheorie* beschreibt dieses Phänomen als Welle-Teilchen-Dualismus.

### **Wellenlänge**

Die Wellenlänge ist eine Eigenschaft einer »*Welle*. Sie gibt den Abstand zwischen zwei Wellenbergen einer Welle an und wird in Metern gemessen. Die Wellenlängen von »*sichtbarem Licht* beispielsweise liegen zwischen 400 und 750 milliardstel Metern. Der »XFEL wird »*elektromagnetische Wellen* mit Wellenlängen zwischen knapp 0,1 und 6 milliardstel Metern erzeugen.

### **Wellenpaket**

Der Begriff des Wellenpakets wird hier verwendet, um räumlich begrenzte »*Wellen* einer festen »*Wellenlänge* zu beschreiben.

### **Wiggler**

Ein Wiggler ist eine Magnetstruktur, in der »*Elektronen* auf Slalomkurs und damit zur Erzeugung von hochintensiver »*elektromagnetischer Strahlung* gebracht werden. Wiggler arbeiten ähnlich wie »*Undulatoren*, bei ihnen ist das Magnetfeld jedoch stärker. Dies führt zu einem weiter ausgedehnten Slalomkurs und damit zu Strahlung, die weiter aufgefächert ist und

mehr Farben enthält.

## **XFEL**

Der Röntgenlaser XFEL ist als Projekt mit europäischer Beteiligung geplant. Dazu wird eine 3,4 Kilometer lange »Röntgenlaser-«Anlage gebaut. Mit ihr werden hochintensive »Röntgenlaserblitze erzeugt, die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern für ihre Forschungszwecke zur Verfügung stehen. Der XFEL ist auf drei »XFEL-Betriebsgeländen angesiedelt. Ab Ende 2013 soll mit seiner Inbetriebnahme begonnen werden.

### **XFEL-Anlage**

Zur »XFEL-Anlage zählen alle Gebäude und technischen Einrichtungen, die zur Erzeugung und Nutzung der »XFEL-Röntgenlaserblitze errichtet werden, darunter die »XFEL-Kältehalle und die »XFEL-Tunnel, die »XFEL-Experimentierhallen sowie zahlreiche Versorgungsgebäude. Der größte Teil der Anlage verläuft unterirdisch in Tunneln. An einigen Stellen gibt es Zugangsgebäude. Die Spitzenleistung der Anlage wird das Zehnmilliardenfache moderner Röntgenquellen erreichen.

### **XFEL-Anwendungen**

Der »XFEL wird Experimentierfelder erschließen, von denen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler bisher nur träumen durften. Heute können nur Standbilder von chemischen Reaktionen aufgenommen werden, mit den XFEL-Röntgenblitzen werden sie sich auch filmen lassen. Dann kann Biomolekülen bei der Arbeit zugeschaut und im Detail untersucht werden, wie sich »Atome und »Moleküle zu Werkstoffen formen.

#### **XFEL-Anwendungen: Biomoleküle vermessen**

Mit den »XFEL-Röntgenlaserblitzen können Forscherinnen und Forscher die Struktur von weit mehr »Biomolekülen entschlüsseln, als derzeit möglich ist. Denn die Blitze sind so intensiv, dass für die Aufnahme ein einzelnes Molekül ausreicht, wo vorher noch viele mühsam zu Kristallen zusammengefügt werden mussten. Detailreiche Aufnahmen von Biomolekülen sind von großer Bedeutung, um ihre Funktion in Zellen zu verstehen und beispielsweise neue Medikamente zu entwickeln.

#### **XFEL-Anwendungen: Chemische Reaktionen filmen**

Die »XFEL-Röntgenlaserblitze sind so kurz, dass sich damit chemische Reaktionen filmen lassen. Belichtungszeiten im Bereich von milliardstel Sekunden garantieren, dass nichts verwackelt. Genutzt werden können diese Aufnahmen, um die Prozesse in Brennstoff- und Solarzellen besser zu verstehen. Die Forscher können aber auch »Biomolekülen bei der Arbeit zuschauen oder im Detail untersuchen, wie sich »Atome und »Moleküle zu Werkstoffen formen.

#### **XFEL-Anwendungen: Cluster untersuchen**

»Cluster stellen das Bindeglied zwischen Atomen und großen Kristallen dar. In einem Cluster bilden einige Dutzend »Atome oder »Moleküle eine regelmäßige Anordnung. Die »XFEL-Röntgenlaserblitze helfen beim besseren Verständnis dieser Materieform.

#### **XFEL-Anwendungen: Plasma erforschen**

Mit den »XFEL-Röntgenlaserblitzen kann ein Zustand von Materie erzeugt und untersucht werden, der bei sehr hohen Temperaturen entsteht: Plasma. Diese Materieform ist maßgeblich an der Energieerzeugung in unserer Sonne beteiligt. Ein besseres Verständnis ist daher wichtig,

wenn man diese Prozesse auf der Erde nachahmen will. Die Untersuchung von Plasmen ist aber auch für die Herstellung von Computerchips und neuen Werkstoffen von großem Interesse.

### **XFEL-Beschleuniger**

Im ersten Teil der »XFEL-Anlage werden »Elektronen auf hohe »Energien (20 Milliarden »Elektronenvolt) beschleunigt, bevor sie im anschließenden Teil zur Aussendung von »XFEL-Röntgenlaserblitzen gebracht werden.

### **XFEL-Beschleunigerelement**

In den »XFEL-Beschleunigerelementen werden die »Elektronen beschleunigt. Es handelt sich dabei um metallische Hohlkörper, in denen »elektromagnetische Felder schwingen. Die Beschleunigerelemente des »XFEL bestehen aus »Niob und arbeiten supraleitend (»). Zusammen mit der Kühlung und den Versorgungsleitungen bilden die Elemente die »XFEL-Beschleunigermodule.

### **XFEL-Beschleunigermodul**

Die »XFEL-Beschleunigerelemente samt Kühlung und Versorgung sind zu XFEL-Beschleunigermodulen zusammengefasst. In ihnen werden die »Elektronen vor der Erzeugung der »Röntgenlaserblitze beschleunigt.

### **XFEL-Beschleunigertunnel**

Im »XFEL-Beschleunigertunnel werden »Elektronen zunächst auf hohe »Energien gebracht, bevor sie anschließend in »anderen Tunneln zur Lichtaussendung veranlasst werden.

### **XFEL-Betriebsgelände**

Oberirdisch ist der »XFEL an drei Orten angesiedelt, den Betriebsgeländen »DESY-Bahrenfeld, »Osdorfer Born und »Schenefeld .

### **XFEL-Betriebsgelände „DESY-Bahrenfeld“**

Das »XFEL-Betriebsgelände „DESY-Bahrenfeld“ bildet den Startpunkt der »XFEL-Anlage. Von hier aus wird sie mit »Elektronen, »Energie und Kälte versorgt. Dieser erste Teil befindet sich überwiegend auf dem »DESY-Gelände in Bahrenfeld.

### **XFEL-Betriebsgelände „Osdorfer Born“**

Unter dem »XFEL-Betriebsgelände „Osdorfer Born“ endet der Beschleunigerteil des »XFEL. Hier werden die »Elektronen auf die »XFEL-Lichterzeugungstunnel verteilt. Auf dem Gelände befinden sich Verzweigungsbauwerke für den Tunnelzugang.

### **XFEL-Betriebsgelände „Schenefeld“**

Das »XFEL-Betriebsgelände Schenefeld beherbergt das zentrale Forschungsgelände. Hier werden die »Elektronen zur Aussendung der »XFEL-Röntgenlaserblitze gebracht. Das Licht wird in »Experimentierhallen zu Forschungszwecken genutzt. Auf dem Forschungsgelände werden rund 350 Menschen ihrer Arbeit nachgehen.

### **XFEL-Blendensystem (Kollimator)**

Das 330 Meter lange »XFEL-Blendensystem schließt sich an den »XFEL-Hauptbeschleuniger an. Hier werden alle »Elektronen herausgefiltert, die für die spätere Lichterzeugung unbrauchbar sind.

### **XFEL-Diagnosesektion**



Die XFEL-Diagnosesektion ist ein Bestandteil des XFEL-Beschleunigers, in dem die Eigenschaften der »Elektronen-»Teilchenpakete vermessen werden, um diese in späteren Phasen optimieren zu können.

#### **XFEL-Eingangsbauwerk**

Das Eingangsbauwerk ist der Teil der »XFEL-Anlage. Hier werden die Versorgungsleitungen für »Energie und Kälte herabgeführt.

#### **XFEL-Elektronenauffänger**

In den Elektronenauffängern werden alle »Elektronen, die nicht weiter benötigt werden, sicher entsorgt. Dies geschieht nach der Lichterzeugung und in bestimmten Fällen auch unmittelbar nach der Beschleunigung. Die »Energie der »Elektronen wird dabei fast vollständig in Wärme umgewandelt.

#### **XFEL-Elektronenpaket-Kompressor**

Der Elektronenpaket-Kompressor ist ein Bestandteil des »XFEL-Beschleunigers, in dem die »Elektronen-»Teilchenpakete verkürzt werden. Dadurch lassen sich die Eigenschaften der später erzeugten »XFEL-Röntgenlaserblitze optimieren.

#### **XFEL-Elektronenquelle**

In den beiden »XFEL-Elektronenquellen werden »Elektronen mit Hilfe eines konventionellen »Laserstrahls aus einer Metallplatte gelöst und in den »XFEL-Beschleuniger weitergeleitet. Beim »XFEL kommen zwei Elektronenquellen zum Einsatz, die beide einzeln genutzt werden können.

#### **XFEL-Experimentierhallen**

Die beiden Experimentierhallen bilden den Abschluss der »XFEL-Anlage. In ihnen wird mit den »XFEL-Röntgenlaserblitzen geforscht. Es sind zwei solche Hallen geplant, von denen die zweite allerdings erst später gebaut wird.

#### **XFEL-Hauptbeschleuniger**

Der XFEL-Hauptbeschleuniger ist ein Bestandteil der XFEL-Anlage. In ihm werden die »Elektronen von rund 500 Millionen auf 20 Milliarden »Elektronenvolt beschleunigt. Der Hauptbeschleuniger besteht aus 116 einzelnen »XFEL-Beschleunigermodulen.

#### **XFEL-Injektorbereich**

Im XFEL-Injektorbereich werden die »Elektronen bereitgestellt, die in den »XFEL-Tunneln beschleunigt und zur Lichtaussendung gebracht werden. Dies geschieht mit Hilfe der beiden »XFEL-Elektronenquellen.

#### **XFEL-Klystron**

Die XFEL-Klystrons erzeugen die »Mikrowellenstrahlung, mit denen die »Elektronen auf hohe »Energien beschleunigt werden. Jedes Klystron versorgt dabei vier der 116 »XFEL-Beschleunigungsmodule.

#### **XFEL-Kältehalle**

In der XFEL-Kältehalle wird Helium auf minus 271 Grad »Celsius gebracht, wobei es flüssig wird. Mit dem flüssigen Helium werden die »XFEL-Beschleunigerelemente gekühlt. Diese verlieren bei dieser »Temperatur ihren elektrischen Widerstand: Es kommt zur »Supraleitung.

### **XFEL-Lichterzeugungstunnel**

In den XFEL-Lichterzeugungstunneln befinden sich Magnetanordnungen (so genannte »*Undulatoren*«), welche die »*Elektronen*« auf Slalomkurse und dadurch zur Aussendung der »*XFEL-Röntgenlaserblitze*« bringen.

### **XFEL-Modulatorhalle**

In der »*XFEL-Modulatorhalle*« wird normale Wechselspannung aus dem Stromnetz in Pulse umgewandelt, die zur Beschleunigung der »*Elektronen*« im XFEL benötigt werden.

### **XFEL-Photonentunnel**

In den »*Photonentunneln*« werden die »*XFEL-Röntgenlaserblitze*« zu den »*XFEL-Experimentierhallen*« geleitet. Über verschiedene Komponenten kann dabei auf die »*Intensität*« und beschränkt auch auf die »*Wellenlänge*« der »*elektromagnetischen Strahlung*« Einfluss genommen werden.

### **XFEL-Planfeststellungsverfahren**

Ein Planfeststellungsverfahren fasst die vielen einzelnen öffentlich-rechtlichen Verfahren zusammen, die bei der Genehmigung von großen Bauprojekten wie Autobahnen, Schienenwegen und Flughäfen durchgeführt werden müssen. Es muss durch spezielle Rechtsvorschriften angeordnet werden. Auch für den XFEL gibt es ein Planfeststellungsverfahren, das durch den »*XFEL-Staatsvertrag*« festgelegt wurde. Es wurde am 27. April 2005 eingeleitet.

### **XFEL-Röntgenlaserblitz**

Die »*XFEL-Anlage*« erzeugt Röntgenlaserblitze mit ganz besonderen Eigenschaften. Die Blitze haben so kurze »*Wellenlängen*«, dass selbst »*atomare*« Strukturen erkennbar werden. Die Blitze sind weniger als 100 milliardstel Sekunden lang und ermöglichen damit das Filmen chemischer Reaktionen. Zudem sind die Blitze »*laserlichtartig (kohärent)*«, wodurch sich dreidimensionale Aufnahmen aus der Nanowelt machen lassen.

### **XFEL-Sicherheit**

Der »*XFEL*« kann ohne Risiken unter und in besiedeltem Gebiet betrieben werden. Von ihm geht keine Gefährdung für die Umwelt aus, auch nicht bei einer eventuellen Betriebsstörung.

### **XFEL-Staatsvertrag**

Im »*XFEL-Staatsvertrag*« zwischen dem Land Schleswig-Holstein und der Freien und Hansestadt Hamburg wurden die planerischen Voraussetzungen für den Bau und Betrieb der »*XFEL-Anlage*« geschaffen. Geregelt wird unter anderem ein gemeinsames »*XFEL-Planfeststellungsverfahren*«. Der Staatsvertrag wurde am 28.9.2004 unterschrieben und ist seit dem 1.1.2005 rechtskräftig.

### **XFEL-Standort**

Mit dem »*XFEL*« entsteht eine 3,4 Kilometer lange Forschungsanlage an der Grenze zwischen Hamburg und Schleswig-Holstein. Der Großteil der »*XFEL-Anlage*« befindet sich in den »*XFEL-Tunneln*« unter der Erde, zu denen Zugang über drei »*XFEL-Betriebsgelände*« besteht. Die Anlage beginnt auf dem »*XFEL-Betriebsgelände*« „Hamburg-Bahrenfeld“, verläuft dann unterirdisch in nordwestlicher Richtung, verzweigt sich auf dem »*XFEL-Betriebsgelände*« „Osdorfer Born“ und endet auf dem »*XFEL-Betriebsgelände*« „Schenefeld“.

### **XFEL-Tunnel**

Der Großteil der »XFEL-Anlage« befindet sich in Tunneln unter der Erde. Die Tunnel liegen in ca. 6 bis 38 Metern Tiefe und haben Innendurchmesser von etwa 4,50 und 5,20 Metern. Zu den Tunneln zählen der »XFEL-Beschleunigertunnel«, die »XFEL-Lichterzeugungstunnel« und die »XFEL-Photonentunnel«.

### **XFEL-Undulator**

In den »XFEL-Undulatoren« werden »Elektronen« auf einen Slalomkurs und damit zur Aussendung der »XFEL-Röntgenlaserblitze« gebracht. Die XFEL-Undulatoren sind bis zu 150 Meter lang.

### **XFEL-Vorbeschleuniger (Booster)**

Der rund 50 Meter lange »XFEL-Vorbeschleuniger (Boosterbeschleuniger)« schließt sich direkt an die »XFEL-Elektronenquellen« an und beschleunigt die »Elektronen« auf etwa 500 Millionen »Elektronenvolt«. Danach werden die »Teilchenpakete« verkürzt und in den »XFEL-Hauptbeschleuniger« geleitet.

### **XFEL-Wasserkühler**

Über die XFEL-Wasserkühler wird Wasser auf niedriger Temperatur gehalten, um damit zahlreiche Bestandteile der »XFEL-Anlage« zu kühlen. Auf den »XFEL-Betriebsgeländen« gibt es solche Kühler an verschiedenen Stellen.

### **Zehnerpotenzen**

Zehnerpotenzen werden von Wissenschaftlern genutzt, um bequemer mit sehr großen und sehr kleinen Zahlen umgehen zu können.  $10^n$  entspricht dabei einer 1 mit n Nullen.  $10^{-n}$  entspricht dabei einer 0 gefolgt von einem Komma, (n-1) Nullen und dann einer 1.  $10^4$  ist also 10 000 und  $10^{-4}$  entspricht 0,0004.