

European XFEL Licht der Zukunft

Prof. Robert Feidenhans'l
Chairman of the European XFEL Management Board

Einwohnerversammlung Stadt Schenefeld
29. November 2017



European XFEL – eine führende neue Forschungseinrichtung



- European XFEL (X-Ray Free-Electron Laser) ist eine Forschungseinrichtung im Status der Inbetriebnahme. Intensive Röntgenlaserblitze werden Wissenschaftlern neue Einblicke in die Natur der Materie eröffnen.
- Standorte: Schenefeld und Hamburg
- Anlage für externe Nutzer mit mehr als 350 Beschäftigten (+250 from DESY)
- 14. September 2017: Beginn des Nutzerbetriebs

Einweihung 1. Se



Wissenschaftler Prof. Christian Bressler

Hamburg
„Basis für die Innovationen“

Знание – сила

Издается с апреля 1998 года

Подписные индексы 53769, 53861

ПРЕОДОЛЕТЬ ПРЕДЕЛ

Торжественная церемония открытия европейского рентгеновского лазера на свободных электронах XFEL прошла первого сентября в Гамбурге. Россию представлял на ней помощник президента РФ А.А. Фурсенко. Первыми российскими учеными, которые проведут с помощью лазера свои эксперименты уже в сентябре этого года, будут сотрудники Южного федерального университета из МИЦ «Интеллектуальные материалы».

Рентгеновский лазер на свободных электронах XFEL, благодаря своим параметрам, станет уникальным инструментом для исследования сверхмалых структур, очень быстрых процессов и экстремальных состояний. С помощью лазера ученые, в частности, планируют разрабатывать новые лекарства и материалы, его будут использовать в исследованиях по энергетике, электронике и химии.

В строительстве и эксплуатации XFEL участвуют Венгрия, Германия, Дания, Испания, Италия, Польша, Россия, Словакия, Франция, Швейцария и Швеция, в конце года к проекту присоединится Великобритания. Строительство установки началось в 2009 году и завершилось в 2016 году, ее общая стоимость составила 1,22 миллиарда евро (в ценах 2005 года).

ЧТО ТАКОЕ XFEL

Туннель XFEL длиной 3,4 км начинается в крупнейшем в Германии исследовательском центре по физике частиц DESY в Гамбурге и тянется до города Шenefельд, а земля Шлезвиг-Гольштейн. В Шenefельде расположен исследовательский центр.

Накануне старта эксперимента

На церемонии открытия Европейского рентгеновского лазера на свободных электронах XFEL первым пользователем вручили символические пропуски в лабораторию, где будет происходить эксперимент. Международный коллектив, в составе которого ведущие научные организации МИЦ «Интеллектуальные материалы» Южного федерального университета Григорий Смоленцев и Александр Гулд (на фото в центре), выиграл в конкурсе на право провести измерения диэлектрических металлоорганических комплексов меди — новых материалов для органических светодиодов OLED.

Сверхпроводящий линейный ускоритель частиц длиной в 1,7 км в составе XFEL будет разогнать электроны до энергии в 17,5 ГэВ (гигаэлектронвольт). После разгона до таких высоких энергий электроны направляются через специальные магнитные системы — ондуляторы. При этом частота излучения излучения, которое постепенно усиливается до очень коротких и интенсивных рентгеновских вспышек.

XFEL будет производить рекордные 27 тыс. вспышек в секунду, каждая длительностью менее 100 фемтосекунд (фемтосекунда — одна квадриллионная доля секунды). Аналогичный американский лазер производит 120 таких вспышек в секунду, швейцарский — 100, японский и корейский — 60.



УЧАСТИЕ РОССИИ

Для России, которую в проекте представляет МИЦ «Курчатовский институт», в расходах на строительство установки составила 26 процентов (крупнейшая после Германии с 57 процентов). Российские специалисты представлены во всех управляющих органах XFEL и формируют программу его научных экспериментов.

Ученые Южного федерального университета, МФТИ и других российских вузов и институтов в составе первых экспериментальных групп начнут работу с комплексом в



ближайшее время. «Курчатовский институт» рассчитывает получить статус центра обработки данных XFEL, а в будущем Россия может создать в комплексе и собственные исследовательские станции.

«Сегодня по числу организаций мы входим в тройку лидеров наряду с Германией и США среди первых победителей в конкурсе на право проводить исследования. Германия — понятно,

чаще, синхротронный источник четвертого поколения, нам точно нужно понимать, кто будет нам проектировать эти станции, кто будет их создавать и на них работать. Наша задача, в том числе с учетом возможностей XFEL, — сформировать такие команды молодых ученых, которые бы затем перенесли этот опыт, работая на новых установках на территории России», — подчеркнул Попов.

ПЕРВЫЕ РОССИЙСКИЕ ПРОЕКТЫ

Руководитель одного из первых российских проектов на XFEL Григорий Смоленцев, представляющий российский Южный федеральный университет и институт Пауля Шеррера в Швейцарии, рассказал ТАСС, что его группа давно ведет предварительные исследования, а сейчас готовится к началу работы на установке 28 сентября. Группа Григория Смоленцева и Александра Гулда изучает материалы для органических светодиодов (OLED-материалы).

«Традиционная технология для таких материалов, базирующаяся исключительно на органических элементах, имеет фундаментальный предел в 25% по квантовому выходу эмиссии. Это означает, что в лучшем случае каждый четвертый рекомбинирующий электрон в таких устройствах используется для того, чтобы материал светился, тогда как три из четырех просто его нагревают», — пояснил Смоленцев.

Чтобы преодолеть этот предел, в материал можно добавить тяжелый химический элемент, например, иридий, но такие элементы дороги и редки, что ограничивает распространение этой технологии. Смоленцев и его коллеги изучают альтернативные OLED-материалы на основе меди.

«Ключевую роль в излучении света этим материалом играет синглетное состояние, которое является короткоживущим, его время жизни около 10 пикосекунд (одна триллионная доля секунды — прим. ТАСС). В силу малого времени жизни наблюдать это состояние, используя традиционные рентгеновские методы, например, с использованием синхротронных источников, практически невозможно. Поэтому и необходимо применение лазера на свободных электронах. Знать структуру синглетного состояния нужно, чтобы понять, как минимизировать потери энергии на процессе, не связанные с излучением света», — сказал Смоленцев.

почему, там находится сам инструмент, у Союзных Штатов большой опыт, поскольку предыдущий самый продвинутый лазер находится в Стэнфорде. И Россия входит в эту тройку, у нас уникальный опыт строительства, работы на своих, отечественных ускорителях-мегаускорителях», — сказал специальный представитель МИЦ «Курчатовский институт» в европейских международных организациях Михаил Рычев.

Заместитель директора по международной деятельности МИЦ Михаил Попов отметил, что впервые по инициативе организации была разработана национальная программа участия российских организаций в проекте XFEL, объединяющая около 30 университетов и других научных организаций.

«Речь идет о целенаправленной скоординированной деятельности российских организаций. Научная программа составлена таким образом, что она дополняет те исследования, которые ведут на Курчатовском синхротроне, которые ведут наши университеты», — сказал Попов.

По его словам, для России сейчас важно восстанавливать среду, которая могла бы работать с подобной научной инфраструктурой.

«Мы начинаем говорить о создании исследовательского парка — реактор ПИК в Пет-



TASS

NEWS IN FOCUS

CLIMATE Lawsuit highlights gaps in climate services around the world **p.508**

PALAEONTOLOGY Dinosaur fossils found in roosting position for first time **p.510**

ENGINEERING Mystery of deaths on Civil War submarine solved **p.511**



PLANETARY SCIENCE Highlights from Cassini's grand tour of Saturn **p.512**



Researchers will soon be able to use the European X-ray Free Electron Laser near Hamburg, Germany, to watch molecules in action.

PHYSICS

Europe's X-ray laser fires up

High-speed shooter will help scientists to make molecular movies.

inc., part of Springer Nature. All rights reserved.

Structural biology: doors open at the European XFEL

Vivien Marx

X-ray beams at 27,000 pulses per second promise high-resolution views of macromolecules.

As of September 1, 2017, scientists can come to the European X-ray free-electron laser (EuXFEL) for structural biology pursuits. They can collect diffraction data on protein nanocrystals and particles such as viruses, protein complexes and single molecules. They might create dynamic virus 'movies' from a series of individual snapshots. After 15 years of development, construction and testing, EuXFEL has 'lased': it generated a beam brighter than those produced by all other existing X-ray sources (see **Box 1**, "EuXFEL at a glance"). In more testing, a beam was successfully sent to a 'hutch', one of several lead-and-steel-enclosed rooms at the facility. Some hutches hold gratings, filters and other beam-tuning equipment; others have instruments for measuring samples. From nearby control rooms, researchers interact with instru-

and square in the beam are quite rare," says Chapman.

Around the world, a number of XFELs are operational or almost there (**Box 2**, "Some X-ray free-electron lasers"), and more are being built, for example, in China. Accelerator-driven FELs and the new EuXFEL offer scientists exposures on a femtosecond (10^{-15} seconds) or even attosecond (10^{-18} seconds) timescale so they can measure the structure, variability and dynamics of the experimental objects of their choice¹⁻⁵.

Strictly speaking, biological objects are never identical to one another, says Janos Hajdu, a biophysicist now at Uppsala University who spent much of his career at the University of Oxford. Macromolecular structures adopt various conformations. "Since biology is, by its nature, all about motion"



Earlier this year, the EuXFEL's first laser beam reached the 'hutch'.

developer at the University of Wisconsin in Milwaukee, and his colleagues made movies of a virus (published in this issue⁶). Such movies can reveal biologically important information, says Ourmazd. In the future, the EuXFEL could help researchers map complex landscapes of biological mol-

Die ersten Nutzer – 14. September



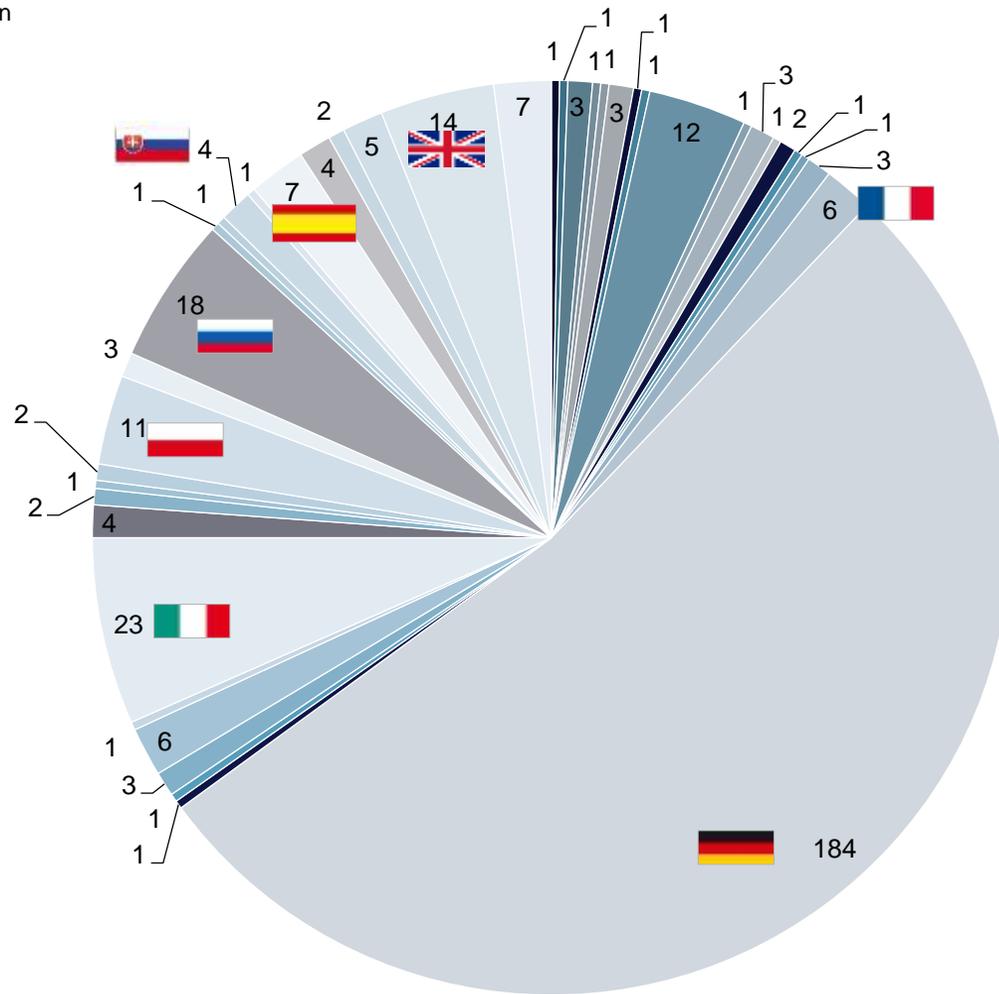
Über European XFEL



- Gemeinnützige Gesellschaft, Gründung 2009
- Aufgabe: Bau, Betrieb und Weiterentwicklung des Freie-Elektronen-Lasers
- Völkerrechtlicher Vertrag mit heute 12 Partnerländern,
- Deutschland (Bund, Hamburg und Schleswig-Holstein) trägt 58% der Kosten; Russland 27 %, weitere Gesellschafter 1–3%
- Budget für Bau und Inbetriebnahme
 - 1,22 Mrd. € (Preisniveau 2005)
 - 600 Mio € als Bareinlage, mehr als 550 Mio € als Sachbeiträge (meist Entwicklung und Herstellung von Anlagenteilen)

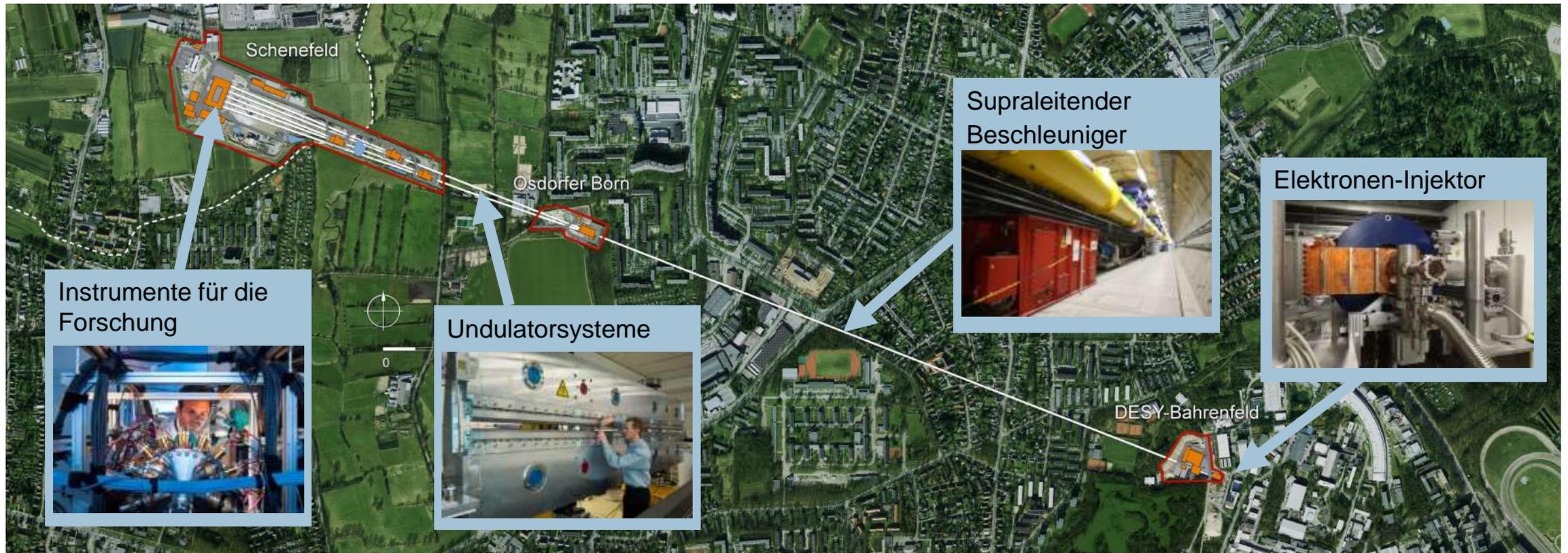
European XFEL-Belegschaft nach Ländern*

* inkl. 11 doppelte Staatsbürgerschaften



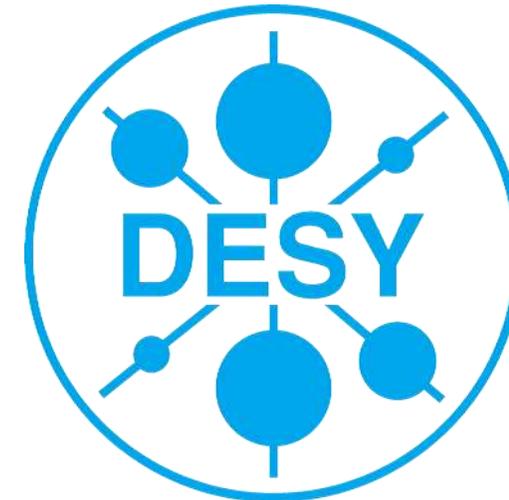
- Algeria
- Armenia
- Australia
- Austria
- Belgium
- Brazil
- Cameroon
- Canada
- China
- Costa Rica
- Croatia
- Czech Republic
- Denmark
- Ecuador
- Ethiopia
- Finland
- France
- Germany
- Greece
- Hungary
- India
- Iran
- Ireland
- Italy
- Japan
- Korea
- New Zealand
- Pakistan
- Poland
- Portugal
- Russian Federation
- Saudi Arabia
- Serbia
- Slovakia
- South Africa
- Spain
- Sweden
- Turkey
- Ukraine
- United Kingdom
- United States

Wie funktioniert ein Röntgenlaser? Die Forschungseinrichtung im Überblick



DESY und European XFEL – Starke Partner

- DESY ist Hauptgesellschafter von European XFEL
- Konzept entwickelt bei DESY
 - Prototyp FLASH steht Nutzern seit 2005 zur Verfügung
- DESY und European XFEL kooperieren bei Bau, Inbetriebnahme und Betrieb des Röntgenlasers
 - DESY baut in internationaler Zusammenarbeit mit Partnern den Beschleuniger und wird die technische Betriebsführung des Beschleunigers übernehmen

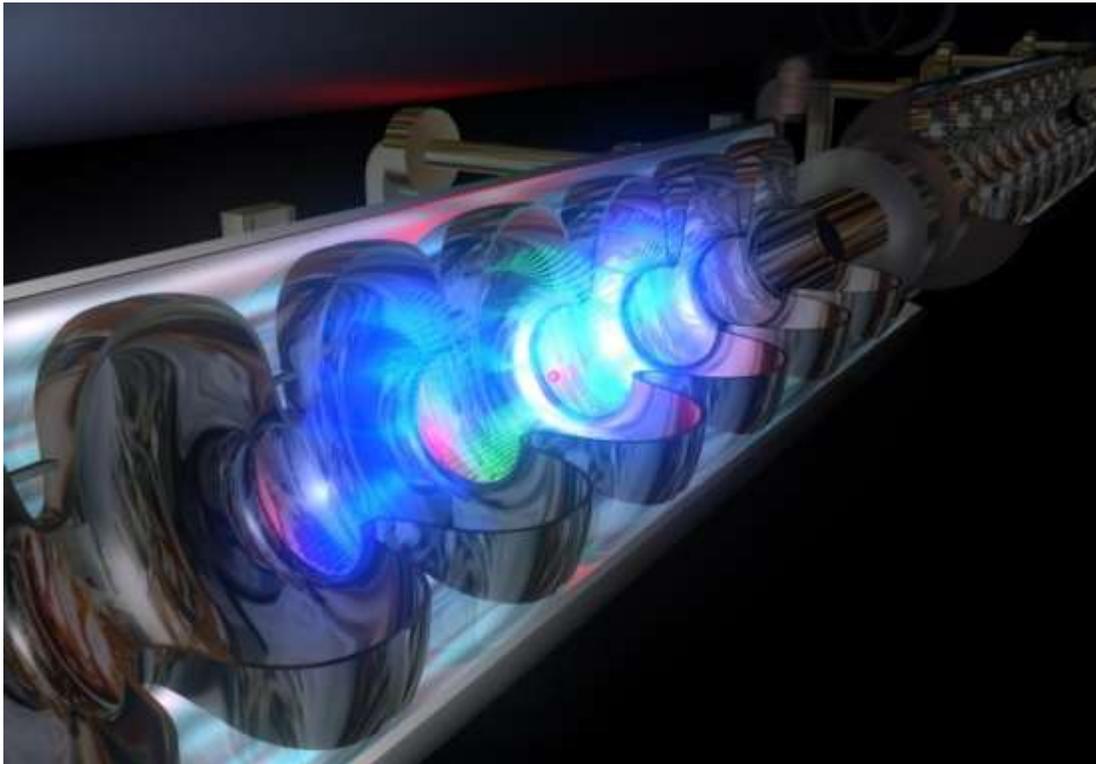


Der Injektor: Erzeugung von Elektronenpaketen



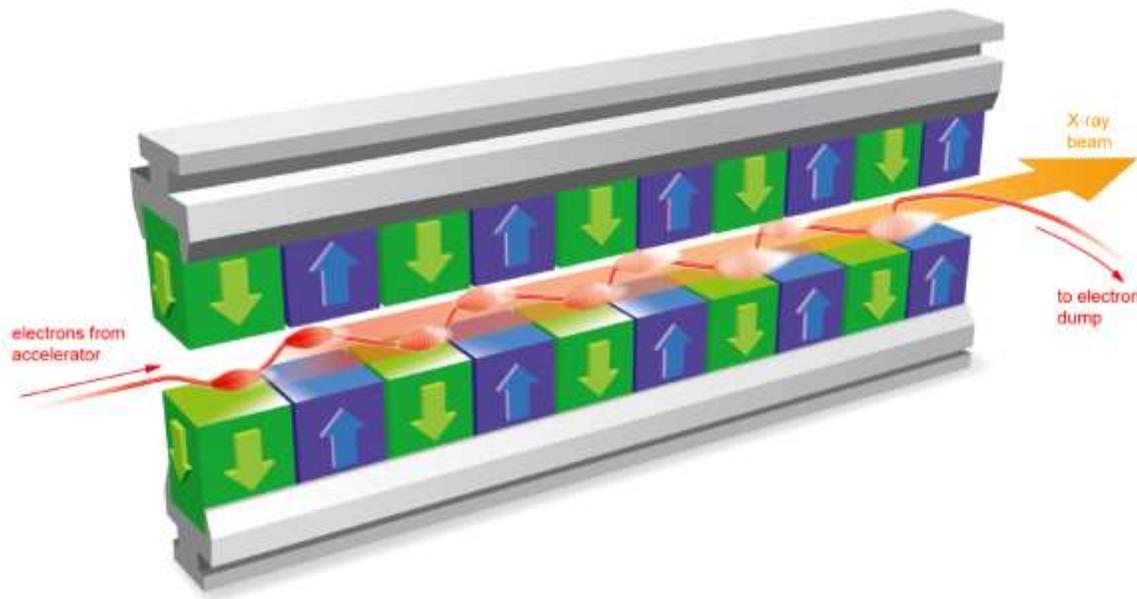
- Ein optischer Laser trifft auf eine Cs_2Te -Oberfläche und setzt Elektronen frei
- Die Elektronen bilden im Magnetfeld ein „Paket“
- Ein kleines Beschleunigermodul „feuert“ das Paket in den Hauptbeschleuniger

Der Teilchenbeschleuniger: Elektronen fast auf Lichtgeschwindigkeit



- In supraleitenden Resonatoren aus Niob beschleunigen Mikrowellen die Elektronen
- 96 Beschleunigermodule auf 2 km Tunnelstrecke: Die Elektronenpakete erreichen annähernd Lichtgeschwindigkeit und sehr hohe Energien von 17,5 GeV

Undulatoren und SASE-Prozess: Elektronen emittieren laserartiges Röntgenlicht

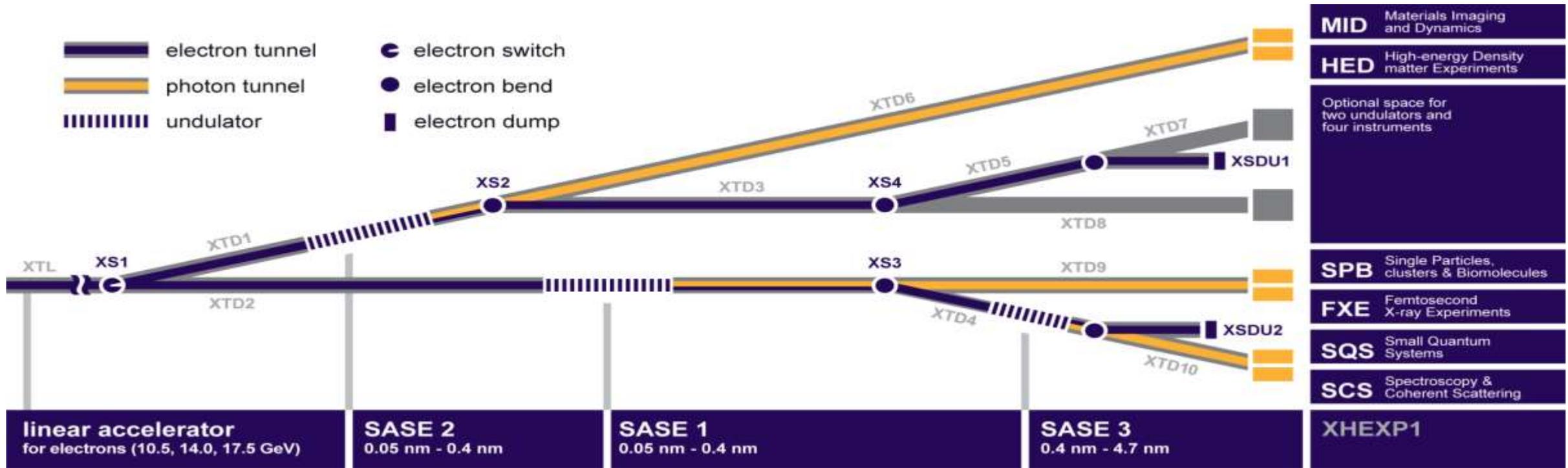


- Wechselnde Magnetfelder bringen die Elektronen auf einen Slalomkurs
- Elektronen geben beim Richtungswechsel Röntgenstrahlung ab
- SASE-Prozess (Self-Amplified Spontaneous Emission) setzt intensive, laserartige Röntgenstrahlung frei

Undulator im Tunnel

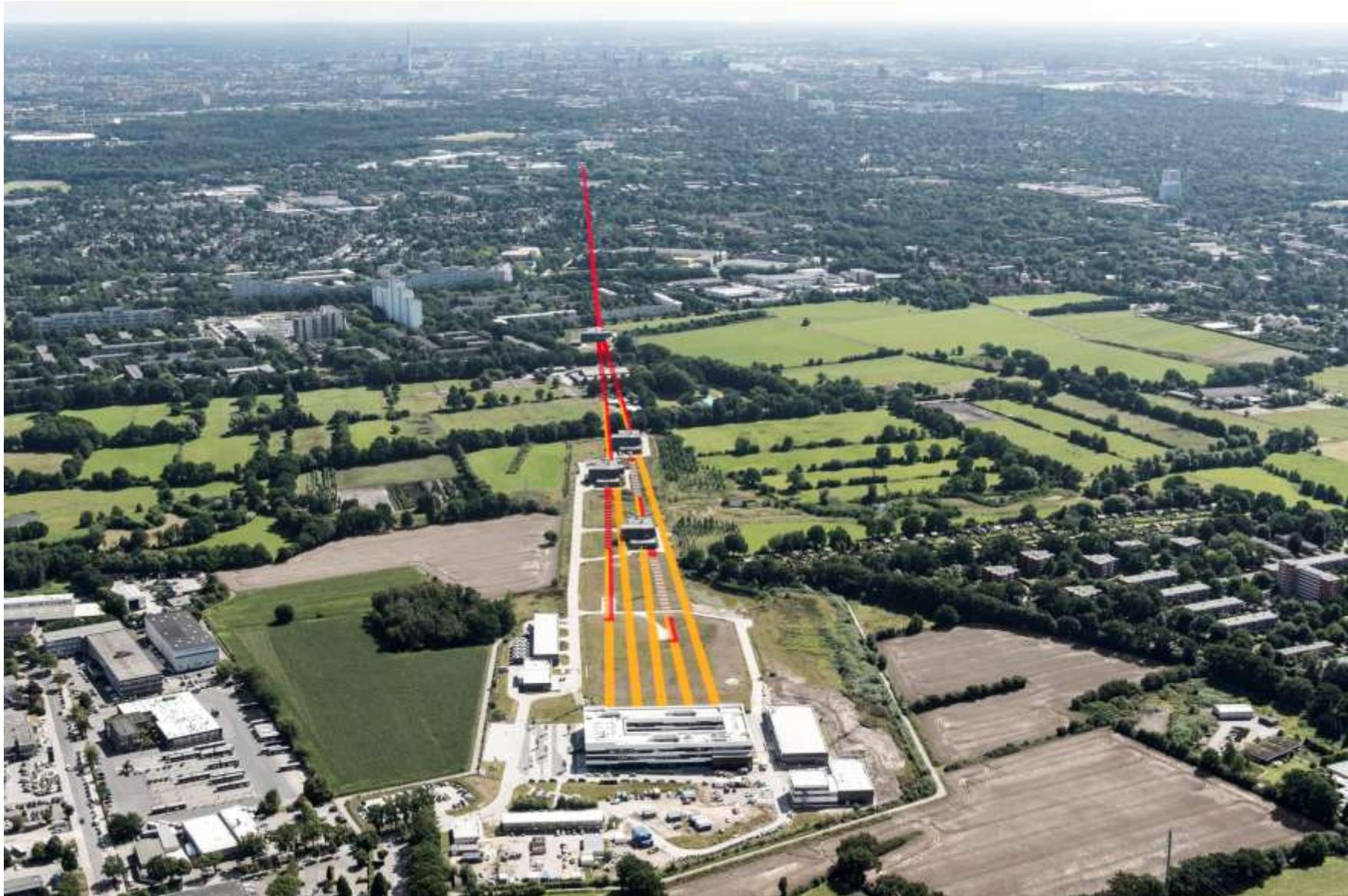


Undulator Segment	FEL radiation energy [keV]	Wavelength [nm]
SASE 1	3 - over 24 (Hard XR)	0.4 - 0.05
SASE 2	3 - over 24	0.4 - 0.05
SASE 3	0.27 – 3 (Soft XR)	4.6 – 0.4

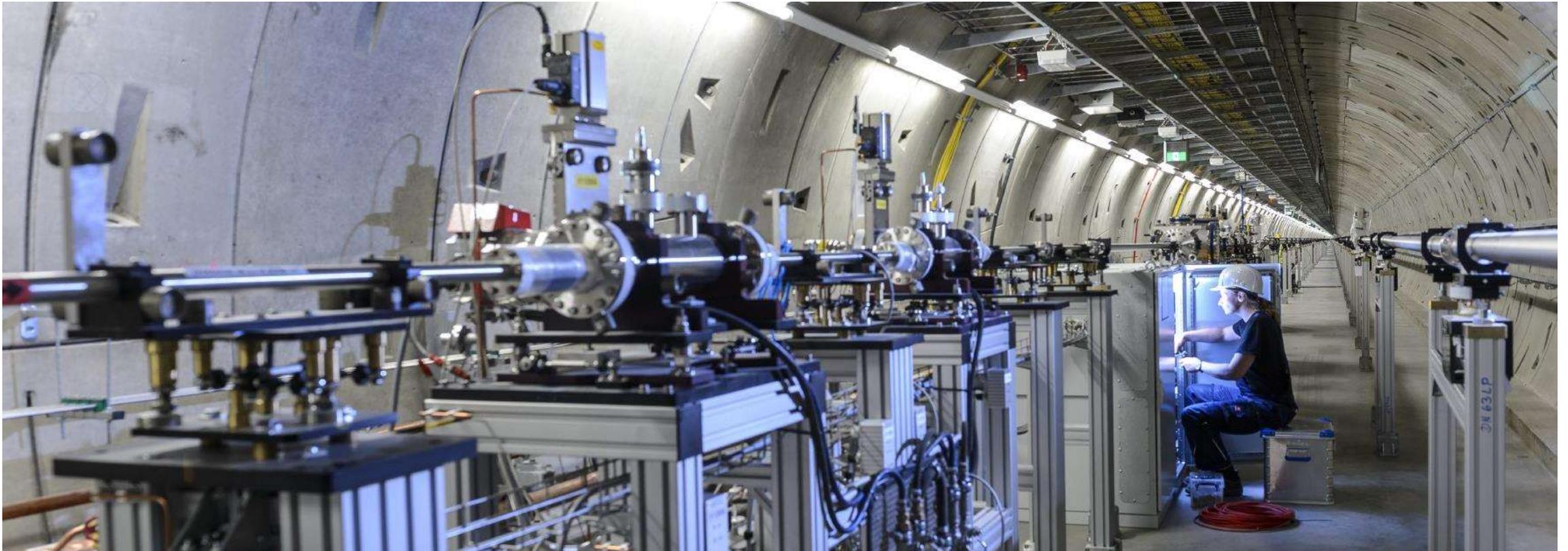


European XFEL

Orange color: X-ray optics & Beam Transport



Photon beamlines



Hier wird viel Technologie entwickelt

Beschleuniger

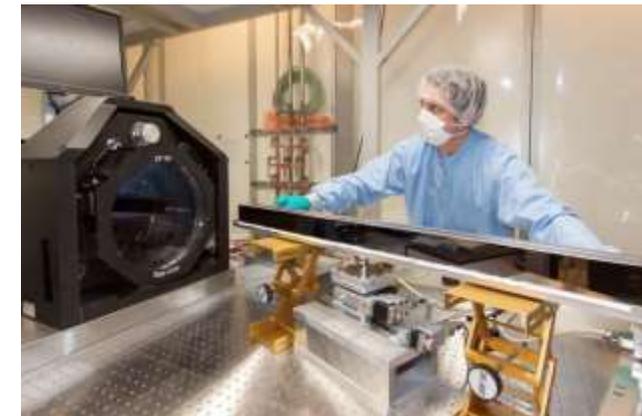
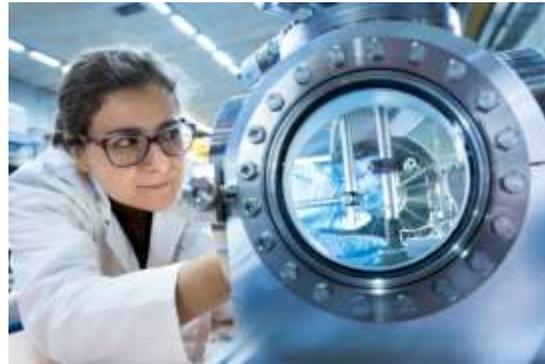
Detektoren

Datenanalyse, Speicherung

Elektronik, Mechanik

Optik

Laser

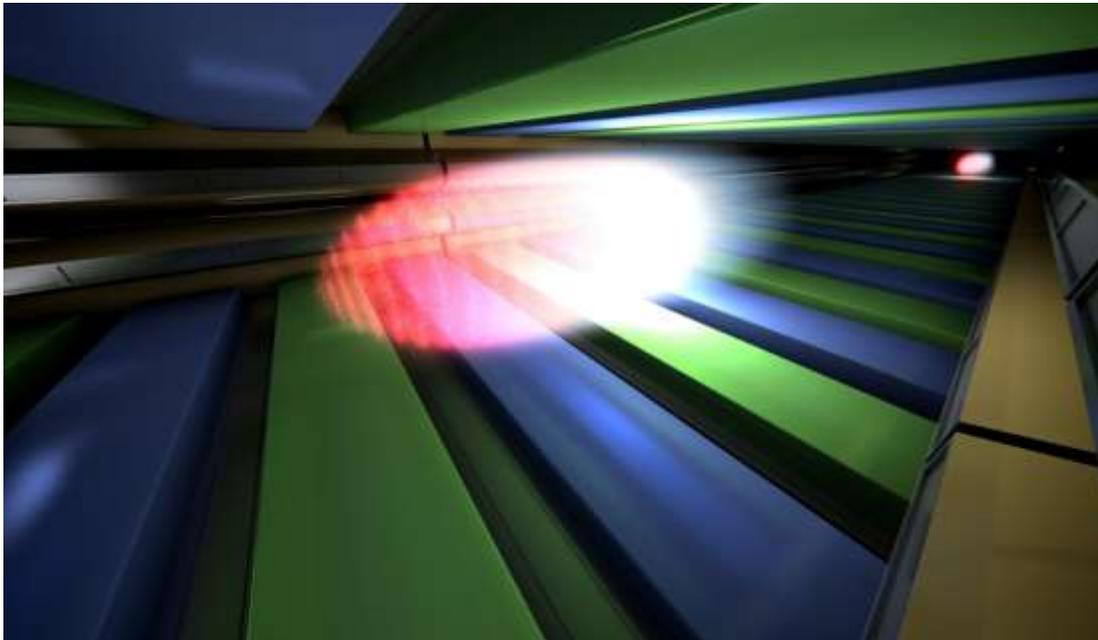


Freie-Elektronen-Laser weltweit



Mit European XFEL wird Europa weltweit führend in einem herausfordernden wissenschaftlichen und technischen Umfeld.

Was kann der European XFEL?



Röntgenlicht

atomare Auflösung erreichen

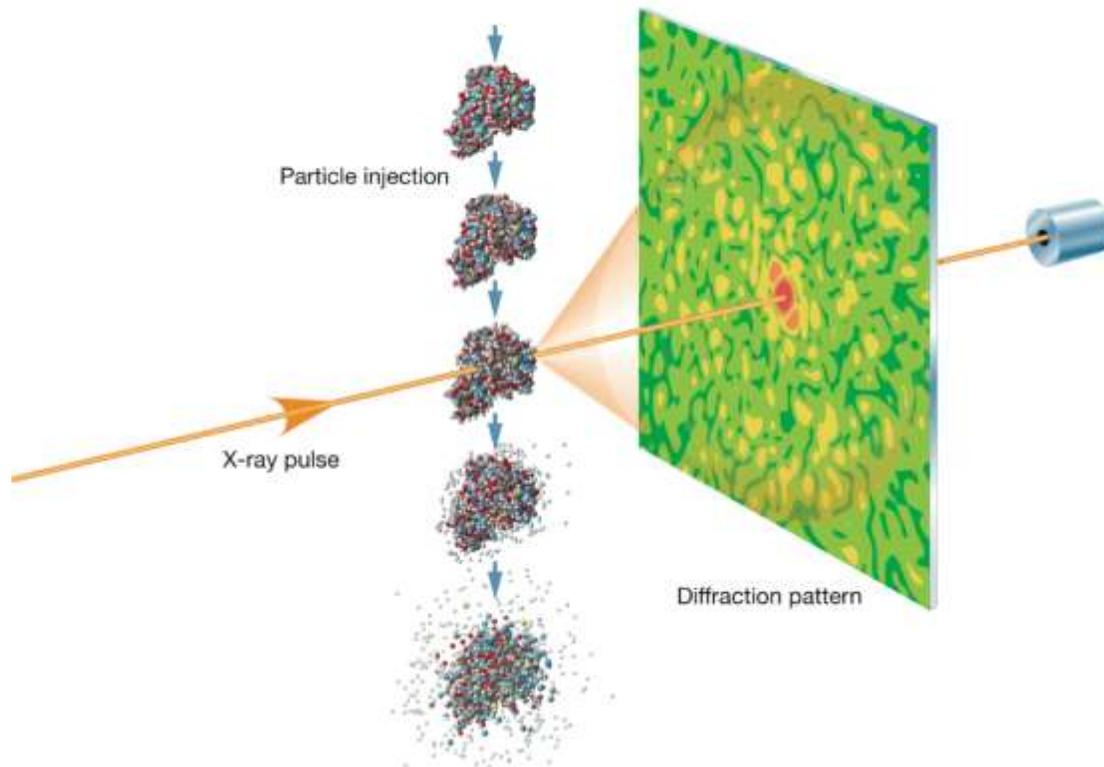
Ultrakurze Blitze

Bio(chemische) Reaktionen filmen

Intensive Röntgenblitze

Einzelne Moleküle oder winzige Kristalle abbilden

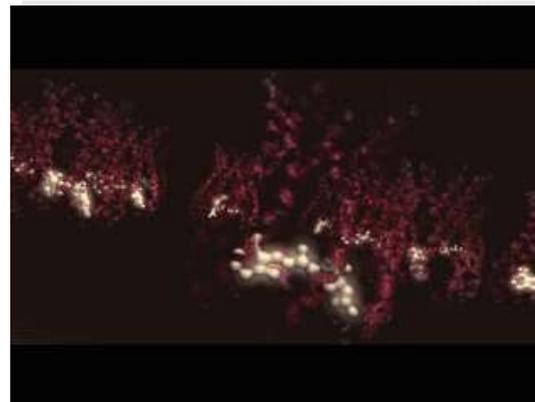
Bilder ohne Kameralinse



- Die Proben werden gelöst in eine Vakuumkammer eingespritzt
- Der Röntgenstrahl trifft die Probe
- Das Streumuster wird aufgenommen, bevor das Molekül zerstört ist
- „Diffraction before Destruction“

„Molekülkino“ – Molekülbewegungen filmen

European XFEL, 2017 1892

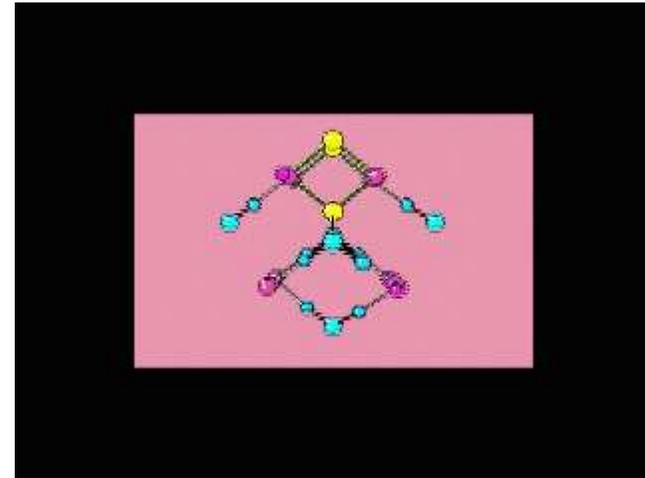


„Molekülkino“ – Molekülbewegungen filmen

Aufnahme mit niedriger Zeitauflösung
($\gg 100$ fs)



Aufnahme mit dem European XFEL
Zeitauflösung (< 100 fs)



Höhere Zeitauflösung ermöglicht schärfere Bilder und Filme,
die Molekularbewegung zeigen.

Was braucht man um einen Molecular Movie zu machen?



Wellenlänge

Zeitskala

Kamera

Intensität



Many thousands of frames of diffraction data was collected And successfully analysed to give a structure!

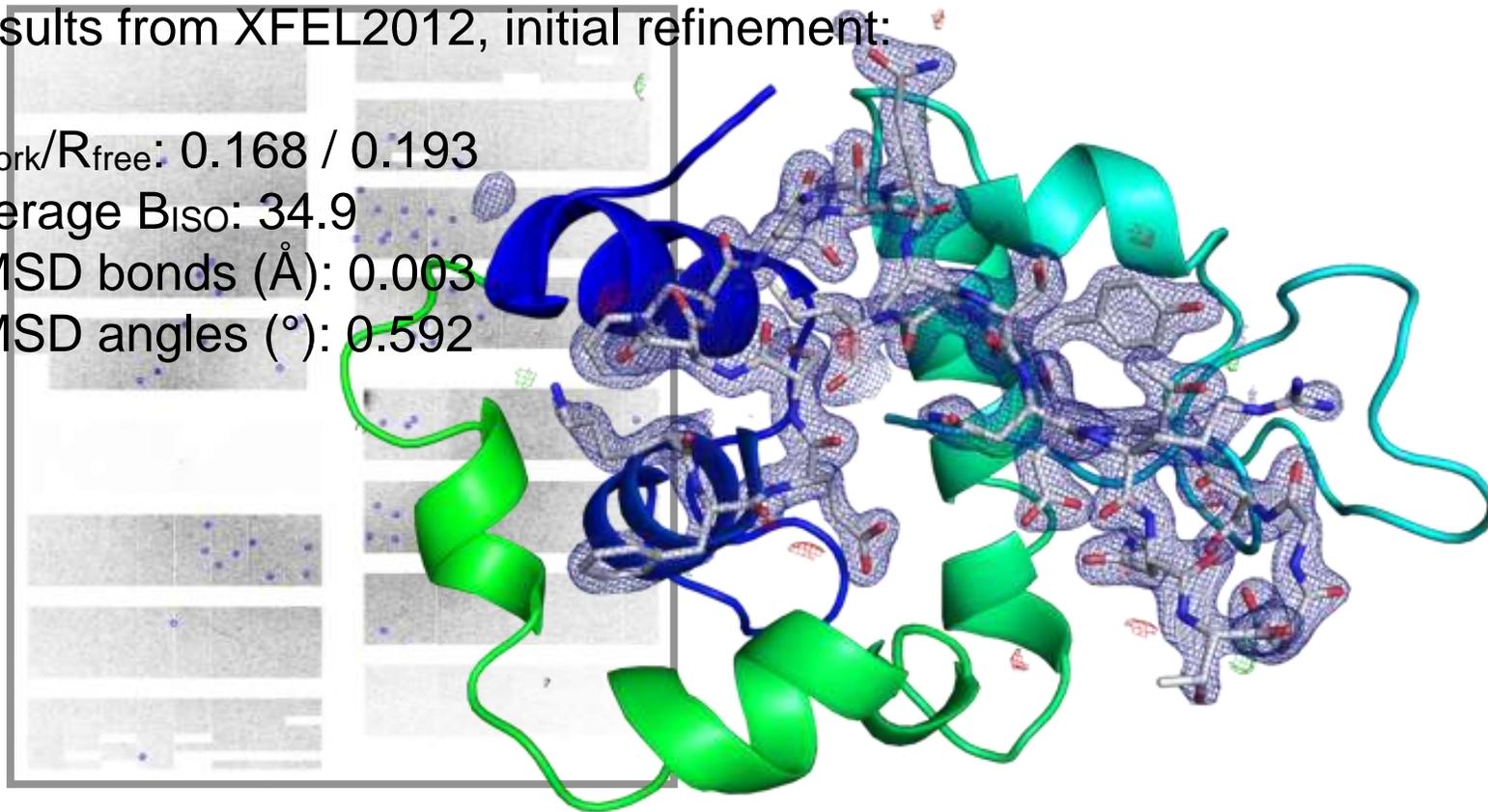
Results from XFEL2012, initial refinement:

$R_{\text{work}}/R_{\text{free}}$: 0.168 / 0.193

Average B_{iso} : 34.9

RMSD bonds (Å): 0.003

RMSD angles (°): 0.592



- This is the first realisation of the European XFEL's purpose—a complete experiment from start-to-end demonstrated in the very first user experiment at the facility at the SPB/SFX instrument (Data September 2017, Analysis November 2017). That is, structural biology works at XFEL!

FXE scientific instrument

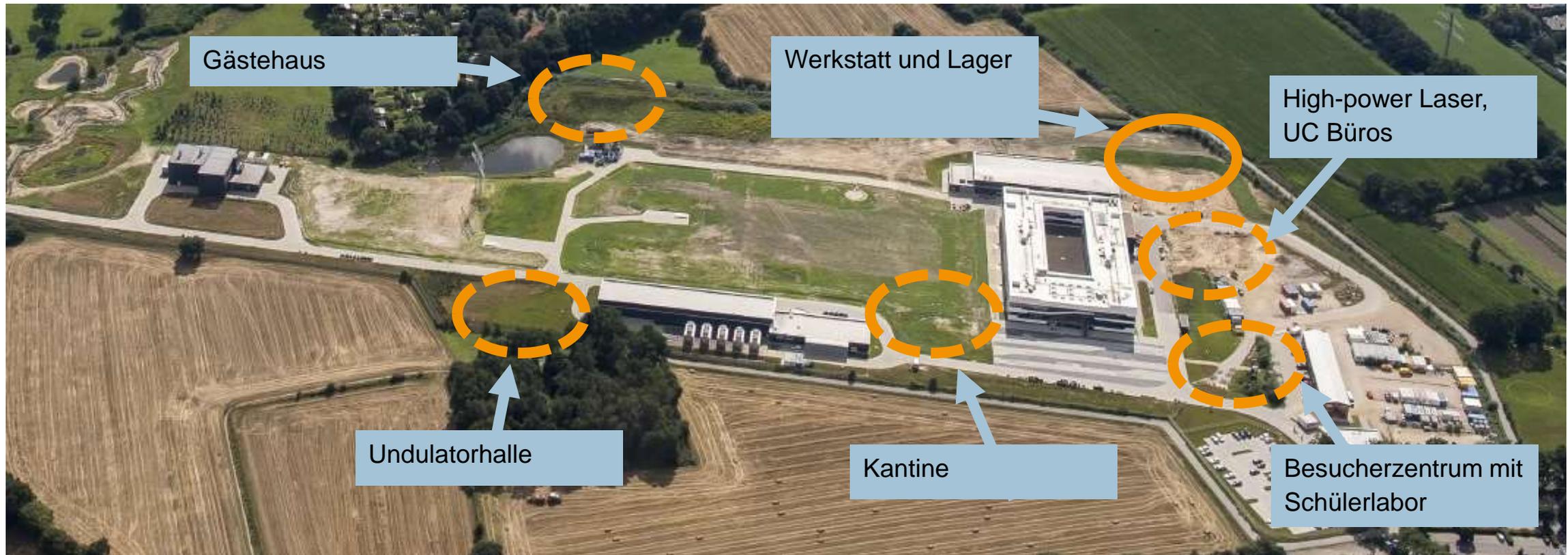




Chancen/Anwendungen:
Biologie, Medizin, Pharmakologie
Chemie, Materialwissenschaften und vieles mehr



Übersicht Campus Schenefeld mit geplanter Kantine und Gästehaus



...Vorplatz mit Blick auf das geplante Kantinengebäude



Geplantes Kantinengebäude für Nutzer, Mitarbeiter und Gäste

- Geplanter Baubeginn April 2017
- Fertigstellung Sommer 2018
- Sitzplätze für 150 Personen



Geplantes European XFEL-Gästehaus

- Baubeginn : Bald
- Fertigstellung im Jahresende 2018
- 56 Zimmer mit 59 Betten



Ausgleichs- und Kompensationsmaßnahmen: ein neuer ökologischer Hotspot in der Osdorfer Feldmark

Die Bauarbeiten für den European XFEL wurden so durchgeführt, dass hochwertige Strukturen wie Großbäume, Knicks und sonstige naturnahe Gehölze möglichst erhalten bleiben.

Ein zentrales Element der **Ausgleichs- und Kompensationsmaßnahmen** ist die großflächige **Renaturierung der Düpenau** auf dem Betriebsgelände Schenefeld sowie in dessen Umgebung.



Luftaufnahme des Betriebsgeländes Schenefeld August 2017

Renaturierung der Düpenauniederung

- Verschiedenartige Gewässer mit wertvollen Uferbereichen, Abflachung der Uferbereiche und Mäandrierung
- Röhrichflächen, Rückhaltegewässern, Versickerungsflächen und Gräben
- Erlen- und Eschenauwald an den Rändern des Überflutungsbereiches, Übergang zu Eichenmischwald
- Entwicklung von weitgehend gehölzfreien Biotopen der Bachniederung
- Unterführungsprofile zur Querung der Düpenau und Wildwechsel



Luftfoto der renaturierten Düpenau September 2017



Vogel- und Fledermausschutz

- Fachliche Begleitung durch den Naturschutzbund Deutschland (NABU) inkl. Monitoring

- Nisthilfen an Gebäuden sowie am Hochspannungsmast auf dem Forschungscampus Schenefeld (bis Anfang 2018):
 - 3 Turmfalkenkästen
 - 8 Dohlennisthöhlen
 - 8 Sperlingskoloniehäuser
 - 4 Nischenbrüterhöhlen (Hausrotschwanz)
 - 3 Mauerseglerkästen
 - 1 Sommer- und 4 Winter-Fledermaushöhlen



Von links nach rechts: Turmfalke, Dohle, Sperling, Rotschwanz (Fotos: Jan Tolkiehn auf dem Betriebsgelände Schenefeld)

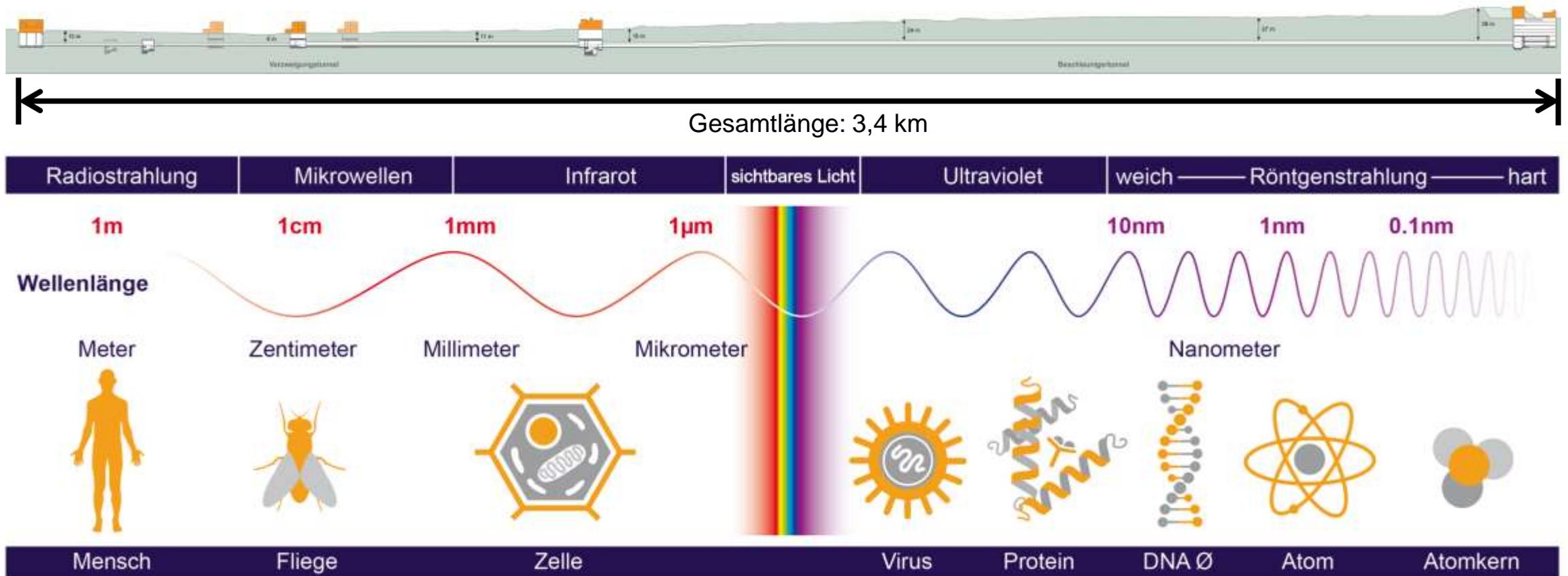
Danke für Ihre Aufmerksamkeit



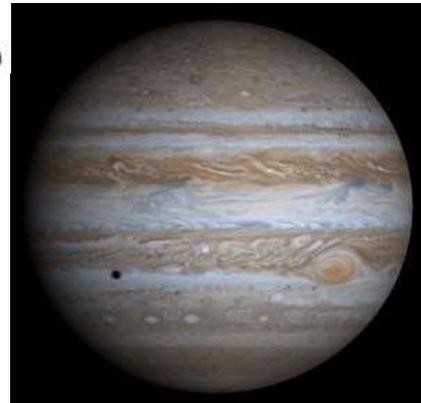
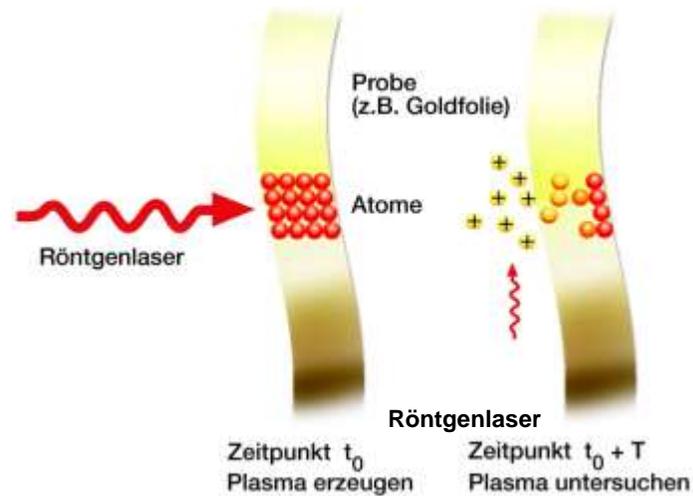
Danke für Ihre Aufmerksamkeit



Eine große Anlage zur Untersuchung kleiner Objekte...



...und unter extremen Bedingungen

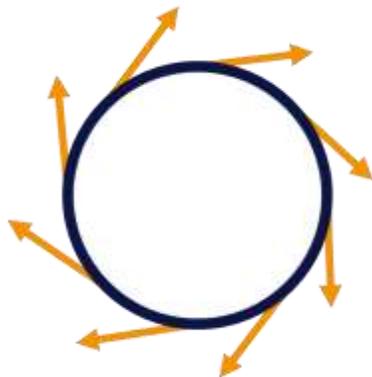


- Erzeugung von Plasmen bei hohem Druck und Temperatur sowie hoher Dichte zur Untersuchung mit dem Röntgenlaser
- Plasmen mit Eigenschaften ähnlich denen im Inneren von Planeten, z. B. auch Exoplaneten

Röntgenstrahlen zur Untersuchung von Materie

Synchrotrone

- Elektronen werden auf einer Kreisbahn beschleunigt und senden bei Richtungsänderung Licht aus.
- UV oder Röntgenstrahlung, nicht kohärent.



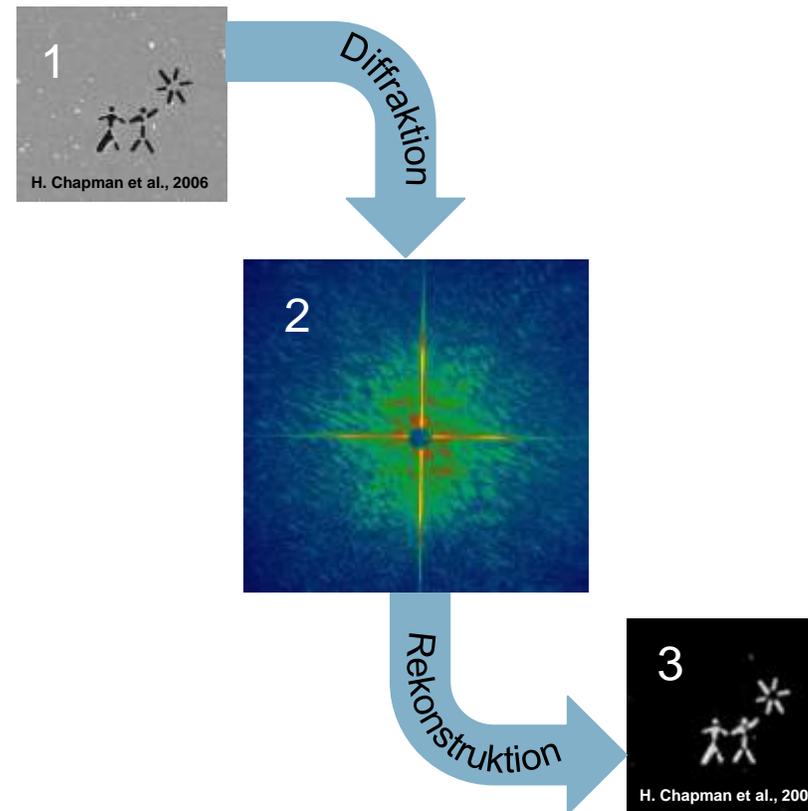
Freie-Elektronen-Laser

- Elektronen werden auf einer geraden Strecke beschleunigt und auf einen Slalomkurs gebracht. Dabei senden sie Licht aus.
- Das Licht ist kohärent, extrem brillant und besteht aus sehr kurzen Pulsen (Lichtblitzen).
- Detailgenaue Untersuchung von Objekten und Entschlüsselung von Prozessen.



Bilder ohne Kameralinse

- Laue und Bragg entwickeln Kristallographie-Methode (1912–1914)
- Ähnliche Methoden werden heute bei Röntgenlasern eingesetzt



- Röntgenstrahlen werden gestreut (1, mikroskopische Formen auf einer Metallfläche)
- Detektoren nehmen gestreute Röntgenstrahlen auf (2, Streubild)
- Original kann aus Detektordaten detailgenau rekonstruiert werden (3, rekonstruiertes Bild)

Visualisierung des Hauptgebäudes: Sommer 2017...



...Vorplatz mit Blick auf das geplante Kantinengebäude



Geplantes Kantinegebäude für Nutzer, Mitarbeiter und Gäste

- Geplanter Baubeginn April 2017
- Fertigstellung Sommer 2018
- Sitzplätze für 150 Personen



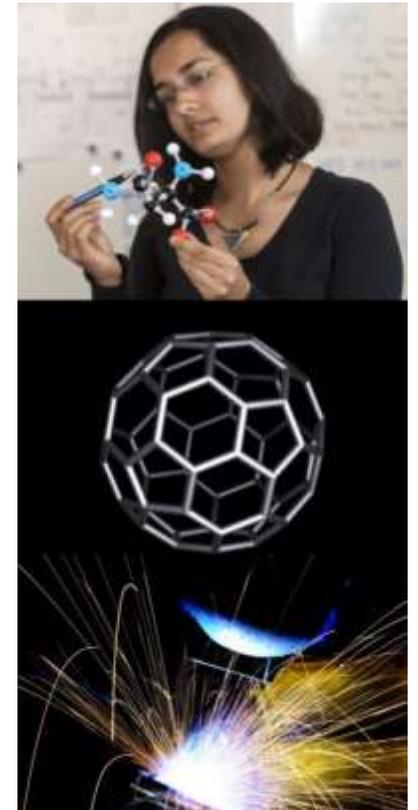
Geplantes European XFEL-Gästehaus

- Baubeginn im Juni 2017
- Fertigstellung im Sommer 2018
- 56 Zimmer mit 59 Betten



Chancen/Anwendungen: Chemie, Materialwissenschaften und vieles mehr

- Bilder mit atomarer Auflösung zeigen Abläufe an Katalysatoren
 - Bessere Katalysatoren verringern Schadstoff-Emissionen
 - Optimierte Produktionsprozesse, weniger giftige Abfallprodukte
- Neue Möglichkeiten, Struktur und Eigenschaften von Materialien zu untersuchen
 - Entstehung von Eigenschaften wie Haltbarkeit, Leitfähigkeit, Magnetismus
 - Verminderung der Zahl der Atome zur Speicherung digitaler Information → Laufwerke mit höchster Speicherdichte/Kapazität
- Viele weitere Anwendungen in Physik, Nanowissenschaften, Umweltforschung, Energieforschung, ...



Fortschritte bei der Inbetriebnahme des European XFEL

- Abkühlung des Beschleunigers – *abgeschlossen*
- Inbetriebnahme Beschleuniger – *läuft*
- Erste Bewerbungsphase für Experimente – *läuft*
- Erstes Röntgenlicht („first lasing“) – *Mai 2017*
- Inbetriebnahme Instrumente – *Sommer 2017*
- Nutzerbetrieb an 2 von 6 Instrumenten – *September/Oktober 2017*
- Weiterer Ausbau des Nutzerbetriebs mit 6 Instrumenten – *bis Sommer 2018*



Besuch von Ministerpräsident Torsten Albig im August 2016



Offizieller Beginn der Inbetriebnahme im Oktober 2016

Übersicht Campus Schenefeld mit geplanter Kantine und Gästehaus (hellgrau)



Die Forschungseinrichtung im Überblick

