

European XFEL future needs for vacuum and cryogenic related equipment



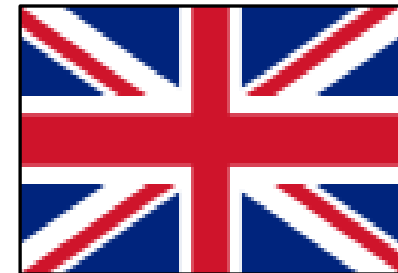
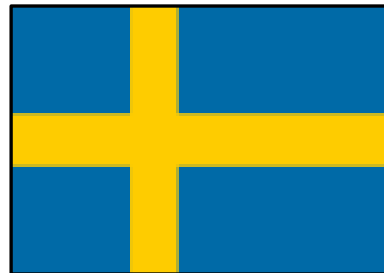
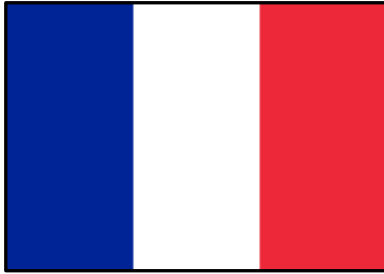
Raúl Villanueva
Senior Vacuum Engineer
European XFEL, Vacuum Group.

**Big Science
Business
Forum
2022**

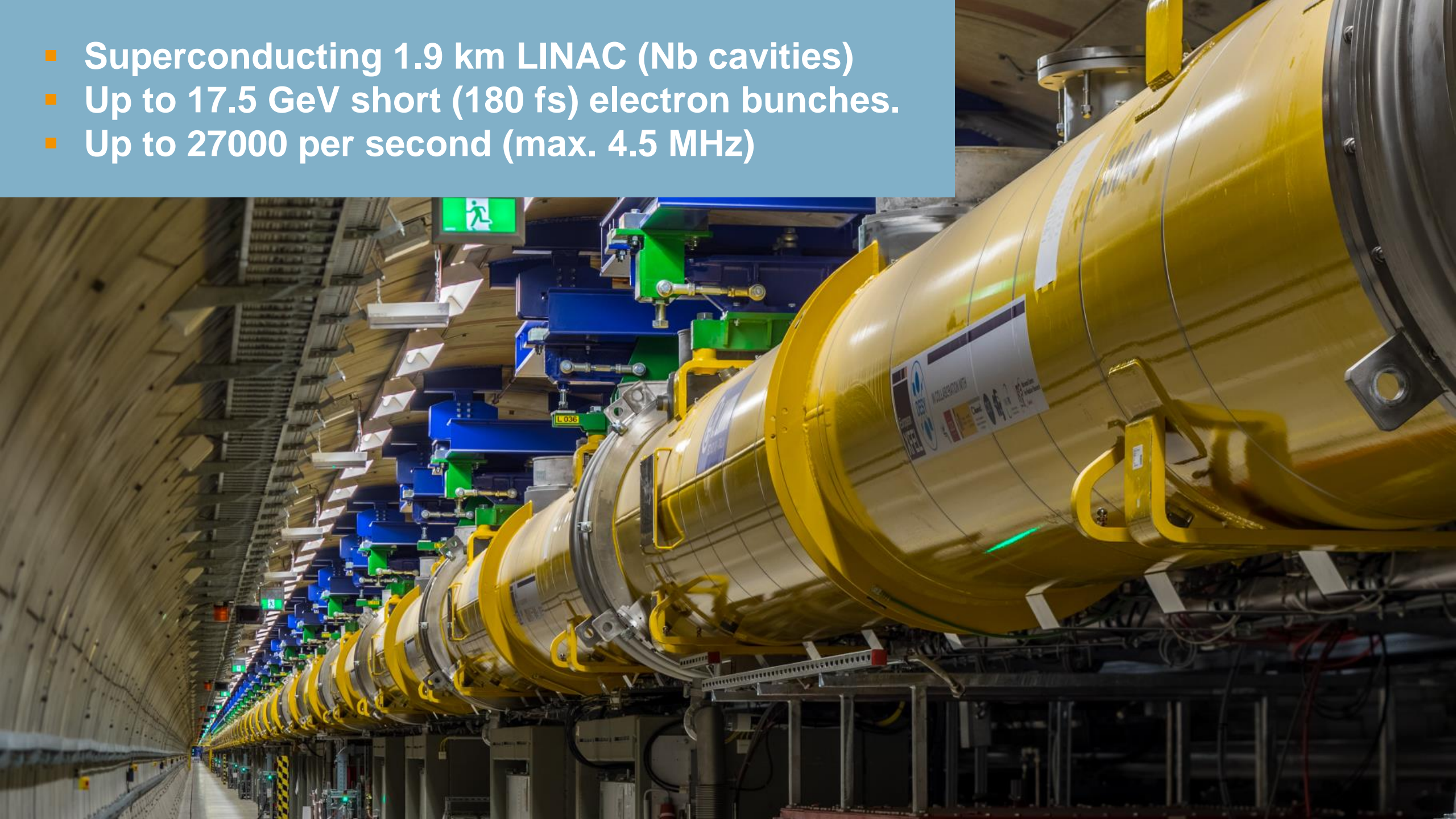
BSBF2022, Granada, 6 October 2022

The European XFEL Facility

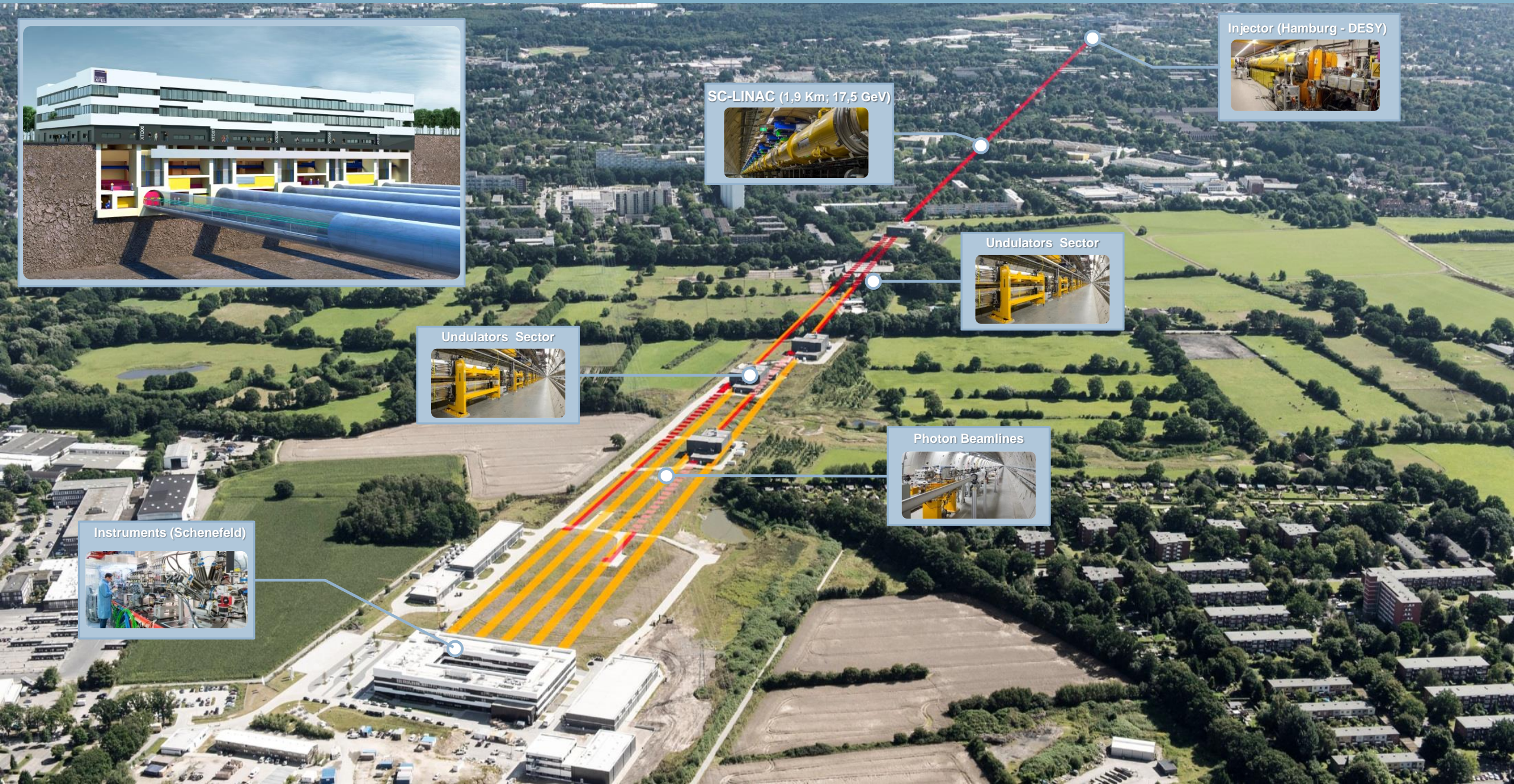
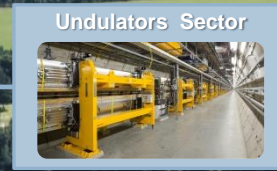
12 Participating Countries



- Superconducting 1.9 km LINAC (Nb cavities)
- Up to 17.5 GeV short (180 fs) electron bunches.
- Up to 27000 per second (max. 4.5 MHz)



3,4 Km from Injector to Experimental Hall.



Some „sizing“ numbers....

Construction phase (2011-2017 period)

- Accelerator warm vacuum system: 6 M€.
- Accelerator cold vacuum system : 5 M€.
- Photon beamlines (warm) vacuum system: 8 M€.

Operation-related averaged procurement(*)

- Accelerator cold vacuum system: 250 k€/year.
- Accelerator warm vacuum system : 500 k€/year.
- Photon beamlines (warm) vacuum system: 600 k€/year.

Facility Procurement scope (2022-2026)

- 418 M€ (BSBF2022 Procurement Handbook)

<https://cdn.eventscase.com/eventos.cdti.es/uploads/users/303505/uploads/651f18adda8575a311d5694d55534ea1797f37b0d37a3d65f8c855b02af1a0c986cd26dbf8852a346257999644680eab4c53.62384c03bb0bd.pdf>

Die Vakuumsysteme des European XFEL

Ultrahochvakuum ermöglicht Betrieb des neuen Röntgenlasers der Superlative und erlaubt bisher unerreichte Einblicke in den Nanokosmos.

Martin Dommach, Sven Lederer, Lutz Lilje

Artikelserie
Nichts geht ohne
Vakuum

Einleitung

Der European XFEL ist eine internationale Forschungseinrichtung der Superlative: 27 000 Lichtblitze pro Sekunde mit einer Leuchtstärke, die milliardenfach höher ist als die der besten Röntgenquellen herkömmlicher Art, eröffnen vielfältige neue Forschungsmöglichkeiten. Wissenschafterteams aus der ganzen Welt untersuchen am European XFEL Strukturen im Nanobereich, ultraschnelle Prozesse und extreme Materiezustände, nehmen dreidimensionale Bilder von Viren und Proteinen auf und filmen chemischen Reaktionen. Die neue Forschungseinrichtung wird von der European XFEL GmbH betrieben, einer gemeinnützigen Gesellschaft, die eng mit ihrem Hauptgesellschafter, dem Forschungszentrum DESY, und weiteren wissenschaftlichen Einrichtungen weltweit kooperiert.

Für die Erzeugung des Röntgenlichtes werden hochenergetische Elektronenpakete durch eine periodische Magnetfeldanordnung im sogenannten Undulator transportiert. Dabei beginnt durch die Überlagerung des entstehenden Lichtfeldes mit dem Elektronenpaket ein sich selbstverstärkender Prozess, der schließlich einen Röntgenlaserpuls erzeugt. Dieser auch SASE (Self Amplified Stimulated Emission) genannte Vorgang wird auch bei verschiedenen anderen Lichtquellen eingesetzt. Der besonders hohe Strom, der mit dem supraleitenden System des European XFEL beschleunigt werden kann, ermöglicht die sehr hohe Leuchtstärke. Damit der SASE Prozess funktionieren kann bedarf es sehr hoher Spitzenstromstärke und sehr guter Brillanz der Elektronenpakete. Diese werden im Injektorteil des Beschleunigers mittels einer Hochfrequenzelektronenquelle erzeugt. In drei Elektronenpuls-kompressoren werden die Elektronenpa-

kete weiter verdichtet. Der Transport dieser sehr intensiven, komprimierten Elektronen- und Photonenstrahlpakete stellt viele besondere Anforderungen an die umgebenden Vakuumsysteme [1,2] (Abb. 1 und 2).

Im European XFEL gibt es mehrere große Vakuumsysteme mit höchst unterschiedlichen Anforderungen:

- ▶ Die Vakuumsysteme in denen der Elektronen- bzw. Photonenstrahl transportiert wird;
- ▶ Das Isoliervakuumssystem für die supraleitenden Beschleunigermodule und der Heliumversorgung;
- ▶ Das zusätzliche Vakuumssystem der Hochfrequenzkoppel der supraleitenden Beschleunigermodule.

In diesem Beitrag wird vorrangig auf die Vakuumsysteme des Elektronen- bzw. Photonenstrahltransports eingegangen.

Das Elektronenstrahlvakuum ist in mehrere Abschnitte aufgeteilt, wobei eine wesentliche Unterscheidung zwischen dem Teil der supraleitenden Beschleunigungsmodule mit der Betriebstemperatur von 2 K und dem restlichen Beschleunigervakuum bei Raumtemperatur gemacht wird. Der Raumtemperaturteil wird aufgrund der Vielzahl verschiedener Anforderungen wiederum

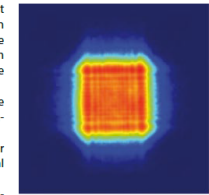


ABBILDUNG 1: Eines der ersten Röntgenbeugungsbilder des European XFEL, aufgenommen durch eine etwa einen Millimeter große quadratische Blende am Instrument SP8/SFX. Das gleichmäßige, netzartige Muster zeigt die hohe laserartige Qualität des Lichtstrahls.

unterteilt in mehrere Sektoren: Injektion, Elektronenpulskompression, Kollimation, Undulatorbereich sowie Strahltransport. Alle diese Sektoren sind mit detaillierten Spezifikationen aus den Bereichen Vakuum, elektrischer Leitfähigkeit und Magnetsierbarkeit, Oberflächengüte, Reinheitsklasse in Bezug auf Partikelfreiheit sowie Fertigungs- und Aufstelltoleranzen versehen.

ZUSAMMENFASSUNG

Für den European XFEL ist Vakuum eine Grundvoraussetzung für den erfolgreichen Betrieb. Neben den Vakuumereigenschaften war dafür eine Vielzahl anderer Randbedingungen an die Komponenten zu erfüllen. Hervorzuheben ist hier insbesondere die erforderliche Reinheitsklasse, die für ein kilometerlanges System des Teilchenbeschleunigers und bei den Röntgenoptiken erreicht wurde. Außerdem

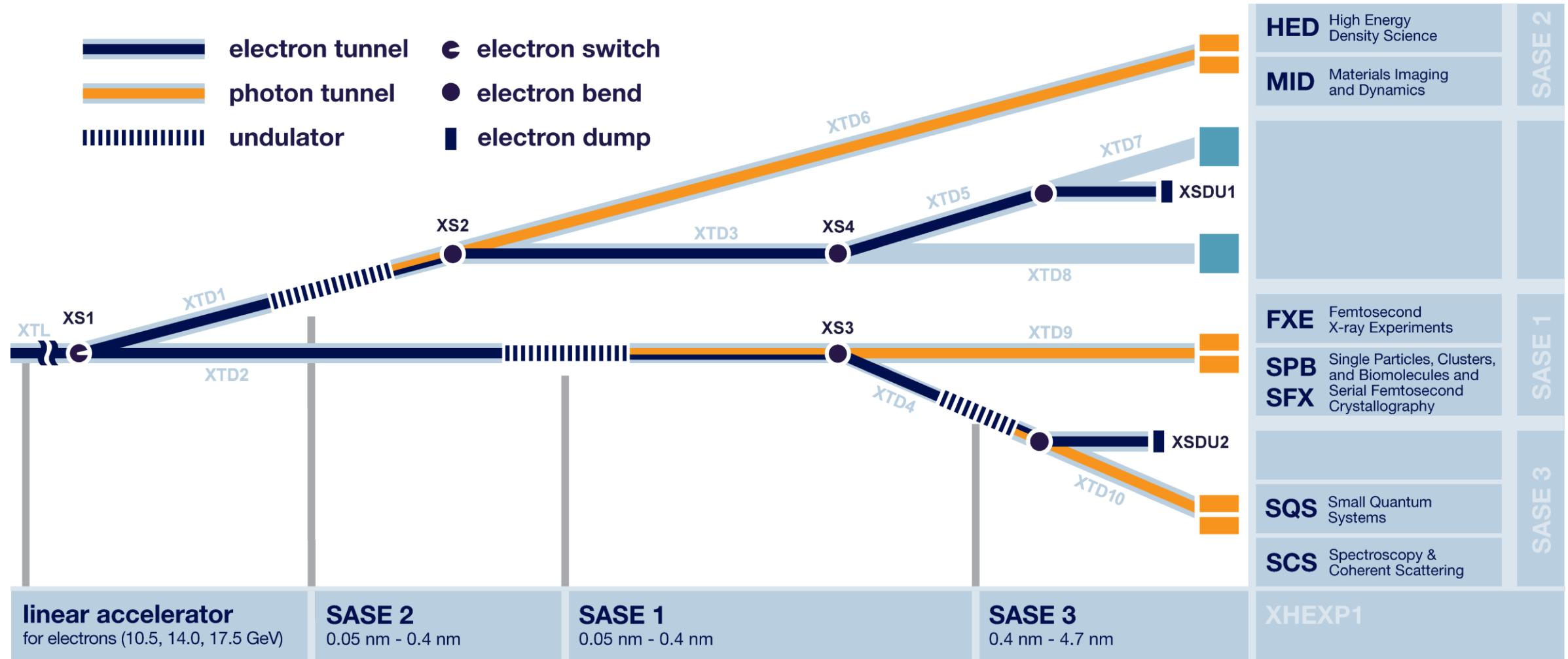
sind viele Komponenten speziell für den European XFEL entwickelt worden, um z.B. die hohe Elektronenstrahlqualität zu gewährleisten. Durch redundante Auslegung und Segmentierung des Vakuumsystems konnte die Inbetriebnahme in kürzester Zeit erfolgreich stattfinden. Die ersten Experimente mit dem Röntgenlaserlicht haben bereits stattgefunden.

<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/vipr.201800673>

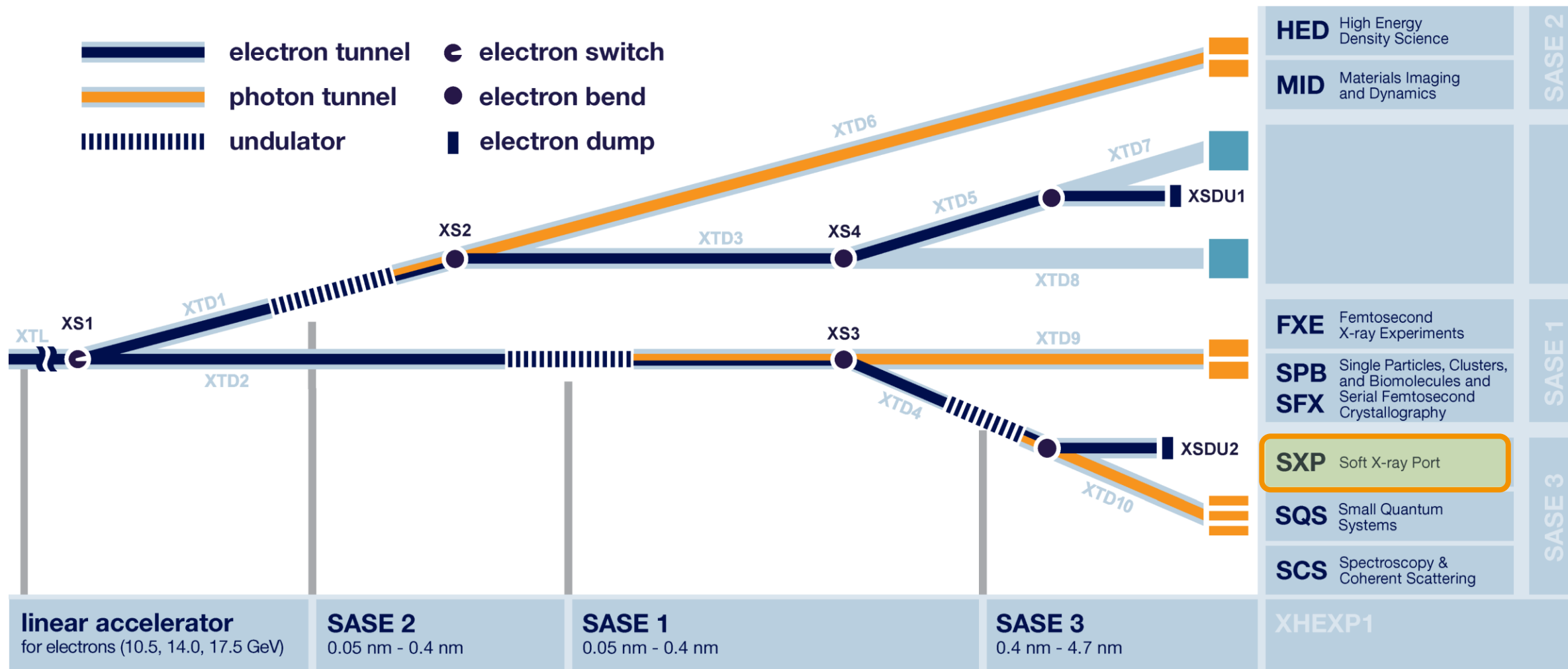
(*)Estimations derived from the first years of operation, without considering any major upgrade.

A glimpse into the future...

Today's Overview



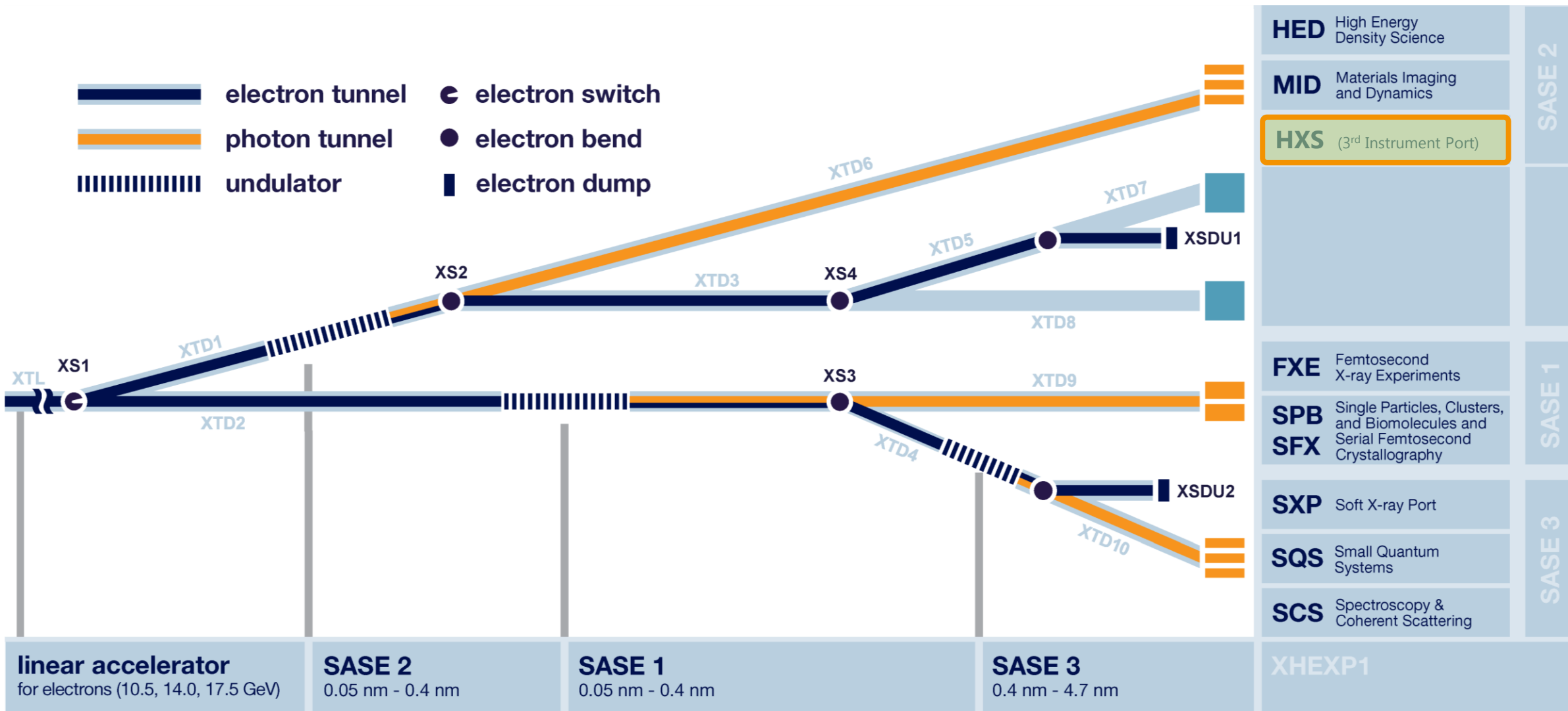
Next year: SXP Instrument (SASE3 3rd Port)



HED	High Energy Density Science	SASE 2
MID	Materials Imaging and Dynamics	
FXE	Femtosecond X-ray Experiments	SASE 1
SPB SFX	Single Particles, Clusters, and Biomolecules and Serial Femtosecond Crystallography	
SXP	Soft X-ray Port	SASE 3
SQS	Small Quantum Systems	
SCS	Spectroscopy & Coherent Scattering	

linear accelerator for electrons (10.5, 14.0, 17.5 GeV)	SASE 2 0.05 nm - 0.4 nm	SASE 1 0.05 nm - 0.4 nm	SASE 3 0.4 nm - 4.7 nm	XHEXP1
---	-----------------------------------	-----------------------------------	----------------------------------	---------------

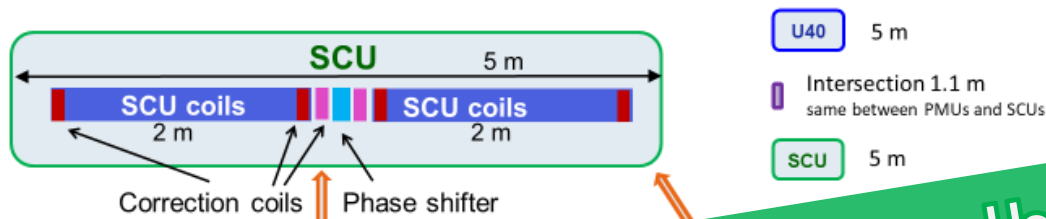
This decade: SASE2 Beamline 3rd Port



Reference cases. [Undulators]

Superconducting Undulators (“S-PRESSO” Project)

- Cooling scheme (1st prototype) based on cryocoolers (KIT / Bilfinger Noell GmbH design)
- On-going feasibility studies: cryoplant scalation?

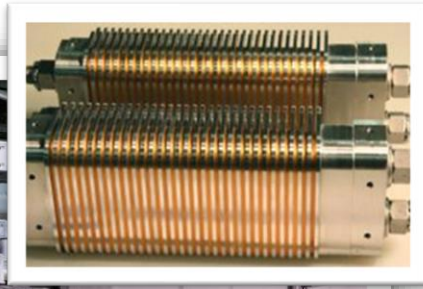
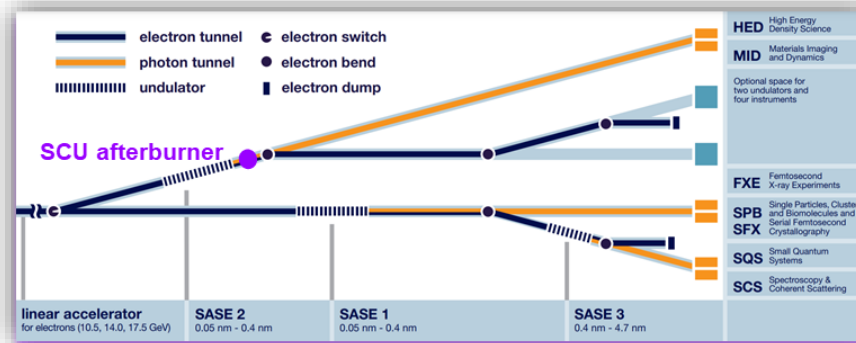


More details in S. Casalbuoni's presentation [Parallel Sesion D2]

Intersection includes absorber 8 mm diameter

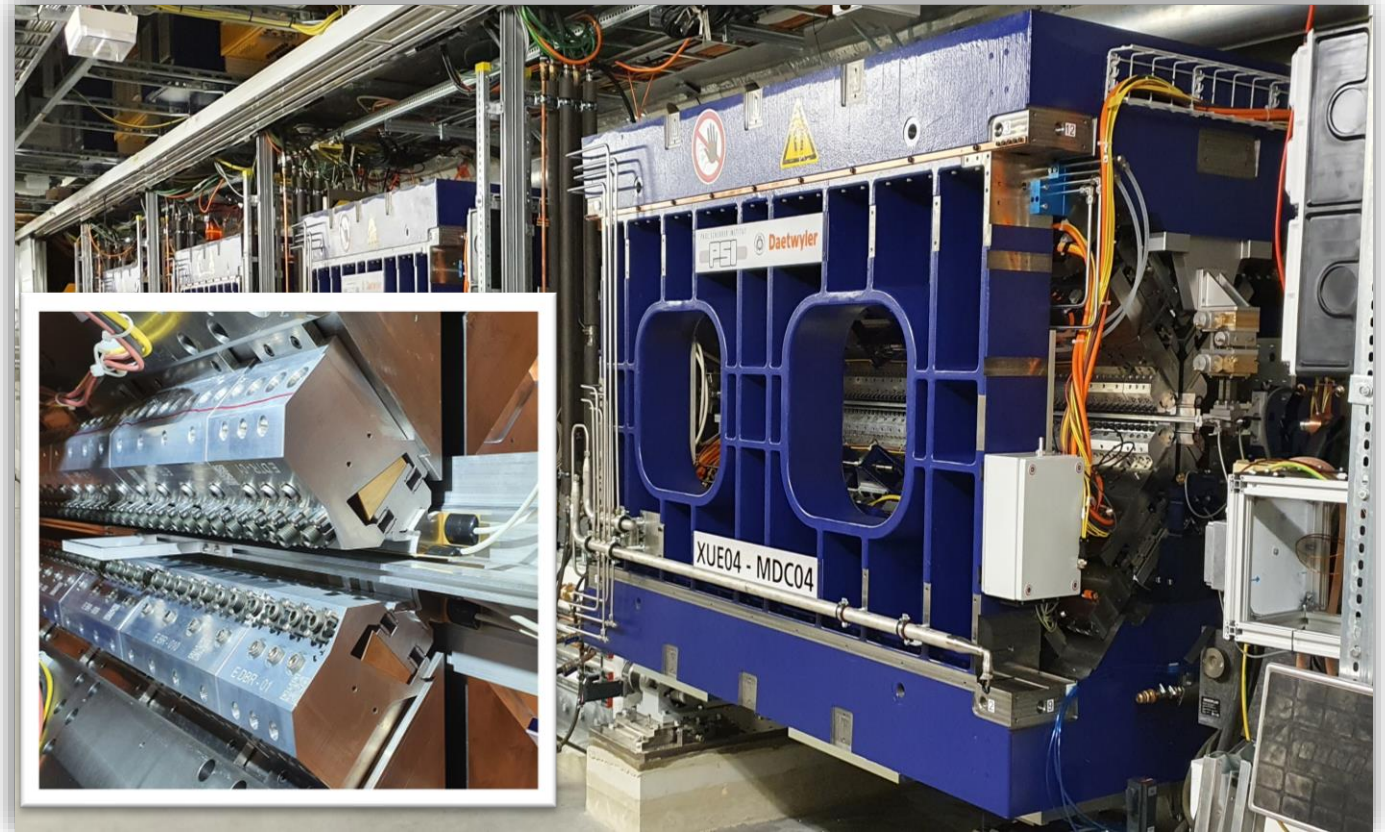
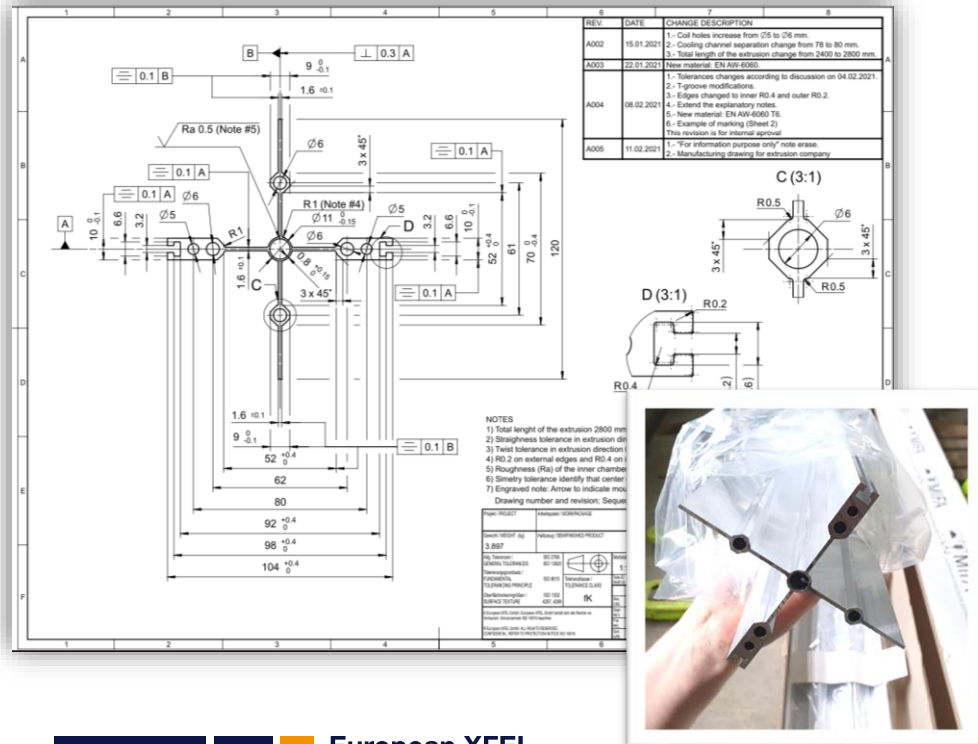
Intersection includes absorber 4 mm diameter

Only this intersection includes RF valve increasing by few cm the length of the intersection

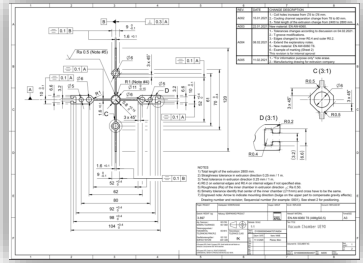


Apple - X Helical Undulator e-beam Vacuum Chamber

■ A great example of successful collaboration with multiple industry partners.



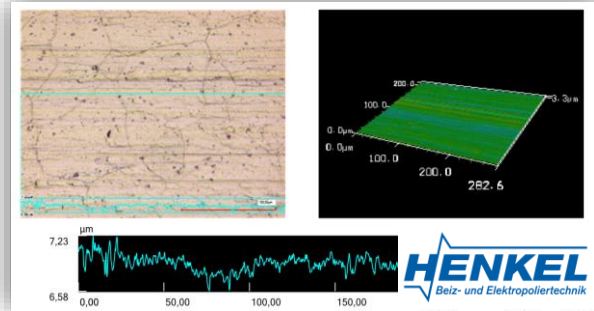
Apple - X Helical Undulator e-beam Vacuum Chamber



Design & Specifications : XFEL & DESY



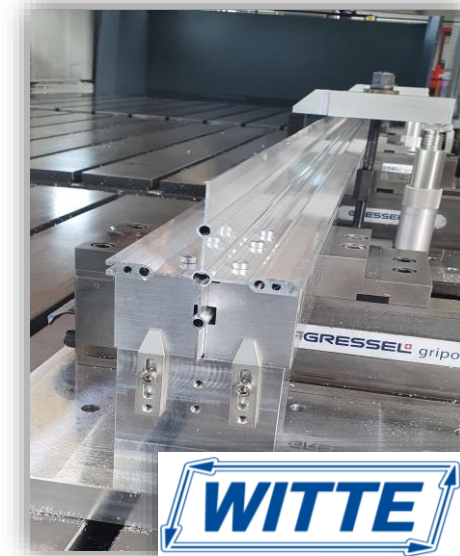
High Quality Extrusion: **MIFA**



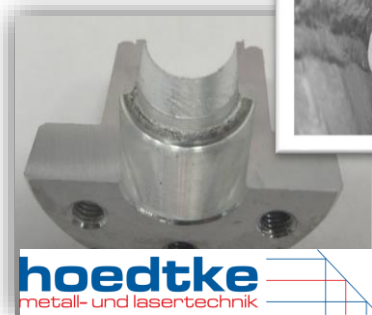
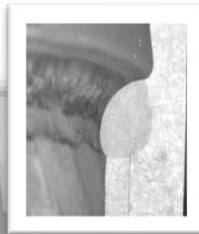
Chemical Etching: **HENKEL**



Precision Machining:
WITTE-BARSKAMP



Laser Welding: **HOEDTKE**

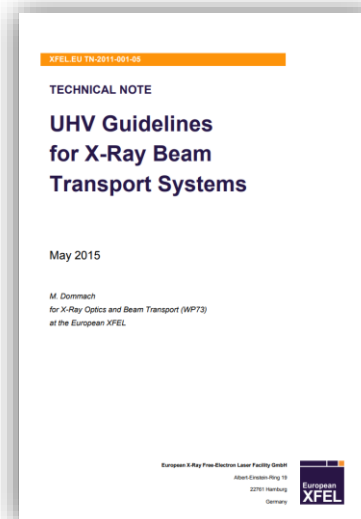


Final UHV Conditioning & SAT:
DESY & XFEL

Reference cases. [Photon Beamlines]

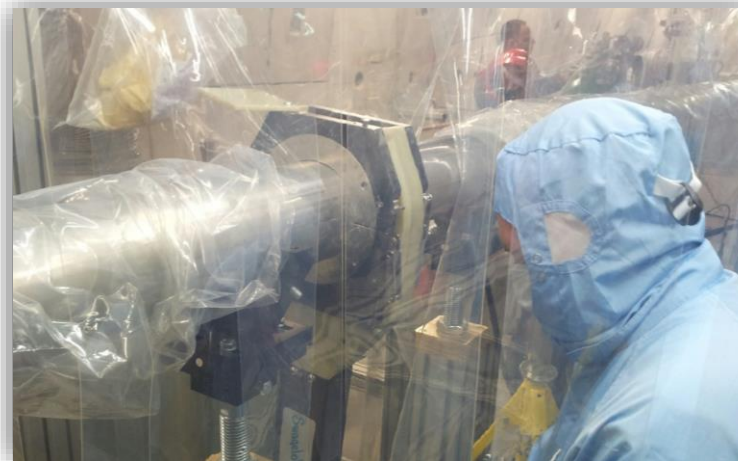
Photon Beam Transport System

- According to XFEL UHV Guidelines.
- Outsourced manufacturing and cleaning.
- “Particle free” specifications (ISO Class 5/6).
- Sectorization & Mobile clean tents.
- In-situ conditioning (specific cases): wet-cleaning, baking, plasma cleaning...
- Hundreds of meters beampipe (flanged and in-situ orbital-welded sectors)
- Standard vacuum components:
 - Pumping Stations
 - Beamline Pumping equipment (mechanical, SIP's, NEG's)
 - Controller for pumps, gauges...
 - Gauges, RGA's,...
- PLC Control system (racks, terminals, interfaces).
 - PLC terminals
 - Power supplies, connectors, cables
 - Controller for pumps, gauges...



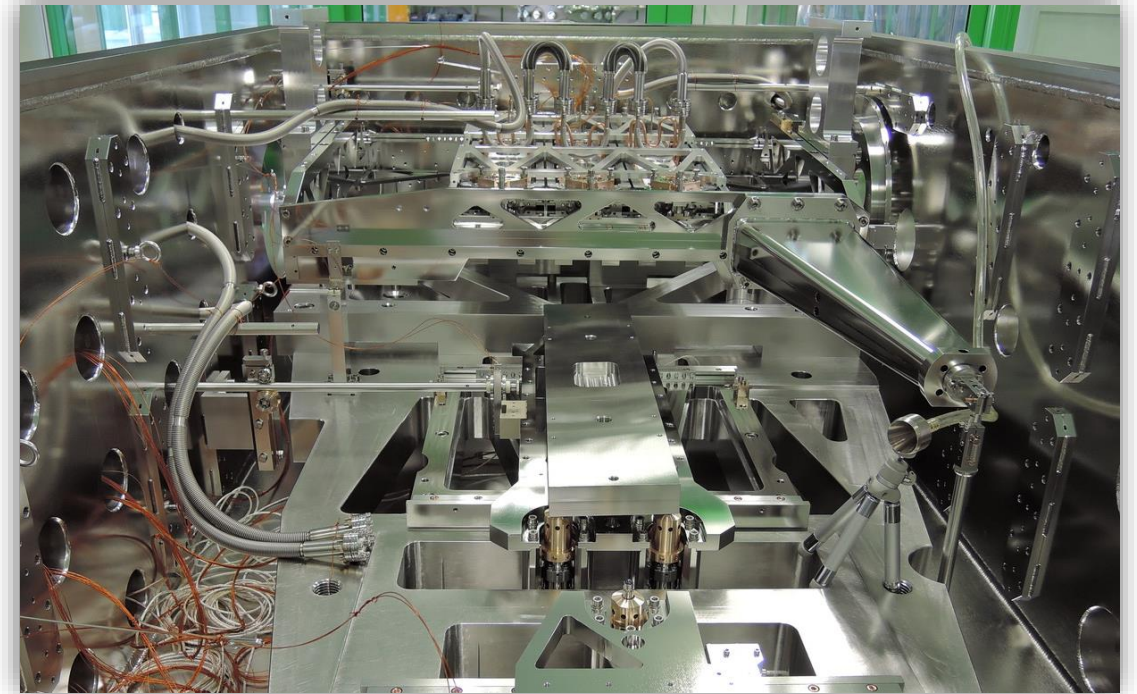
Case of Success: Industrial Partnership for Vacuum Pipeline delivery.

- Awarding Procedure: **International Call for Tender.**
- Appointed company: TRINOS-PFEIFFER.
- Some details:
 - 2800 m in total, different lengths, diameters, port configurations, etc.
 - Manufacturing according to European XFEL drawings.
 - Surface conditioning and cleanroom packing by a separate contractor (3-way coordination project).
 - Components delivered “ready for installation”.
 - Batch delivery: aprox. every 6 months.
 - Long 18 m pipes: onsite welded.



X-Ray Optics: SASE3 Soft X-Ray Monochromator System

- Award Procedure: **International Call for Tender.**
- Appointed company: FMB Berlin.
- Gross Investment (optical component excluded): 400 k€
- Project development timeline:
 - 1st half 2016: Design is Finished
 - 2nd half 2016: Production starts.
 - Spring 2017: FAT.
 - 3rd Quarter 2017: On-site delivery.
 - End 2017: SAT.
- Some further details:
 - Estimated Engineering effort ranged up to 40% of R&D costs/investment.
 - Rest of investment devoted to manufacturing, integration, small modification, testing & qualification.
 - After beginning of operation, “on-demand” servicing (quotation-based).



Reference cases. [Experimental Endstations]

FXE Instrument: In Vacuum Experimental Hutch Beam Transport System.

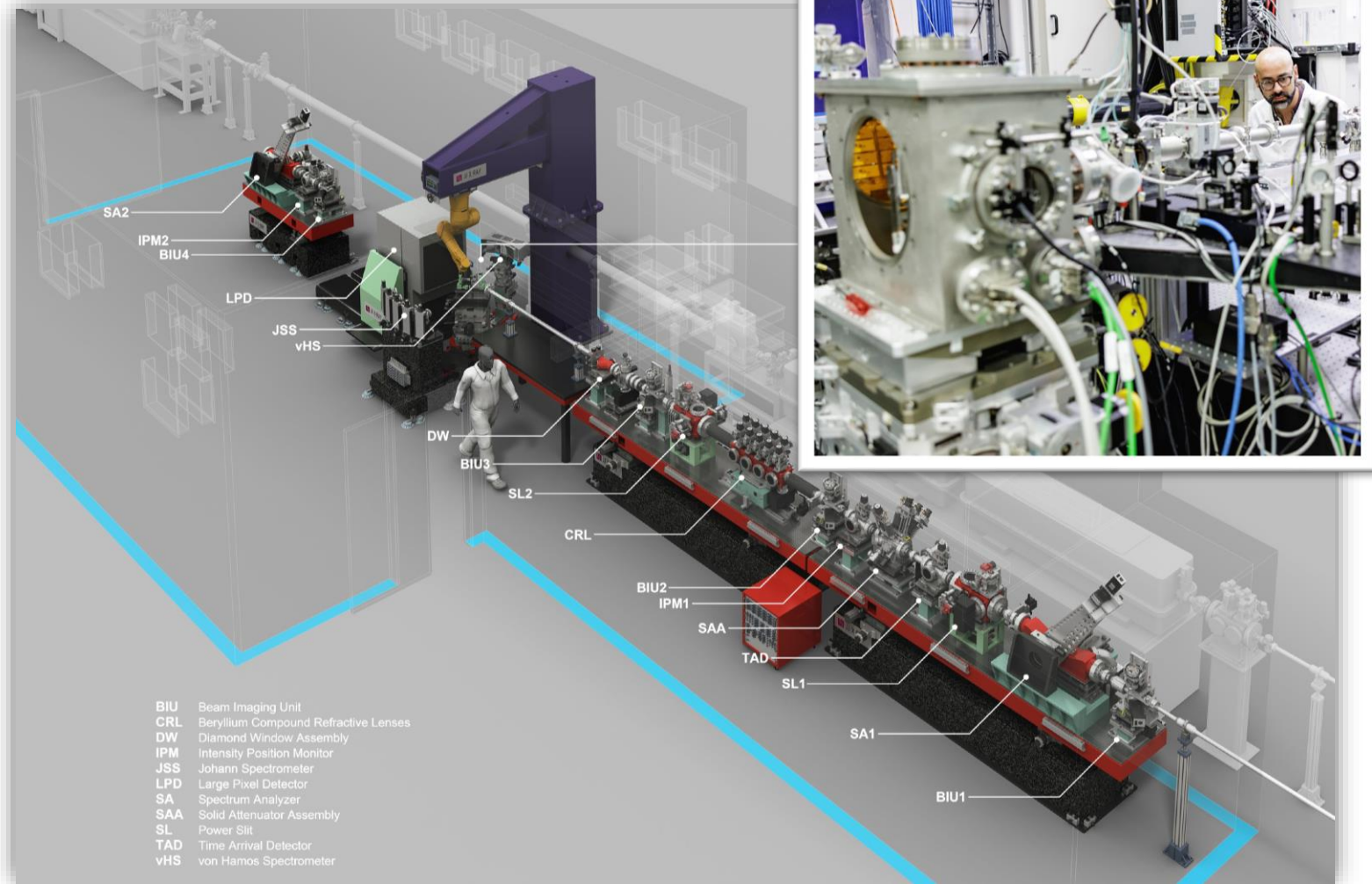
- In-kind contribution.
- Complete instrument delivered by Denmark
- National appointed company: JJ X-Ray.



Technical University
of Denmark

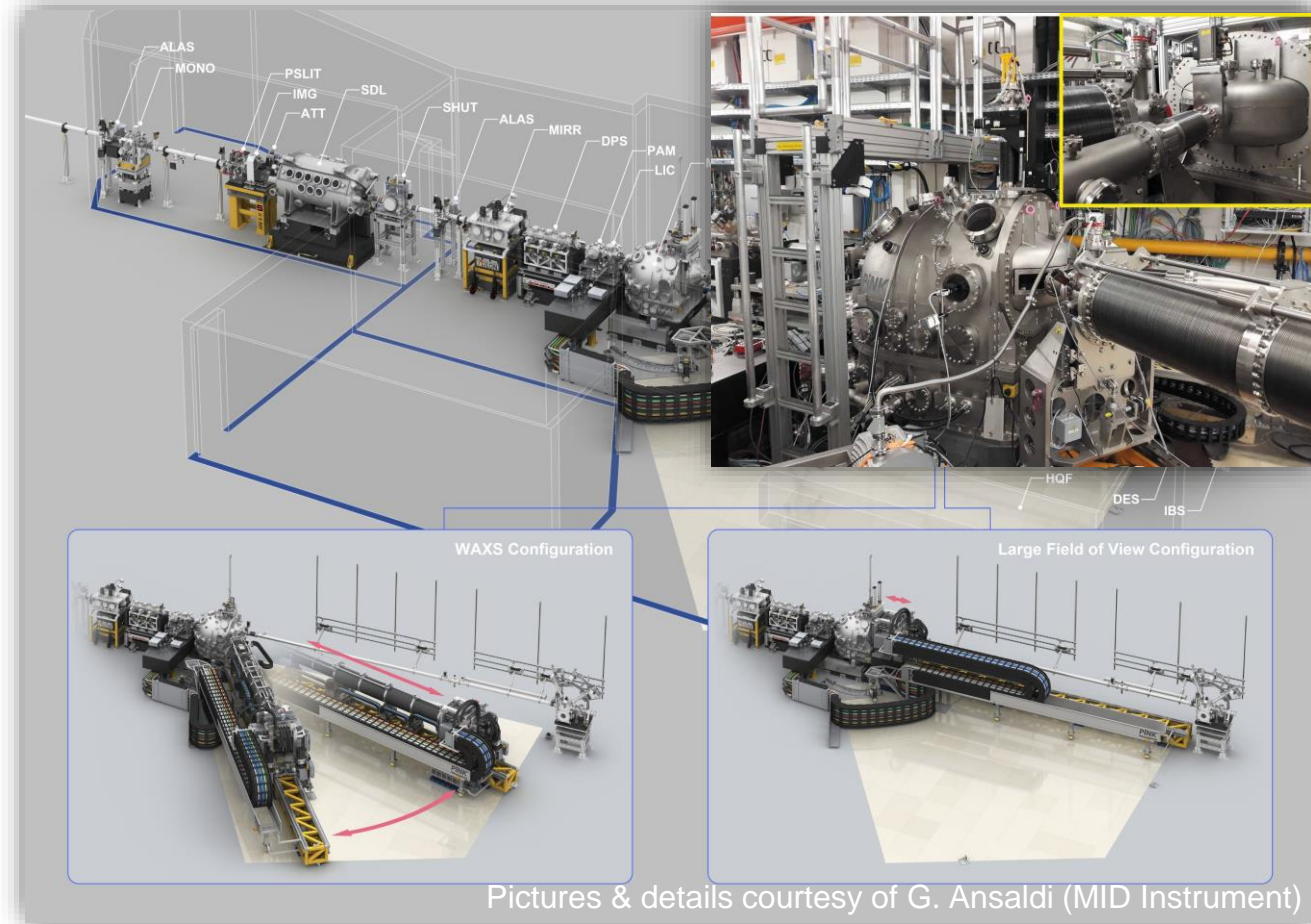
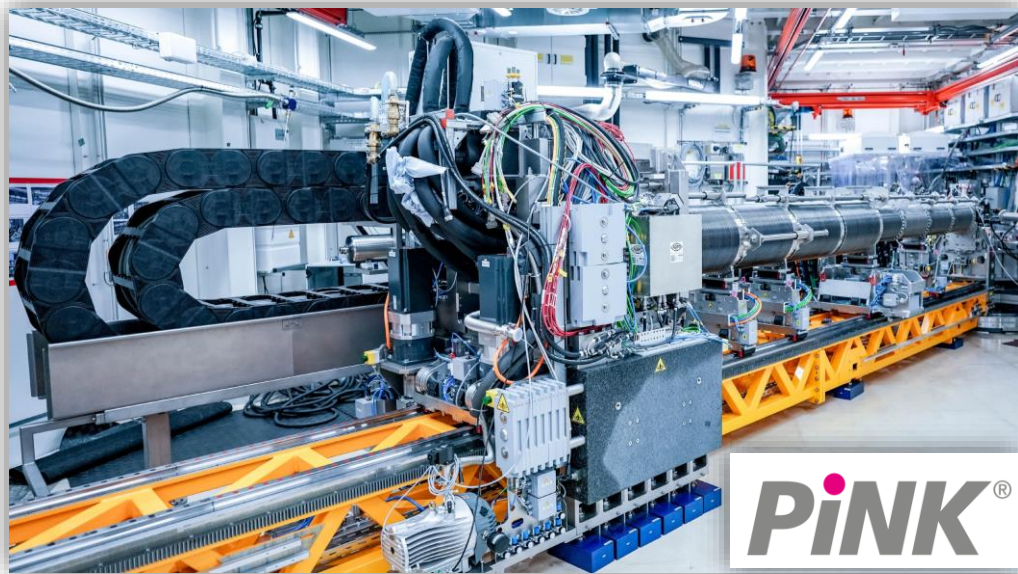


JJ X-RAY
Danish Science Design

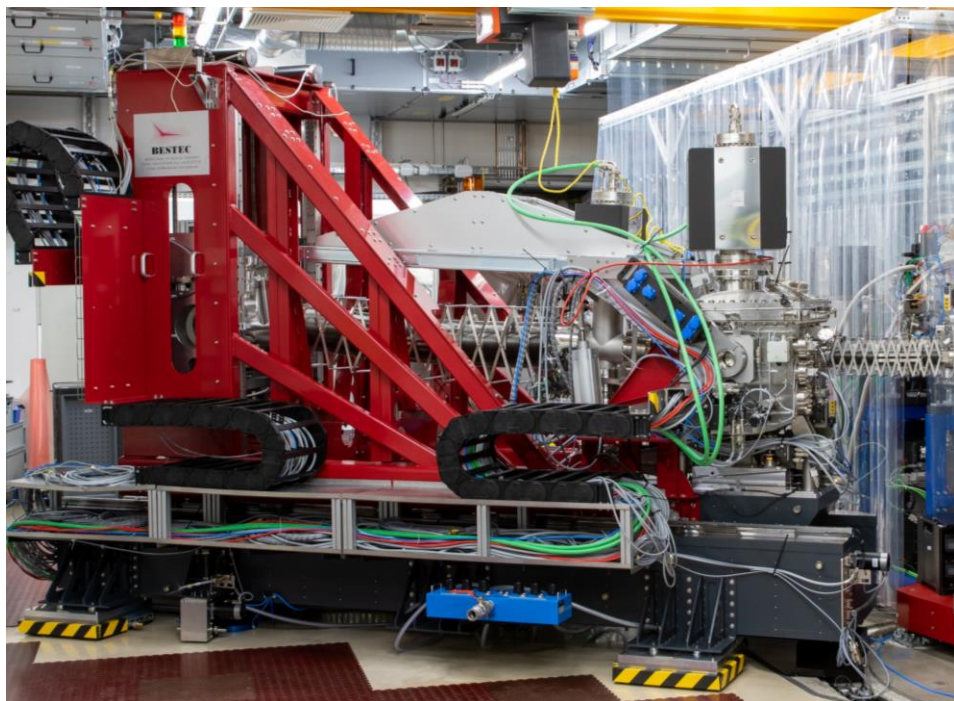


MID Instrument SAXS-WAXS Station

- International Call for Tender.
- Conceptual Design: XFEL MID Instrument & ESRF. (1 year)
- Awarded company: PINK GmbH Vakuumtechnik
- Gross Investment: 1,2 M€.
- Project time scope: Aprox. 1 year. (Int. Tender to SAT)

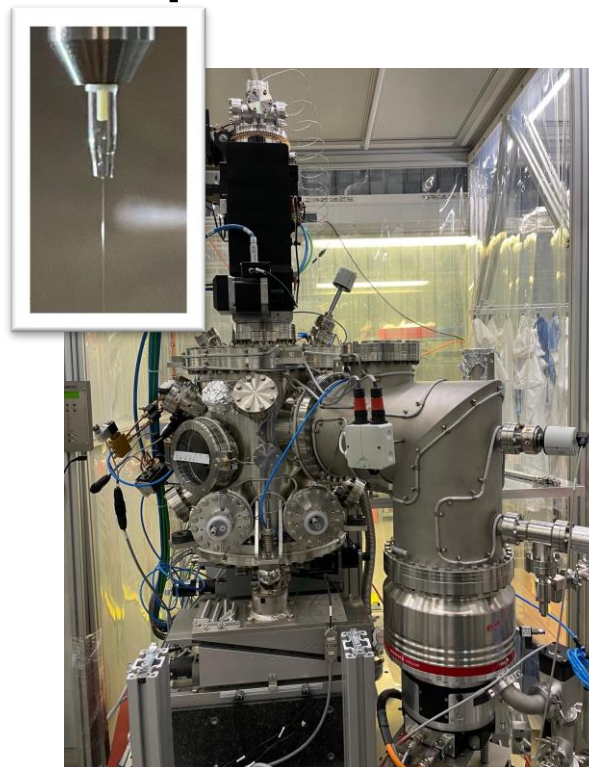


SCS Instrument: hRIXS, CHEM & XPD Experimental stations



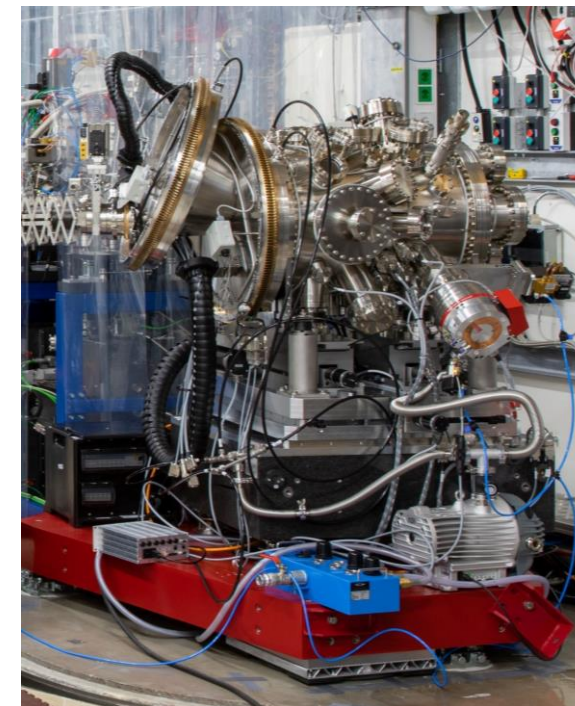
Heisenberg RIXS (hRIXS) user consortium spectrometer.

- Momentum-resolved & time-resolved resonant inelastic x-ray scattering (RIXS) at the transfer limit



Spectroscopy of chemical systems

- Liquid-jet: 20 - 50 μm diameter
- Solid sample holder
- Differential pumping stage
- 6-way switching liquid samples
- Three 2θ angles: 90, 125, 145 deg



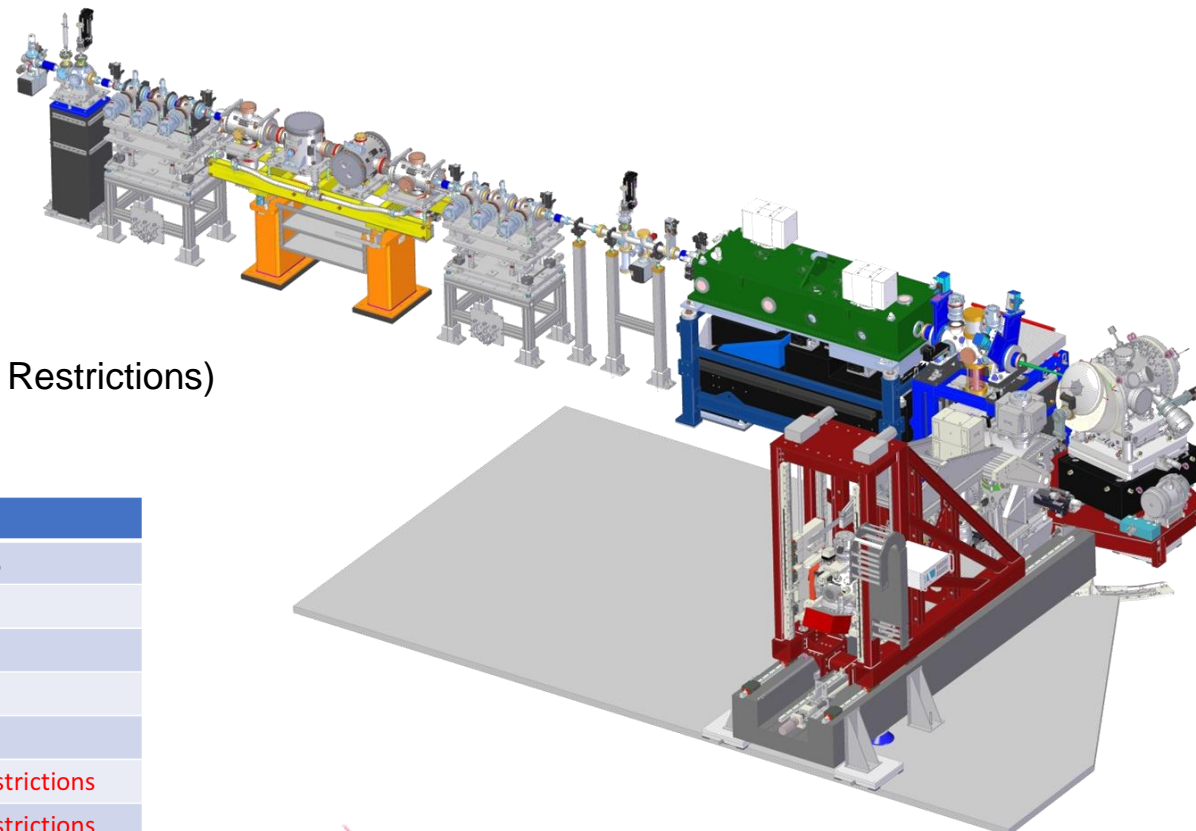
Spectroscopy of quantum materials

- UHV ($p < 10^{-9}$ mbar)
- Sample Temperature Range: RT – 20 K
- 6 degrees of motion for the sample
- In-vacuum diffractometer
- Triple-rotating flange: $65 \text{ deg} \leq 2\theta \leq 145 \text{ deg}$

Pictures & details courtesy of J. Schlappa & J.T. Delitz (SCS Instrument)

SCS Instrument: hRIXS, CHEM & XPD Experimental stations

- **User Community proposal.**
- **Conceptual Design: UC Working Group. (1 year)**
- **Specs. Document & Procurement via Univ. Postdam (1,5 year)**
- **Awarded company: Bestec GmbH (Project Managing XFEL & HZB)**
- **Gross Investment > 2 M€.**
- **Project time scope: Aprox. 2 years. (Int. Tender to SAT & Pandemic Restrictions)**



Milestone	When	Contributors	Notes
Proposal	2012	Large user community	44 coauthors
Conceptual design	2015	UC working group	
Secure funding	2015	University Potsdam from UC	
Specifications and purchase	2016/17	UC working group	
Design review	2018/19	UC working group	
Delivery	2020	XFEL + HZB	Pandemic restrictions
Integration	2020/21	Pandemic restrictions	Pandemic restrictions
Technical commissioning	2021	XFEL	Pandemic restrictions
X-ray commissioning	2021	XFEL with online help from UC	Pandemic restrictions
Open for user proposals	2021-II		29 proposals received
User-assisted commissioning	2022	XFEL with involvement of UC and user community (mostly online)	Pandemic restrictions
User operation	2022-II		5 accepted proposals

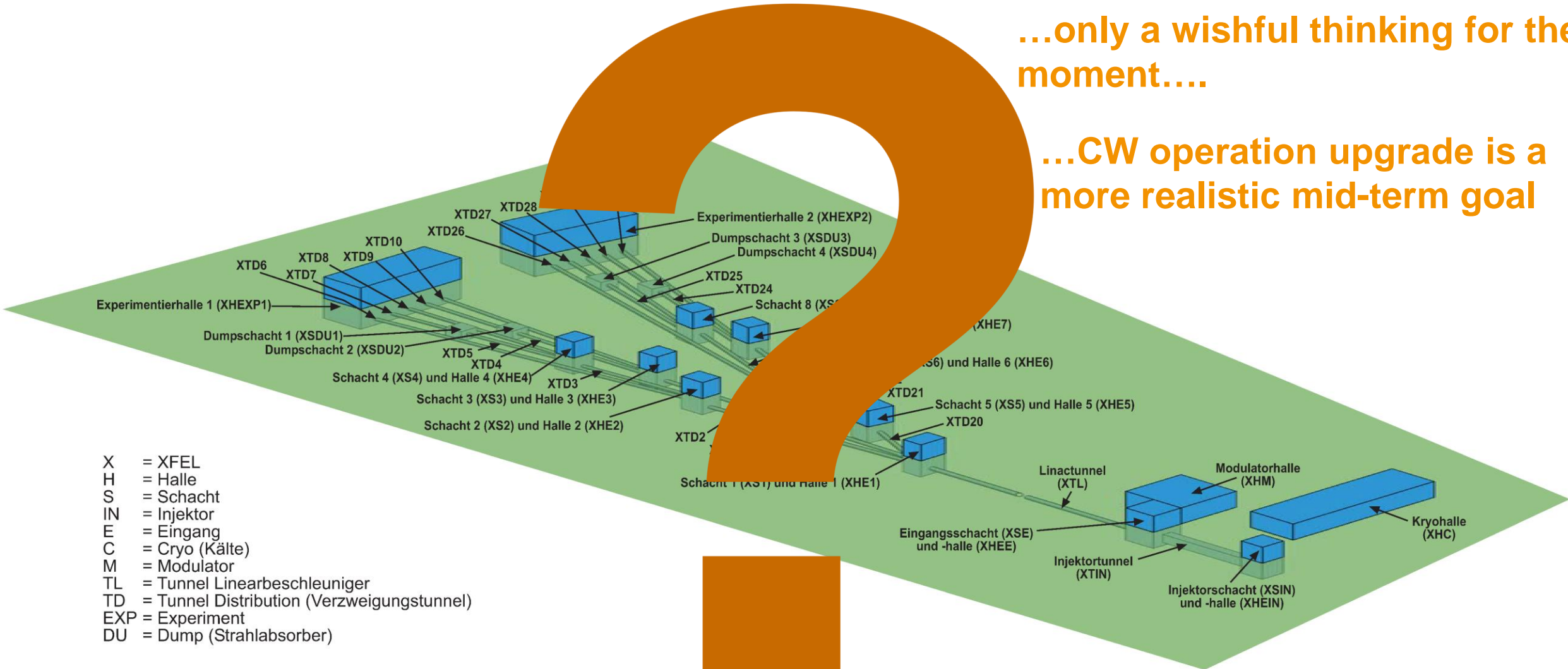


...and beyond

Next decade: “XFEL-2“

...only a wishful thinking for the moment....

...CW operation upgrade is a more realistic mid-term goal



- X = XFEL
- H = Halle
- S = Schacht
- IN = Injektor
- E = Eingang
- C = Cryo (Kälte)
- M = Modulator
- TL = Tunnel Linearbeschleuniger
- TD = Tunnel Distribution (Verzweigungstunnel)
- EXP = Experiment
- DU = Dump (Strahlabsorber)

Some key aspects to take away with you today...

- The European Free Electron Laser Facility is committed to collaborate in a large extent with industrial partners.
- For turn-key projects the workflow starts with the development of CDR / TDR documentation and ends with a SAT.
- Engineering expertise exchange is shared bidirectionally. **(Fluent communication is key!!!)**
- The relation could range from discrete supply of standard components, up to complete projects.
- UHV systems are regulated according to UHV & HV Guidelines (exception may apply for specific solutions at the experimental stations).
- Depending on scope further requirements may apply (materials certificate, overpressure tests...)
- Compliance with such guidelines is supervised through the project development by the European XFEL Vacuum Group (Design & material specifications, Leak Integrity, RGA procedures, etc...).
- **Needs are not only future but present (securing operation, maintenance & substitution/upgrades, internal R&D projects).**

Thank you for your attention!